

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт
з дисципліни
“Фізико-теоретичні основи конструювання електронних
апаратів”
для студентів спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми
«Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні
технології мікросистемної радіоелектронної техніки»)
усіх форм навчання

2017

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни "Фізико-теоретичні основи конструювання електронних апаратів" для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (освітні програми «Радіоелектронні апарати та засоби» та «Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки») усіх форм навчання / Уклад.: Поспеева І.Є., Фурманова Н.І., Шинкаренко Е.М.. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 42 с.

Укладачі: Фурманова Наталія Іванівна, канд. техн. наук,
 доцент;
 Поспеева Ірина Євгенівна, ст. викладач;
 Шинкаренко Едуард Миколайович.

Рецензент: Фарафонов Олексій Юрійович, канд. техн.
наук, доцент

Відповідальний за випуск: Шило Галина Миколаївна,
канд. техн. наук, доцент, в.о. зав. каф. ІТЕЗ

Розглянуто
на засіданні кафедри ІТЕЗ
протокол № 5 від 16.12.16 р.

Затверджено
на засіданні НМК ФРЕТ
протокол № 4 від 22.12.16 р.

ЗМІСТ

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ТЕПЛООБМІН КОРПУСУ РЕА В НЕОБМЕЖЕНОМУ ПРОСТОРИ	4
1.1 Стислі теоретичні відомості	4
1.1.1 Закони переносу енергії	4
1.1.2 Тепловий опір	8
1.1.3 Вільна конвекція у необмеженому просторі	8
1.2 Лабораторне завдання	12
1.3 Зміст звіту	13
1.4 Контрольні питання	13
2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ РЕЗ... 15	15
2.1 Класифікація систем охолодження	15
2.1.1 Повітряні системи охолодження	15
2.1.2 Рідинні і випарні системи охолодження	17
2.1.3 Кондуктивне охолодження	17
2.1.4 Радіаційні і спеціальні системи охолодження	17
2.2 Вибір системи охолодження	18
2.3 Лабораторне завдання	22
2.4 Порядок виконання роботи	23
2.5 Зміст звіту	23
2.6 Контрольні питання	23
3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ЕА	25
3.1 Стислі теоретичні відомості	25
3.2 Показники надійності невідновлюваних виробів	27
3.3 Закони розподілу випадкових величин	33
3.4 Вихідні дані	37
3.5 Лабораторне завдання	37
3.6 Зміст звіту	39
3.7 Контрольні питання	40
ЛІТЕРАТУРА	41
Додаток А	42
Додаток Б	43

1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1. ТЕПЛООБМІН КОРПУСУ РЕА В НЕОБМЕЖЕНОМУ ПРОСТОРИ

Мета роботи – вивчити закони теплообміну в електрон-них апаратах; придбати навички розрахунку теплообміну РЕА в необмеженому просторі при вільній конвекції.

1.1 Стислі теоретичні відомості

1.1.1 Закони переносу енергії

Розрізняють три види переносу енергії у вигляді теплоти: теплопровідність, конвекцію, і теплове випромінювання.

Теплопровідність – молекулярний перенос теплоти у суцільному середовищі, викликаний різницею температур.

У основі теорії теплопровідності лежить закон Фур'є:

$$q = - \lambda \text{ grad}t, \quad (1.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м. °К;

q – густина теплового потоку, Вт/м²;

$\text{grad}t$ – градієнт температури, °К/м.

Конвекція – процес переносу теплоти при переміщенні макроскопічних об'єктів рідини чи газу із областей з однією температурою у область з іншою; при цьому перенос теплоти пов'язаний з переносом речовини.

Процес конвекції супроводжується теплопровідністю; цей сумісний процес називається **конвективним теплообміном**. Цей процес переносу теплоти описується законом Ньютона-Ріхмана:

$$Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot A, \quad (1.2)$$

де Q – тепловий потік, Вт;

α – коефіцієнт тепловіддачі Вт/м². °К;

Δt – різниця температур між поверхнею тіла та середовищем;

A – площа поверхні тепловіддачі, м².

