

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет "Запорізька політехніка"

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до самостійної, індивідуальної та контрольної роботи з
дисципліни
"Тепломасообмін в радіоелектронних апаратах"

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

Методичні вказівки до самостійної, індивідуальної та контрольної роботи з дисципліни "Тепломасообмін в радіоелектронних апаратах" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби», «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Ірина ПОСПЕСВА, Тетяна КУЛЯБА-ХАРИТОНОВА, Ксенія ПИЛИПЕНКО – Запоріжжя: НУЗП, 2021. – 39 с.

Укладачі: Ірина ПОСПЕСВА, ст. викладач,
Тетяна КУЛЯБА-ХАРИТОНОВА, ст. викладач,
Ксенія ПИЛИПЕНКО, зав. лаб.

Рецензент: Тетяна БУГРОВА, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск: Микола ЄФІМЕНКО, д.т.н,
в.о. зав. каф. ІТЕЗ

Затверджено
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 2 від 07.09.21 р.

Рекомендовано до видання
на засіданні НМК ФРЕТ
протокол № 3 від 11.11.21 р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
1 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТА ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	7
1.1 Програма навчальної дисципліни.....	7
1.2 Питання для самостійної роботи.....	8
2 ІНДИВІДУАЛЬНА (КОНТРОЛЬНА) РОБОТА.....	10
2.1 Конструктивні розрахунки радіаторів охолодження НПП.....	10
2.1.1 Проектний розрахунок.....	11
2.1.2 Перевірочний розрахунок.....	22
2.2 Завдання до роботи.....	23
2.3 Вихідні дані.....	25
2.4 Зміст звіту.....	27
ЛІТЕРАТУРА.....	28
Додаток А. Параметри НПП.....	29
Додаток Б. Параметри ізоляційних прокладок.....	32
Додаток В. Параметри матеріалів радіаторів.....	33
Додаток Г. Поправний коефіцієнт на температуру навколишнього середовища.....	34
Додаток Д. Номограма для визначення конвективного коефіцієнта тепловіддачі α_K в умовах вільної конвекції.....	35
Додаток Е. Залежність коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням α_B від перегріву для різних температур навколишнього середовища.....	36
Додаток Ж. Приклад креслення пластинчастого радіатора.....	37
Додаток К. Приклад креслення ребристого радіатора.....	38
Додаток Л. Приклад креслення штир'яного радіатора.....	39

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Робота радіоелектронних засобів (РЕЗ) базується на використанні різноманітних фізичних та фізико-хімічних процесів, більшість з яких супроводжується виділенням теплової енергії. Перегрів її за рахунок, складаючись з температурою навколишнього середовища, призводить до значного підвищення температури всередині блоків та вузлів РЕЗ, у тому числі у зонах розташування термочутливих елементів. Тому під час проектування РЕЗ питанням забезпечення нормальних теплових режимів приділяється особлива увага.

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.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен отримати:

інтегральну компетентність:

- здатність розв'язувати спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі телекомунікацій та радіотехніки, що характеризується комплексністю та невизначеністю умов;

загальні компетентності:

- здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1);
- здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК-2);
- здатність планувати та управляти часом (ЗК-3);
- знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності (ЗК-4);
- здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово (ЗК-5);
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями (ЗК-7).

фахові компетентності:

- здатність проводити дослідження методик аналізу, синтезу, оптимізації та прогнозування якості процесів функціонування радіотехнічних та телекомунікаційних систем, пристроїв

мікросистемної радіоелектронної техніки з урахуванням забезпечення нормальних теплових режимів;

- здатність розробляти та використовувати при проектуванні комп'ютерні моделі електрорадіоелементів і радіотехнічних та телекомунікаційних систем, пристроїв мікросистемної радіоелектронної техніки у цілому з урахуванням забезпечення нормальних теплових режимів;

- здатність здійснювати комп'ютерне моделювання пристроїв, систем і процесів з використанням універсальних пакетів прикладних програм (ПК-4);

- здатність проводити розрахунки у процесі проектування споруд і засобів інформаційно-телекомунікаційних мереж, телекомунікаційних та радіотехнічних систем, відповідно до технічного завдання з використанням як стандартних, так і самостійно створених методів, прийомів і програмних засобів автоматизації проектування (ПК-15);

- здатність проводити аналіз результатів обчислень програмного забезпечення;

- здатність здійснювати вибір оптимальних рішень при проектуванні радіотехнічних та телекомунікаційних систем, пристроїв мікросистемної радіоелектронної техніки з урахуванням вимог забезпечення нормальних теплових режимів;

- здатність здійснювати монтаж, налагодження, налаштування, регулювання, дослідну перевірку працездатності, випробування та здачу в експлуатацію споруд, засобів і устаткування телекомунікацій та радіотехніки (ПК-10);

- готовність сприяти впровадженню перспективних технологій і стандартів (ПК-8);

- готовність до вивчення науково-технічної інформації, вітчизняного і закордонного досвіду з тематики інвестиційного (або іншого) проекту засобів телекомунікацій та радіотехніки (ПК-14).

Навчальним планом передбачені лекції, лабораторні роботи та самостійна робота студентів.

Самостійна робота складається з самостійного вивчення частини теоретичного матеріалу та практичної частини.

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.

Під час самостійної підготовки слід користуватися вказаною літературою, а також конспектами лекцій з даної дисципліни [9, 10] та даними методичними вказівками.

У рамках практичної частини:

- студенти денної форми навчання виконують індивідуальне завдання;
- студенти заочної форми навчання виконують контрольну роботу.

Метою індивідуальної (контрольної) роботи є вивчення методик проектних та перевірочних розрахунків радіаторів охолодження напівпровідникових приладів та мікросхем.

1 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ ТА ПИТАННЯ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

1.1 Програма навчальної дисципліни

Програмою даної дисципліни передбачається вивчення наступних тем.