Конвективний теплообмін пов'язаний з характером руху рідини, тобто з гідродинамічним процесом.

Теплові та аерогідродинамічні явища взаємозв'язані і впливають один на одного, тому вивчення кожного з них не може виконуватися ізольовано.

При дотику часток рухомої рідини з поверхнею тіла вони адсорбуються. У результаті біля поверхні унаслідок в'язкістних властивостей утворюється тонкий повільно рухомий шар рідини - **примежовий шар**. При цьому розрізняють гідродинамічний і тепловий примежовий шари.

Гідродинамічний примежовий шар – пристінний шар рідини, в якому відбувається зміна швидкості руху рідини від нульового (на поверхні тіла) до значення швидкості основного потоку.

Тепловий примежовий шар – пристінний шар рідини, у якому відбувається зміна температури від її значення на поверхні тіла до температури основного потоку рідини.

Існує два основних режими руху рідини: ламінарний і турбулентний. При ламінарному русі окремі струмені потоку рідини розташовуються паралельно один до одного, тоді як при турбулентному вони хаотично переплетені один з одним.

Характер режиму течії залежить від декількох параметрів: в'язкості μ , густини ρ , швидкості v і розмірів тіла L .

Перехід від ламінарного потоку до турбулентного кількісно характеризується числом Рейнольдса Re . Наприклад, при обтіканні пластини при значенні числа Рейнольдса

$$Re = \frac{vL}{\nu} > 5 \cdot 10^5 \text{ виникає турбулентність}$$

при цьому опір рідини зростає, що призводить до зміни теплообміну (коефіцієнту тепловіддачі).

Теплове випромінювання – процес переносу теплоти, обумовлений перетворенням внутрішньої енергії речовини в енергію випромінювання і переносом її у вигляді електромагнітних хвиль. По спектру розрізняють монохроматичне і інтегральне випромінювання. Якщо випромінювання відбувається в вузькому інтервалі довжини хвиль то воно називається монохроматичним. Інтегральним називається випромінювання в усьому діапазоні довжини хвиль $0 \leq \lambda \leq \infty$.

При вивченні теплового випромінювання використовується поняття **випромінюваність**. Розрізняють спектральну та інтегральну випромінюваність.

Спектральне випромінювання чорного тіла описується законом Планка:

$$M_{\lambda} = \left(\frac{C_1 \lambda^{-5} n^{-2}}{\exp \left(\frac{C_2}{n \lambda T} - 1 \right)} \right)^5, \quad (1.3)$$

де λ – довжина хвилі випромінювання, м;
 n – показник приломлення серед;
 T – температура тіла, °К;
 C_1, C_2 – константи.

Згідно з законом Планка чорне тіло при температурі $T > 0$ випромінює хвилі всіх довжин. Тобто має суцільний спектр.

Інтегральна випромінювальність чорного тіла описується законом Стефана-Больцмана:

$$M_0 = n^2 s_0 T^4, \quad (1.4)$$

де n – коефіцієнт приломлення серед;
 T – температура тіла, °К;
 s_0 – постійна Стефана-Больцмана, дорівнює $5,67 \cdot 10^{-8}$,
 Вт/м² * °К⁴.

Для кількісної характеристики випромінювання реальних тіл вводять поняття **коефіцієнта чорноти** теплового випромінювання ϵ :

$$\epsilon = M / M_0 \leq 1, \quad (1.5)$$

де M – випромінювальність реального тіла;
 M_0 – випромінювальність чорного тіла.

Для реальних тіл закон Стефана-Больцмана має вигляд:

$$M = e n^2 s_0 T. \quad (1.6)$$

1.1.2 Тепловий опір

Між тепловим потоком Φ і різницею температур t_1-t_2 , що викликає цей потік, існує взаємозв'язок:

$$t_1-t_2 = R\Phi, \quad (1.7)$$

де R – тепловий опір, $^{\circ}\text{K}/\text{Вт}$.

Величина зворотня тепловому опору становить теплову провідність

$$s = \frac{1}{R}. \quad (1.8)$$

Використовуючи закон Ньютона-Ріхмана, вираз (1.7) та (1.8) можливо встановити зв'язок між тепловою провідністю та коефіцієнтом тепловіддачі:

$$s = a A. \quad (1.9)$$

1.1.3 Вільна конвекція у необмеженому просторі

На основі теорії подоби узагальнено багаточисленний експериментальний матеріал по теплообміну при вільній конвекції у необмеженому просторі. Здобуті імперичні формули, дозволяють визначити коефіцієнт тепловіддачі тіл з одним визначаючим розміром.

Процес тепловіддачі при вільній конвекції в необмеженому просторі залежить як від визначального розміру так і від орієнтації поверхні у просторі, тобто коефіцієнта N , значення котрого даються у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Значення коефіцієнта N для різних поверхонь

Поверхня	Визначальний розмір	N
Вертикальні пластини	Висота	1,0
Горизонтальні пластини	Максимальний розмір	
Верхня		1,3
Нижня		0,7

Внаслідок різної орієнтації і розмірів верхньої, нижньої і бокової стінок корпусу РЕА теплообмін їх з навколишнім середовищем характеризується різною інтенсивністю, тому загальна теплова провідність від поверхні корпусу σ_{Σ} має три складових

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3,$$

де σ_i - теплова провідність від верхньої ($i = 1$), нижньої ($i = 3$), і бокової ($i = 2$), поверхонь корпусу.

На основі теорії теплообміну загальна теплова провідність σ_{Σ} дорівнює сумі конвективної σ_{ik} та променевої σ_{il} теплових провідностей:

$$s_i = s_{ik} + s_{il} = (a_{ik} + a_{il}) A_i;$$

де a_{ik}, a_{il} - коефіцієнти тепловіддачі конвекцією і випромінюванням від поверхні i корпусу в навколишнє середовище.

Оскільки усі поверхні корпусу мають однакові коефіцієнти чорноти, то

$$a_{1л} = a_{2л} = a_{3л} = a_{л}.$$

Повна теплова провідність від поверхні корпусу в навколишнє середовище дорівнює:

$$s_{\Sigma} = (a_{1k} + a_{л}) A_1 + (a_{2k} + a_{л}) A_2 + (a_{3k} + a_{л}) A_3.$$

Розрахунок повної теплової провідності та теплового потоку здійснюється за алгоритмом, який наведено на рис. 1.1.

При розрахунку коефіцієнта тепловіддачі необхідно враховувати характер руху повітря.

При турбулентному русі повітря коефіцієнт тепловіддачі не залежить від визначального розміру.

При розрахунку прийняті такі позначення:

L_i – визначаючий розмір поверхней корпусу;

$$t_m = \frac{t_k + t_c}{2} - \text{середня температура};$$

N – коефіцієнт, що враховує орієнтацію поверхні у просторі;

$f(t_k; t_c)$ – табульована функція, наведена в додатку А;

ε – коефіцієнт чорноти поверхні корпусу.