Тема 1. Основні поняття теорії теплообміну. Види теплопереносу

- Температурне поле
- Ізотермічна поверхня
- Градієнт температурного поля
- Кількість теплоти. Тепловий потік. Питомий тепловий потік

- Види теплопереносу

Тема 2. Теплопровідність

- Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності
- Диференціальне рівняння теплопровідності
- Умови однозначності
- Термічний опір стінок різних конфігурацій: плоских, циліндричних, сферичних, одношарових, багатошарових

Тема 3. Конвекція

Тема 4. Теплове випромінювання

- Випромінювання чорних тіл
- Випромінювання не чорних (сірих) тіл

Тема 5. Елементи теплових кіл. Електротеплова аналогія

- Термічний коефіцієнт та його зв'язок з тепловим опором
- Електротеплова аналогія
- Теплові кола

Тема 6. Складний теплообмін. Критична товщина ізоляції

- Складний теплообмін
- Критична товщина ізоляції

Тема 7. Основи теорії подібності. Вільна конвекція у необмеженому просторі

- Критерії подібності
- Обробка результатів досліджень
- Вільна конвекція у необмеженому просторі

Тема 8. Системи охолодження

- Класифікація систем охолодження
- Вибір систем охолодження

Тема 9. Радіатори

- Конструкції радіаторів
- Матеріали, що застосовуються при конструюванні радіаторів
- Методи розрахунку радіаторів для охолодження напівпровідникових приладів та мікросхем

Тема 10. Нагнітальники

- Класифікація нагнітальників
- Конструкції вентиляторів для охолодження РЕА
- Особливості застосування вентиляторів

Тема 11. Теплообмінники

1.2 Питання для самостійної роботи

- 1 Температурне поле. Види температурних полів
- 2 Ізотермічна поверхня
- 3 Температурний градієнт
- 4 Кількість теплоти
- 5 Тепловий потік. Питомий тепловий потік
- 6 Види теплопереносу
- 7 Закон Фур'є. Коефіцієнт теплопровідності
- 8 Теплопровідність у газах
- 9 Теплопровідність у рідинах
- 10 Теплопровідність у металах
- 11 Теплопровідність у неметалевих твердих тілах
- 12 Диференціальне рівняння теплопровідності
- 13 Умови однозначності
- 14 Теплопровідність через одношарову плоску стінку
- 15 Теплопровідність через багатошарову плоску стінку
- 16 Теплопровідність через циліндричну стінку
- 17 Теплопровідність через сферичну стінку
- 18 Теплопровідність тонких оболонок

- 19 Конвекція. Закон Ньютона-Ріхмана
- 20 Поняття приграничного шару. Гідродинамічний приграничний шар
- 21 Тепловий приграничний шар
- 22 Види потоків. Ламінарний потік. Його особливості
- 23 Турбулентний потік. Його особливості
- 24 Поняття в'язкості. Динамічна та кінематична в'язкість
- 25 Число Рейнольдса та його зв'язок з типом потоку рідини
- 26 Теплове випромінювання. Закон Стефана-Больцмана
- 27 Теплове випромінювання абсолютно чорного тіла
- 28 Теплове випромінювання не чорних (сірих) тіл. Коефіцієнт чорноти
- 29 Термічний коефіцієнт
- 30 Електротеплова аналогія. Теплові кола
- 31 Елементи теплових кіл - активні та пасивні
- 32 Закони Ома та Кірхгофа для теплових кіл
- 33 Еквівалентні перетворення теплових кіл.
- 34 Послідовне та паралельне з'єднання теплових опорів
- 35 Складний теплообмін
- 36 Критична товщина ізоляції
- 37 Основи теорії подібності
- 38 Критерії подібності у тепломасообміні: формули для їх визначення та фізичний сенс
- 39 Обробка результатів експериментальних досліджень.
- 40 Визначальна температура та визначальний розмір
- 41 Вільна конвекція у необмеженому просторі
- 42 Системи охолодження та їх класифікація
- 43 Вибір системи охолодження
- 44 Радіатори - конструкції, критерії вибору
- 45 Матеріали, що застосовуються для радіаторів
- 46 Проектні розрахунки радіаторів для охолодження напівпровідникових приладів та мікросхем
- 47 Перевірочні розрахунки радіаторів для охолодження напівпровідникових приладів та мікросхем
- 48 Нагнітальники - класифікація та види конструкцій
- 49 Вентилятори. Конструкції та критерії вибору
- 50 Теплообмінники - класифікація та види конструкцій

2 ІНДИВІДУАЛЬНА (КОНТРОЛЬНА) 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.

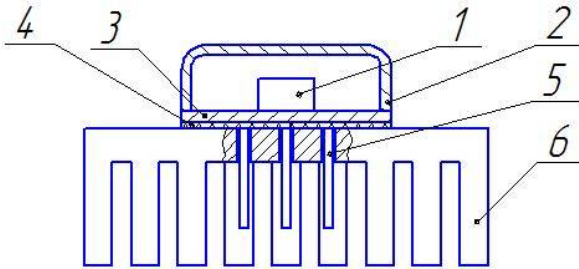
Методики інженерних (спрощених) розрахунків радіатора наведені у [5].

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, $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$.

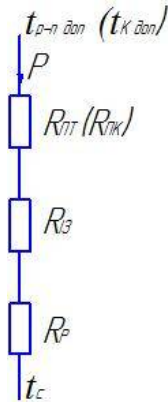


Рисунок 2.2 - Теплова модель для інженерного проектного розрахунку радіатора

2.1.1.2 Розрахунок допустимого теплового опору радіатора

Якщо для НПП задана $t_{p-n \text{ доп}}$, 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:

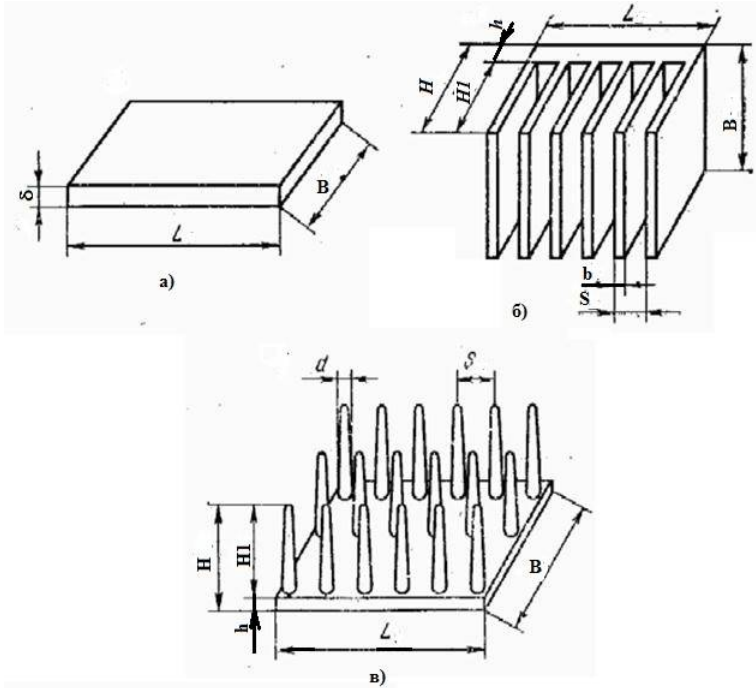
$$, \quad (2.1)$$

$$. \quad (2.2)$$

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 - штирьовий 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 – штирьовим 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:

$$\text{,} \quad (2.3)$$

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, 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 Проєктний розрахунок пластинчастого радіатора

Для пластинчастого радіатора для відомої довжини L знайти:

– для вільної конвекції комплекс $\frac{P}{F_{OCH}}$ при заданому Δt_P дон

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.

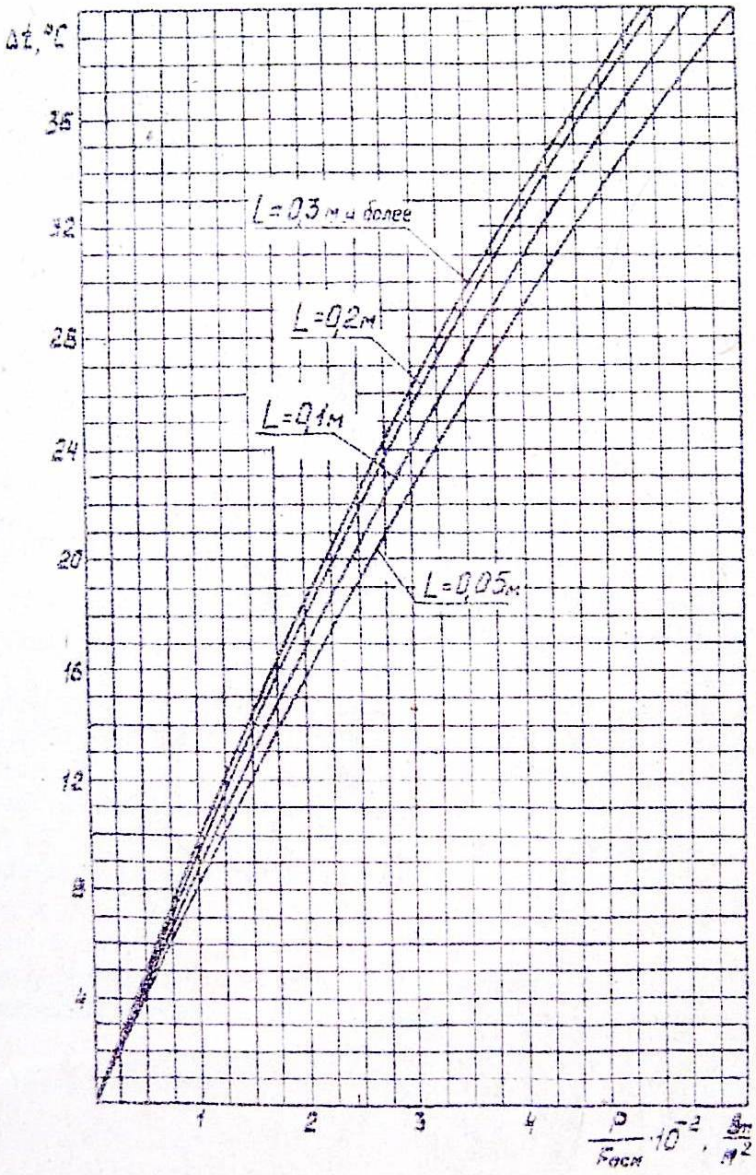


Рисунок 2.4 - Радіатор пластинчастий. Вільна конвекція

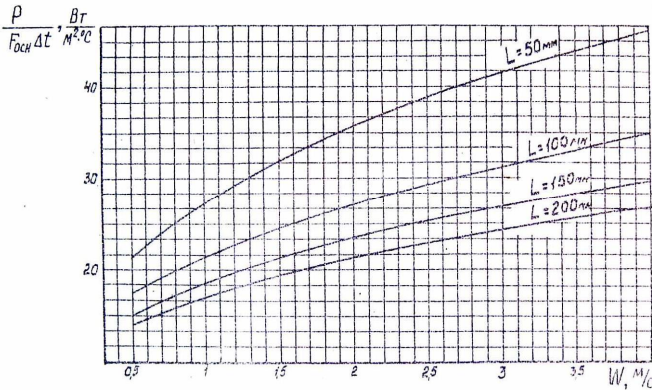


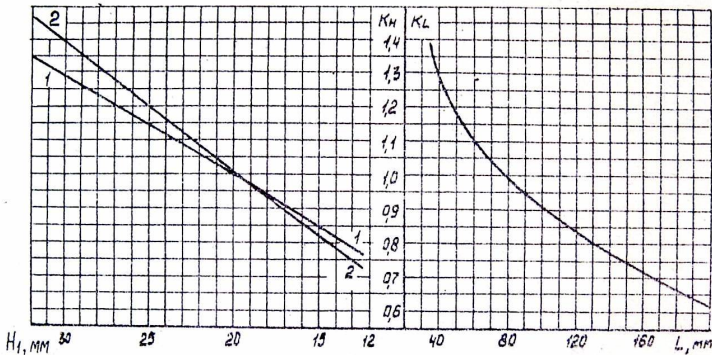
Рисунок 2.5 - Радіатор пластинчастий. Вимушена конвекція

2.1.1.7 Проектний розрахунок ребристого радіатора

Для ребристого радіатора слід задати тип оребрення (однобічне або двобічне) та висоту ребра $H1$. Висота ребра $H1$ вибирається з конструктивних міркувань та може знаходитися у діапазоні 12...32 мм.