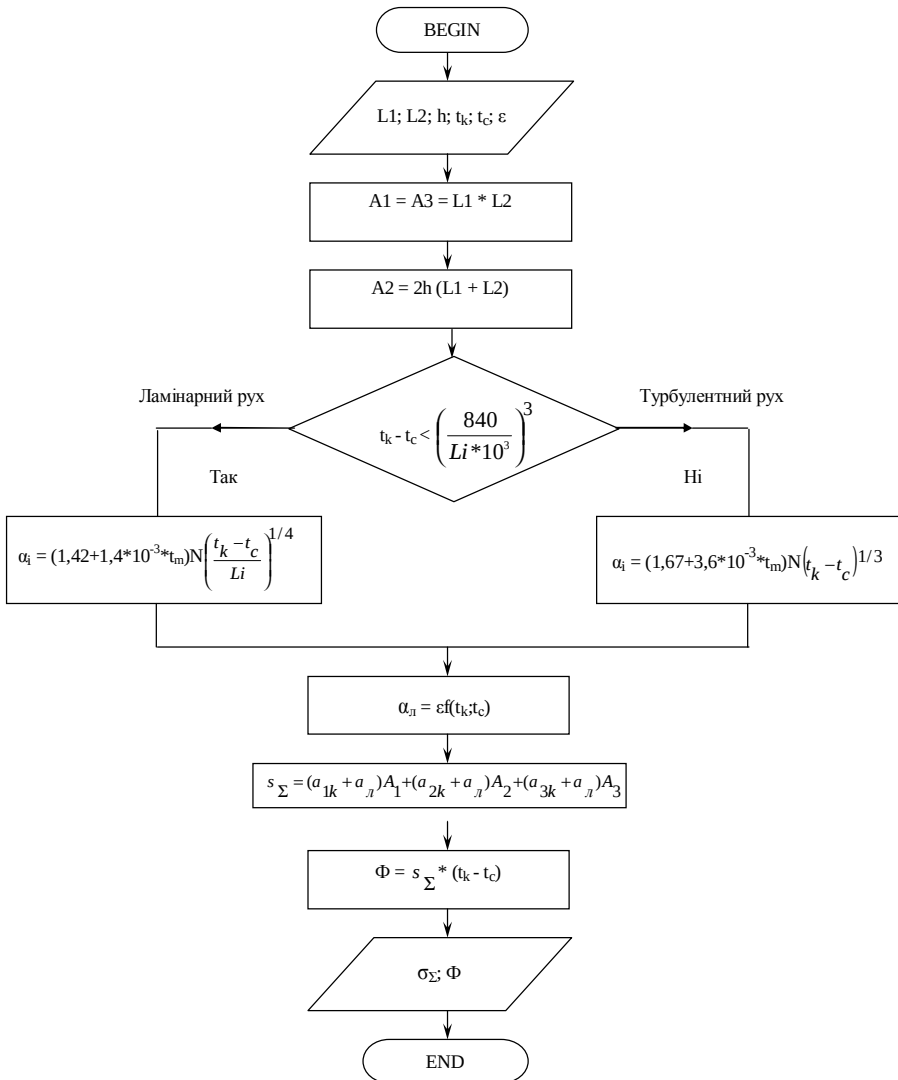


Рисунок 1.1 - Блок схема алгоритму розрахунку теплової провідності

1.2 Лабораторне завдання

1.2.1 Користуючись рекомендованою літературою та даними методичними вказівками вивчити закони теплообміну в електронних апаратах.

1.2.2 Відповісти на контрольні питання.

1.2.3 Розрахувати повну теплову провідність та тепловий потік від корпусу в навколишнє середовище в умовах вільної конвекції за алгоритмом, який наведено на рис. 1.1.

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Вихідні данні для розрахунку.

№ варіанту	L1, М	L2, М	h, М	t _к °С	t _с °С	ε
1	0,30	0,20	0,25	80	30	0,92
2	0,40	0,25	0,3	50	25	0,28
3	0,55	0,30	0,2	60	30	0,20
4	0,50	0,32	0,4	45	20	0,30
5	0,60	0,40	0,1	50	25	0,80
6	0,45	0,41	0,32	70	30	0,96
7	0,42	0,32	0,8	70	20	0,80
8	0,65	0,48	0,4	40	25	0,50

1.2.4 Визначити яка частина теплової потужності розсіюється конвекцією, а яка випромінюванням.

1.3 Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;
- алгоритм розрахунку;
- результати розрахунків;
- висновки до роботи.