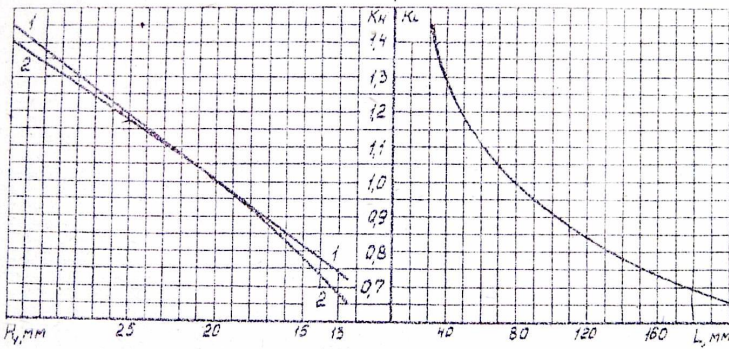
За відомими L та $H1$ знайти поправні коефіцієнти K_L, K_H :

- 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

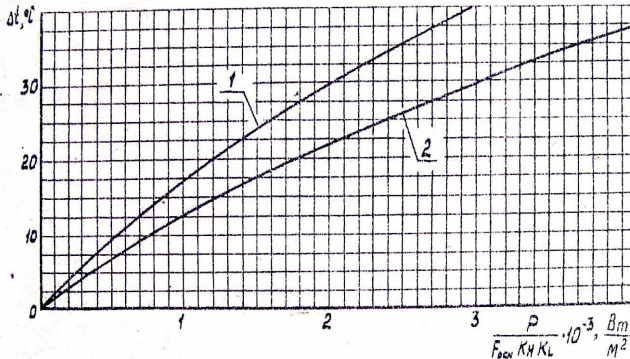


1-1 - однобічне оребрення, 2-2 - двобічне оребрення

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

Враховуючи Δt_p доп, знайти комплекс $\frac{P}{F_{OCH} \cdot K_H \cdot K_L}$:

- 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

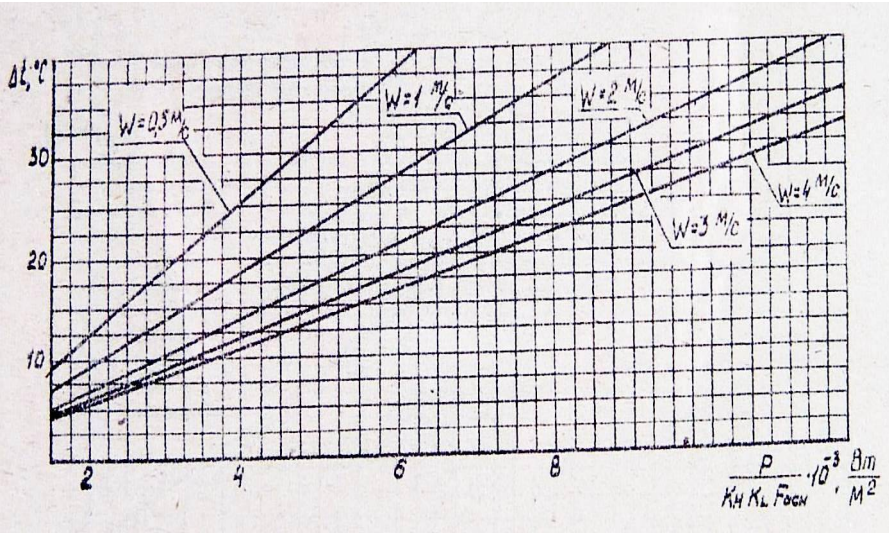


Рисунок 2.9 - Радіатор ребристий однобічний. Вимушена конвекція

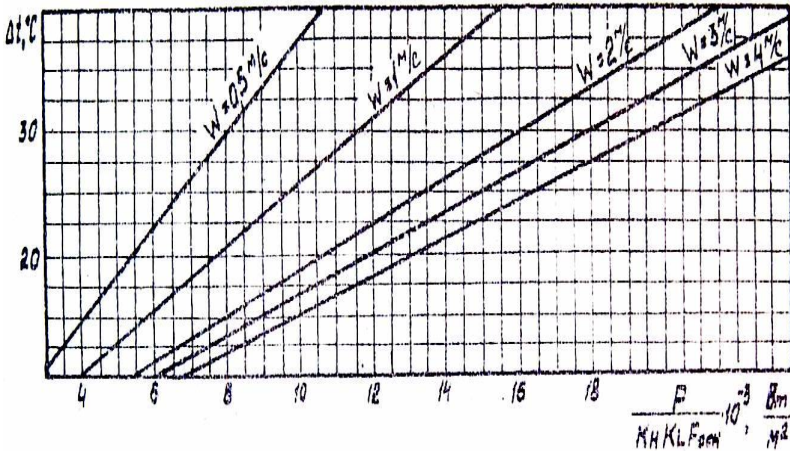


Рисунок 2.10 - Радіатор ребристий двобічний. Вимушена конвекція

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

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

– рекомендовані значення h складають 3...5 мм, при цьому рекомендовані співвідношення $Hl : H$ складають 4 : 5;

– рекомендовані значення товщини ребра b складають 0,5...2,0 мм;

– оптимальний крок s між ребрами складає:

а) для вільної конвекції 3...10 мм;

б) для вимушеної конвекції 6...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 12...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 $\Delta t_{р доп}$, знайти комплекс

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

– для вільної конвекції за графіками, наведеними на рис. 2.15;

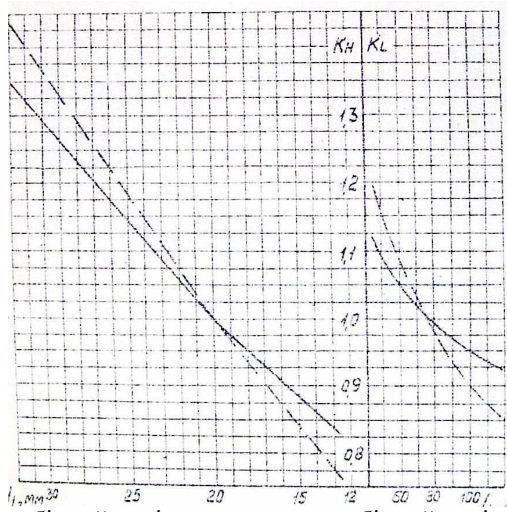
– для вимушеної конвекції при заданій швидкості потоку w за графіками, наведеними на рис. 2.16.

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

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

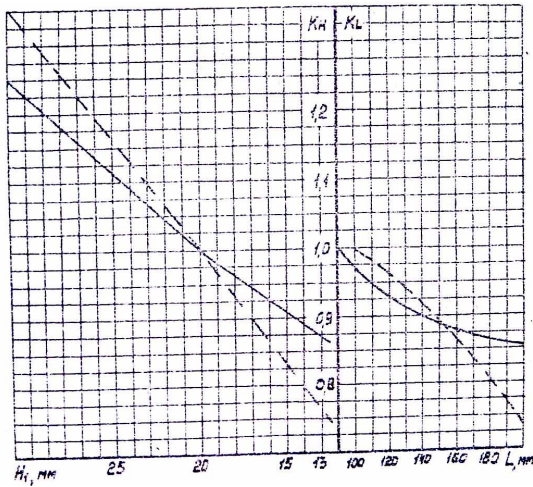
– рекомендовані значення h складають 3...5 мм;

— рекомендовані значення діаметра штиря d складають 0,3...2,0 мм.



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

Рисунок 2.11 - Радіатор штирьовий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вільної конвекції при $s = 7$ мм



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

Рисунок 2.12 - Радіатор штирьовий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вільної конвекції при $s = 9$ мм

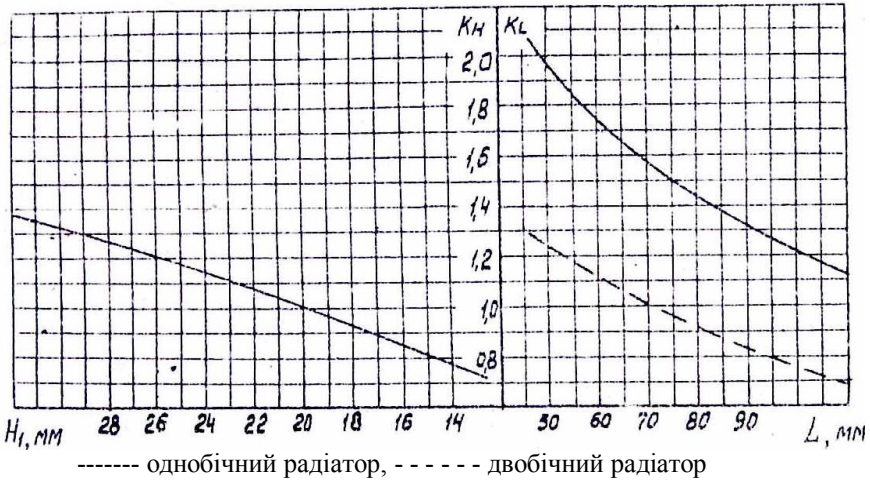


Рисунок 2.13 - Радіатор штирьовий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вимушеної конвекції при $s = 5$ мм

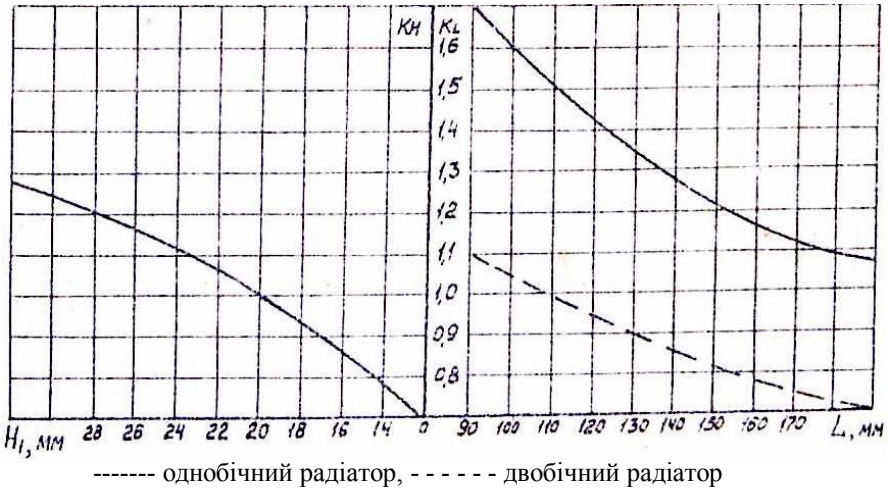
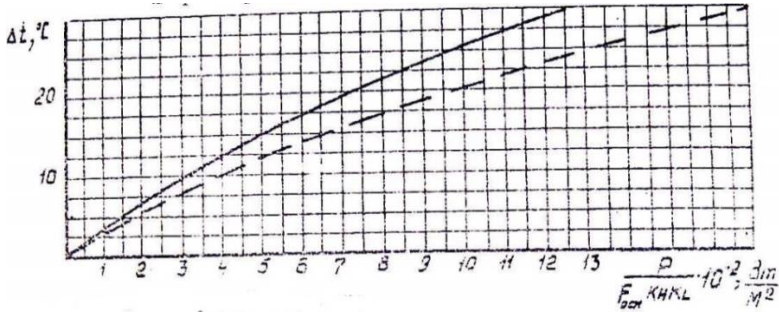
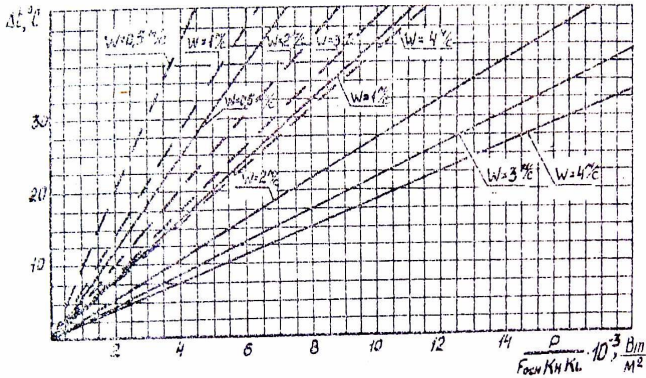