1.4 Контрольні питання

1.4.1 Перелічити види теплообміну та дати їм пояснення.

1.4.2 Сформулюйте закон Фур'є та дайте йому пояснення.
Дайте визначення коефіцієнту теплопровідності.

1.4.3 Сформулюйте закон Ньютона-Ріхмана та дайте йому пояснення. Дайте визначення коефіцієнту тепловіддачі.

1.4.4 Сформулюйте закон Стефана-Больцмана для реальних тіл. Що таке коефіцієнт чорноти?

1.4.5 Які чинники впливають на конвективний теплообмін?

1.4.6 Назвіть причини появи примежового шару. Дати визначення гідродинамічного та теплового примежового шарів.

1.4.7 Назвіть основні режими руху рідини. Чим вони відрізняються?

1.4.8 Поясніть фізичний зміст числа Рейнольдса.

1.4.9 Запропонуйте конструктивні засоби збільшення загальної теплової провідності від корпусу РЕА в навколишнє середовище при вільній конвекції.

2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2. СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ РЕЗ

Мета роботи: ознайомитися з системами охолодження сучасних радіоелектронних засобів (РЕЗ) та отримати навички щодо їх вибору.

2.1 Класифікація систем охолодження

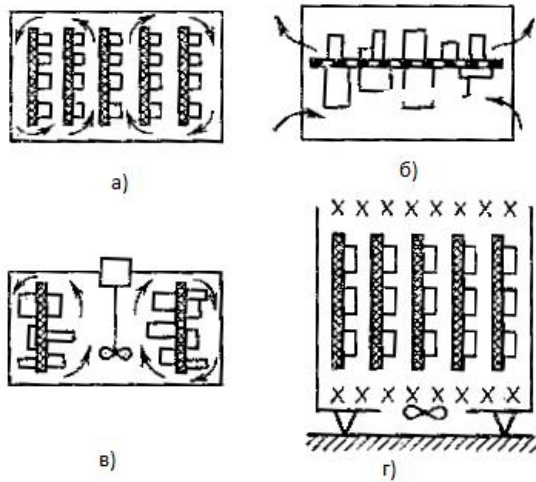
Система охолодження РЕЗ – сукупність пристроїв та конструктивних елементів, що застосовуються для забезпечення заданого в технічному завданні (ТЗ) теплового та вологісного режимів РЕЗ.

Системи охолодження (СО) можна поділити на повітряні, рідинні, випарні, кондуктивні, радіаційні, спеціальні і комбіновані.

2.1.1 Повітряні системи охолодження

В повітряних СО в якості теплоносія використовується повітря; при цьому розрізняють вільне повітряне охолодження, внутрішнє перемішування повітря в корпусі апарата, вільну і примусову вентиляцію. Схеми перелічених повітряних систем охолодження наведені на рис. 2.1. На рис.2.1, а наведено вільне повітряне охолодження. Воно відбувається між елементами РЕЗ і повітрям, при цьому повітря переміщується за рахунок енергії, що розсіюється елементами. Недоліком даної схеми охолодження є низька інтенсивність охолодження, в результаті чого вона використовується при малих теплових потужностях. На рис. 2.1, б

представлена вільна вентиляція, яка здійснюється внаслідок різниці густини холодного повітря назовні і нагрітого всередині корпусу апарата, при цьому в корпусі апарата є перфорація. На рис.2.1, в наведена схема реалізації внутрішнього перемішування в корпусі апарата. На рис. 2.1, г наведена схема примусової вентиляції, яка може бути притічно-витяжною, притічною або витяжною. Недоліком даної СО є необхідність додаткових пристроїв, що призводить до збільшення габаритів, маси і енергоспоживання.



- а – вільне повітряне охолодження;
- б – вільна вентиляція;
- в – внутрішнє перемішування повітря;
- г – примусова вентиляція.