Рисунок 2.14 - Радіатор штирьовий. Поправні коефіцієнти на довжину та висоту в умовах вимушеної конвекції при $s = 7$ мм



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

Рисунок 2.15 - Радіатор штирєвий. Вільна конвекція



----- $s = 5$ мм,

- - - - - $s = 7$ мм

Рисунок 2.16 - Радіатор штирєвий 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:

$$(2.4)$$

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 70...100 Вт/(м² К).

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

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

Радіатор спроектований вірно, якщо виконується умова:

$$(2.6)$$

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 HI задати з конструктивних міркувань з діапазону 12...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 3...5 мм, при цьому співвідношення $HI:H$ повинно наближуватися до 4:5;
- товщину ребра b задати з конструктивних міркувань з діапазону 0,5...2,0 мм;
- крок між ребрами s задати з конструктивних міркувань з діапазону 3...10 мм для вільної конвекції або 6...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 HI задати з конструктивних міркувань з діапазону 12...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 3...5 мм, при цьому співвідношення $HI:H$ повинно наближуватися до 4:5;
- діаметр штиря d задати з конструктивних міркувань з діапазону 0,3...2,0 мм.

2.2.6 Розрахувати площу спіддотику радіатора з навколишнім середовищем F . Вона дорівнює сумі площин зовнішніх поверхонь радіатора за винятком площі поверхні спіддотику радіатора з корпусом НПП та площі поверхні спіддотику 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 $70 \dots 100 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$.

2.2.8 Задатися коефіцієнтом чорноти поверхні радіатора ϵ у межах $0,92 \dots 0,96$ 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	FGA25N120ANTD	50	вільне	45	окис берилію
4	GB100DA60UP	100	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	FGA25N120ANTD	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	FGA25N120ANTD	25	вільне	55	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	FGA25N120ANTD	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 Моделювання теплових процесів в РЕА [Текст]: навчальний посібник / О.І. Нікольський, О.П. Шеремета. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 116 с.

2 Теплові процеси в електроніці [Текст] / [Ю.Я. Бобало, В. Вуйцик, З.Ю. Готра та інші]; за ред. З.Ю. Готри. – Львів: Ліга-Прес, 2007. – 360 с.

3 Будник, А.Ф. Тепломасоперенос у процесах і матеріалах [Текст]: навчальний посібник / А.Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 158 с.

4 Дульнев, Г.Н. Тепломассообмен в радиоэлектронной аппаратуре [Текст] / Г.Н. Дульнев. – М.: Высш. Шк., 1984 – 247 с.

5 ОСТ4.012.001. Радиаторы охлаждения полупроводниковых приборов. Методы расчета [Текст] – Чинний від 1979–01–01. – М.: Госстандарт, 1979. – 67 с.

6 Роткоп, Л.Л. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / Л.Л. Роткоп, Ю.Е.Спокойный. – М.: Советское радио, 1976. – 232 с.

7 Ганжа, С.М. Основи конструювання електронних засобів [Текст]: підручник / С.М. Ганжа. – Луганськ.: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, 2011. – 491 с.

8 All Transistors. Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alltransistors.com/spisall.php>

9 Теплопередача в РЕА. Конспект лекцій з дисципліни "Тепломасообмін в радіоелектронних апаратах" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання, частина 1 / Уклад.: Огренич Е.В., Поспеева І.Є. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 78 с.

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 розсіювання, P_{\max} , Вт	180	150	125	300	250
Допустима температура, $t_{\text{НППдоп}}$, °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.