Рисунок 2.1 – Повітряні системи охолодження

2.1.2 Рідинні і випарні системи охолодження

В рідинних СО внутрішній об'єм корпусу заповнюється рідиною, що омиває поверхню плат і деталей. При цьому теплообмін між елементами конструкції і рідиною може відбуватися як у звичайних умовах (вільна і примусова конвекція), так і при кипінні рідини, відвід теплоти від нагрітої рідини може здійснюватися за допомогою зануреного у рідину змійовика з теплоносієм або теплообмінника, встановленого на корпусі апарату. Перевагою такої СО є висока інтенсивність охолодження. До недоліків слід віднести складність конструкції.

2.1.3 Кондуктивне охолодження

В кондуктивних СО явище теплопровідності використовується як основний механізм перенесення теплової енергії від джерела до теплоприймача, розташованого на периферії приладу. Наприклад, потужні транзистори часто розташовують на радіаторі.

2.1.4 Радіаційні і спеціальні системи охолодження

В радіаційних СО відвід теплоти здійснюється за рахунок випромінювання. Такі системи охолодження застосовуються у космічних апаратах і вакуумних приладах. До спеціальних СО належать термоелектронні пристрої, вихрові та теплові труби.

2.2 Вибір системи охолодження

Спосіб охолодження в значній мірі визначає конструкцію РЕЗ, тому вже на стадії ескізного проекту необхідно обрати систему охолодження РЕЗ.

На стадії ескізного проекту в ТЗ має міститися наступна інформація:

- сумарна потужність тепловиділення в блоці P , Вт;
- діапазон можливої зміни температури оточуючого середовища $t_{c\max}$, $t_{c\min}$, °C;
- допустимі температури елементів t_i , °C;
- коефіцієнт заповнення об'єму блоку K_3 ;
- розміри корпусу блоку L_1 , L_2 , L_3 , м.

Перераховані дані можуть бути використані для попередньої оцінки і вибору системи охолодження.

Вибір СО носить ймовірнісний характер і дозволяє оцінити ймовірність забезпечення заданого в ТЗ теплового режиму РЕЗ при обраному способі охолодження.

За результатами відпрацювання статистичних даних для реальних конструкцій, детальних теплових розрахунків і даних випробувань макетів були побудовані графіки, представлені на рис.2.2 [7.1]. Представлені графіки дозволяють обрати доцільний спосіб охолодження. Вони побудовані для безперервної роботи РЕЗ і пов'язують два основні показники виразом $\Delta t_c = f(\lg q)$.

Перший показник $\Delta t_c = t_{i\min} - t_c$ – перегрів відносно оточуючого середовища t_c корпусу найменш теплостійкого елемента,

для якого допустима і наведена в ТЗ температура має мінімальне значення. Для вільного охолодження $t_c = t_{c \max}$.

Другий показник q – щільність теплового потоку, що проходить через умовну площу поверхні A_y теплообміну:

$$q = \frac{P \cdot K_p}{A_y}, \text{ Вт/м}^2; \quad (2.1)$$

де P - сумарна потужність тепловиділення, Вт;

K_p – коефіцієнт, що враховує тиск повітря (при атмосферному тиску $K_p = 1$);

$$A_y = 2[L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2)L_3 \cdot K_3], \text{ м}^2; \quad (2.2)$$

де K_3 – коефіцієнт заповнення блоку (корпуса):

$$K_3 = \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) / V, \quad (2.3)$$

де V_i – об'єм i -го елемента РЕЗ;

n – кількість елементів;

V – об'єм корпусу.

На рис. 2.2 представлені два типи областей. Незаштриховані області передбачають один спосіб охолодження. Заштриховані передбачають застосування двох або трьох способів охолодження.

Для незаштрихованих областей можливе застосування наступних типів охолодження: 1 – вільне повітряне; 3 – примусове повітряне; 5 – примусове рідинне; 9 – примусове випарне.

Для заштрихованих областей можливе застосування наступних способів охолодження: 2 – вільне і примусове повітряне; 4 – примусове повітряне і вільне рідинне; 6 – примусове рідинне і вільне випарне; 7 – примусове рідинне, вільне і примусове випарне; 8 – вільне і примусове випарне.

Якщо показники РЕЗ потрапляють у заштриховану область, де можливе використання двох способів охолодження, то вибір системи охолодження потребує більш детальних розрахунків.

Верхня частина графіків (рис. 2.2) застосовуються для вибору способу охолодження потужних ламп, магнітів, дроселів.

Вибір системи охолодження не зводиться тільки до визначення способу охолодження, необхідно також враховувати технічну можливість здійснення даного способу охолодження.

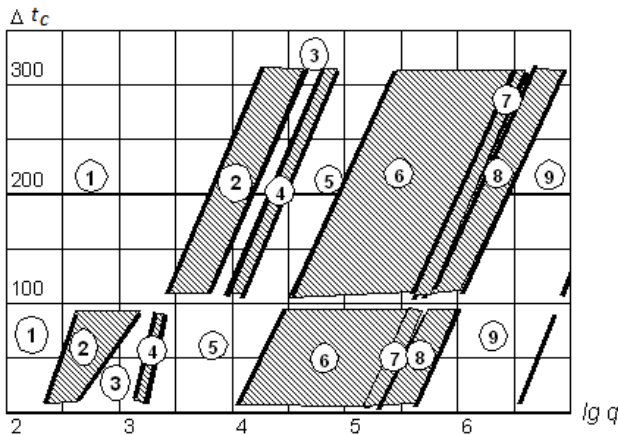


Рисунок 2.2 – Области доцільного використання різних способів охолодження

Як показує практика, при раціональному проектуванні можна забезпечити заданий тепловий режим бортових РЕЗ при питомих витратах повітря не більше

$$G/P = 180 \div 250 \text{ кг/год*кВт},$$

де G - масові витрати повітря, кг/год;

P - теплова потужність, кВт.

Для стаціонарних РЕЗ, де менш жорсткі обмеження за габаритами, масою та енергоспоживанням, питомі витрати повітря можу бути збільшені до $G/P = 250 \div 350 \text{ кг/год*кВт}$.

Для РЕЗ, що охолоджуються повітрям, тепловий режим вивчений найбільш повно, тому можна не тільки рекомендувати той чи інший спосіб повітряного охолодження, але й оцінити ймовірність, з якою він дозволить забезпечити визначений в ТЗ тепловий режим. Графіки ймовірності, з якою тепловий режим буде відповідати заданому в ТЗ при обраному способі охолодження, наведені в Додатку Б. При цьому слід керуватися наступними критеріями: якщо $0,3 \leq p \leq 0,8$, можна обрати цей спосіб охолодження; якщо $0,1 \leq p \leq 0,3$, не рекомендується обирати даний спосіб охолодження.

Необхідно також відзначити, що для підвищення ймовірності забезпечення заданого теплового режиму при вибраному способі охолодження потрібно збільшити питомі витрати повітря примусового повітряного охолодження.

2.3 Лабораторне завдання

2.3.1 Користуючись рекомендованою літературою та даними методичними вказівками, ознайомитися із системами охолодження радіоелектронних засобів.

2.3.2 Відповісти на контрольні питання.

2.3.3 Вибрати систему охолодження для РЕЗ в перфорованому корпусі згідно з варіантом. Вихідні дані наведені в табл. 2.1.