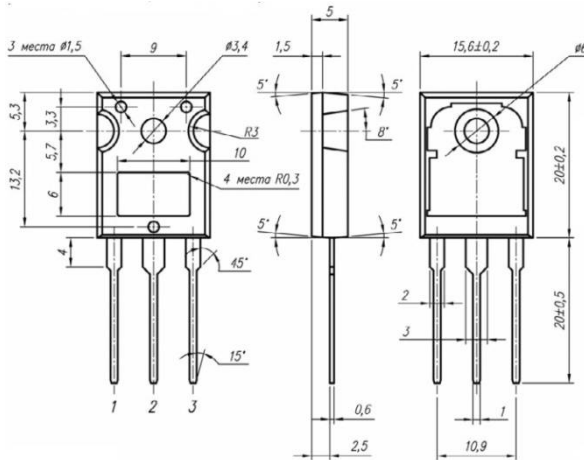


Рисунок А.1 - Корпус TO-247 AC

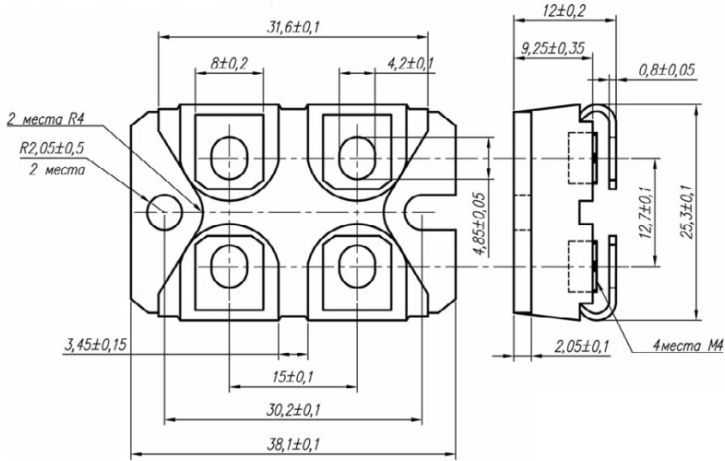


Рисунок А.4 - Корпус SOT-227

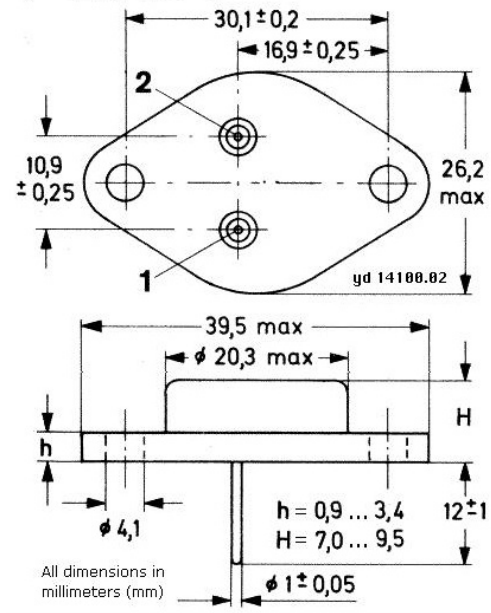


Рисунок А.5 - Корпус TO-3

Додаток Б

Параметри ізоляційних прокладок

Таблиця Б.1 - Параметри ізоляційних прокладок

Тип прокладки	Товщина, мм	Тепловий опір R_{13} , $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ 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	0,035...0,040	0,50...0,65	1,20...1,50

Додаток В

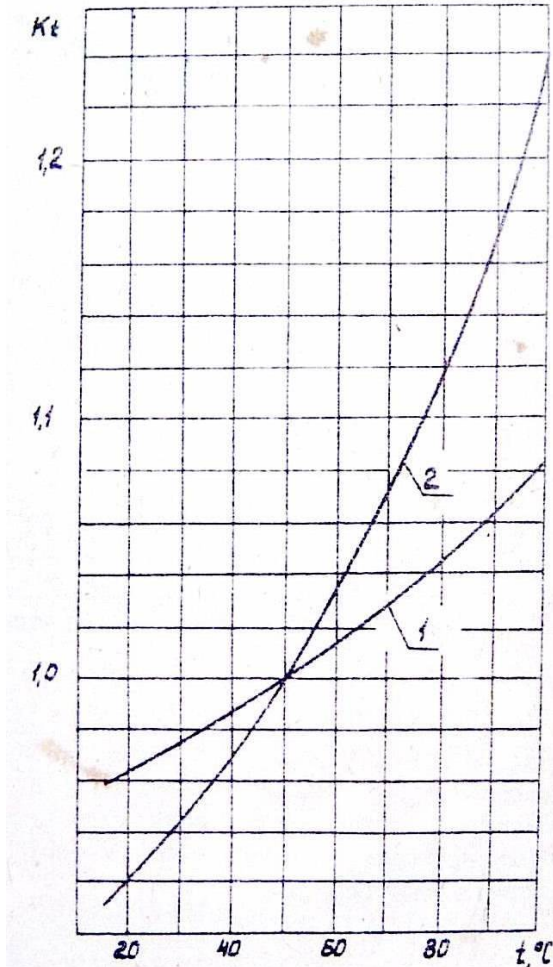
Параметри матеріалів радіаторів

Таблиця В.1 - Параметри матеріалів радіаторів

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

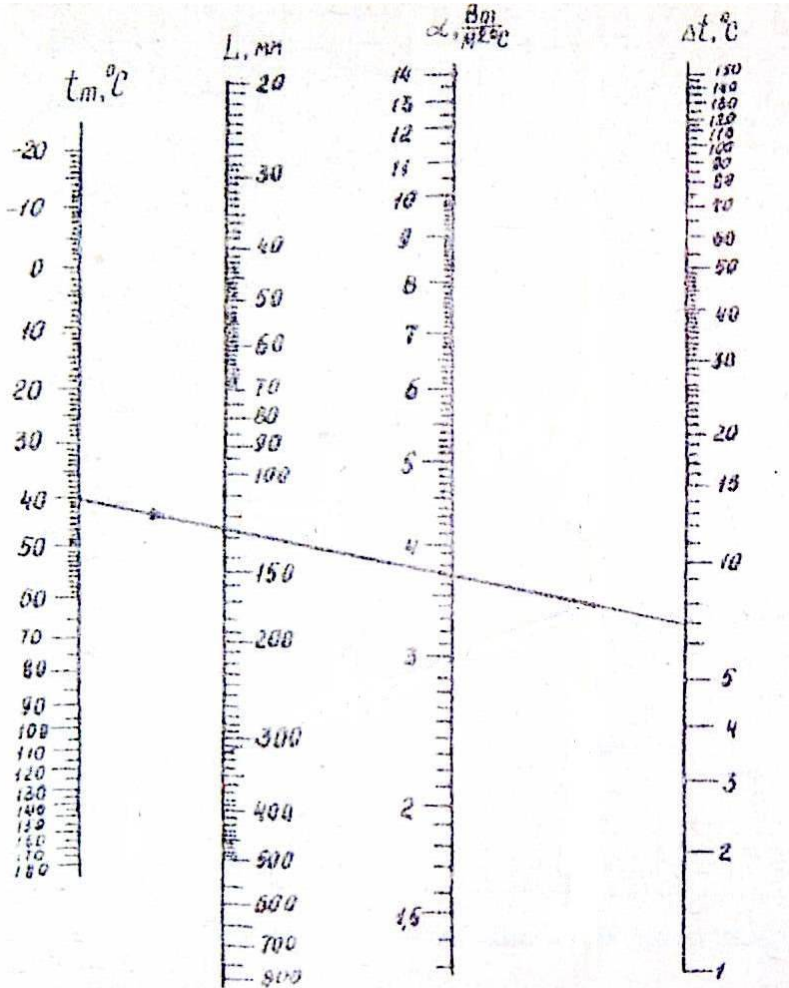


Рисунок Д.1 - Номограма для визначення конвективного коефіцієнта тепловіддачі α_K в умовах вільної конвекції

Додаток Е

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

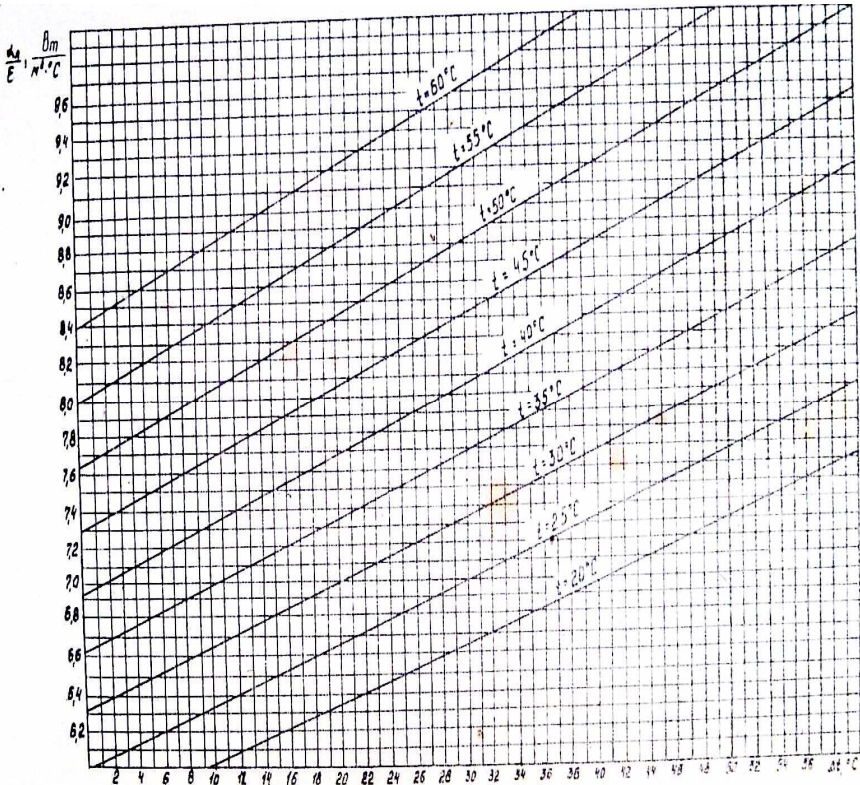
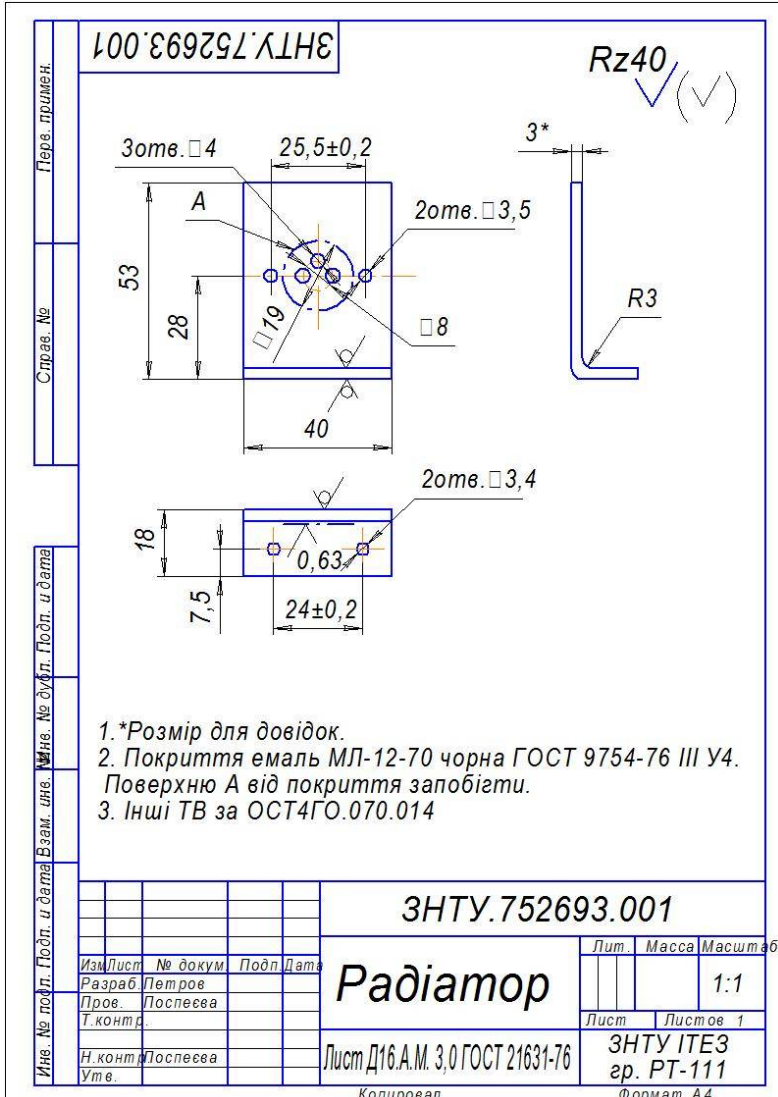


Рисунок Е.1 - Графіки залежності коефіцієнта тепловіддачі випромінюванням α_B від перегріву для різних температур навколишнього середовища

Додаток Ж

Приклад креслення пластинчастого радіатора



Додаток Л

Приклад креслення штирьового радіатора