2.3.4 Визначити питомі витрати повітря за рис. Б.2

Таблиця 2.1 – Вихідні дані щодо вибору способу охолодження

№ варіанта	Тип РЕЗ	L_1 , м	L_2 , м	h , м	P , Вт	K_3	$t_{i\min}$, °C	t_c , °C	p
1	Бортова	0,30	0,2	0,25	75	0,5	45	20	0,6
2		0,40	0,25	0,30	175	0,6	65	30	0,7
3		0,55	0,30	0,20	300	0,8	70	40	0,6
4		0,50	0,32	0,40	550	0,9	65	20	0,7
5	Наземна	0,60	0,40	0,10	390	0,4	70	20	0,6
6		0,45	0,45	0,32	600	0,6	90	35	0,7
7		0,42	0,32	0,60	800	0,7	90	30	0,6
8		0,65	0,40	0,20	300	0,8	70	30	0,7

2.4 Порядок виконання роботи

2.4.1 Використовуючи вихідні дані, наведені в табл. 2.1, і формули (2.1) – (2.2), розрахувати щільність теплового потоку q і умовну площу поверхні теплообміну A_y . Результати розрахунків занести до табл. 4.1.

2.4.2 За графіком рис. 2.2 визначити доцільний спосіб охолодження РЕЗ. Використовуючи Додаток Б, зробити остаточний вибір способу охолодження з урахуванням заданої в табл. 2.1. ймовірності забезпечення заданого теплового режиму і можливості його технічної реалізації.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків

$A_y, \text{м}^2$	$q, \text{Вт/м}^2$	$\lg q$	$\Delta t_c, ^\circ\text{C}$

2.5 Зміст звіту

Звіт повинен містити: назву та мету роботи; стислі теоретичні відомості; вибір способу охолодження; висновки до роботи.

2.6 Контрольні питання

2.6.1 Дайте визначення системи охолодження.

2.6.2 Перелічіть системи охолодження РЕЗ.

2.6.3 У який спосіб можливо реалізувати повітряну систему охолодження? Дати порівняльну характеристику повітряним способам охолодження.

2.6.4 У який спосіб можливо реалізувати рідинну систему охолодження? В якому випадку її використовують? Які вона має недоліки?

2.6.5 У який спосіб можливо реалізувати випарну систему охолодження? Принцип дії випарної системи охолодження. В якому випадку її використовують? Які вона має недоліки?

2.6.6 Принцип роботи кондуктивної системи охолодження. В якому випадку її доцільно використовувати?

2.6.7 Перелічіть основні дані, які мають бути наведені в ТЗ на розробку РЕЗ, необхідні для вибору системи охолодження.

2.6.8 Як обрати доцільну систему охолодження РЕЗ?

2.6.9 З яких міркувань остаточно вибирається система охолодження РЕЗ?

3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ ЕА

Мета роботи: за результатами випробувань визначити закон розподілу відмов електронних приладів; визначити параметри надійності невідновлюваних елементів РЕА.

3.1 Стислі теоретичні відомості

Радіоелектронна апаратура (РЕА) характеризується якістю, тобто певною сукупністю властивостей, що істотно відрізняють даний виріб від інших і визначають ступінь його придатності для експлуатації за своїм призначенням.

В процесі експлуатації РЕА внаслідок зносу і старіння характеристики виробу, а відповідно, і його якість будуть змінюватися.

Зміна якості у часі характеризується одним із головних його показників – надійністю.

Надійність – властивість виробу виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах, що обумовлені нормативно-технічною документацією (ОСТ, ГОСТ, ДСТУ, ТУ), на протязі необхідного відрізка часу при дотриманні режимів експлуатації, зберігання і технічного обслуговування.

Надійність РЕА і її елементів є комплексною властивістю, за допомогою якої оцінюють такі важливі характеристики виробу, як

працездатність, довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність, збережність, відновлюваність.

Працездатність – це стан виробу, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, встановленими у нормативно-технічній документації.

Довговічність – властивість виробу тривалий час зберігати працездатність до настання граничного стану при встановлених правилах обслуговування і ремонту.

Граничний стан – втрата працездатності в результаті зносу або старіння. Показниками довговічності є ресурс і термін служби.

Термін служби - календарна тривалість експлуатації виробу від початку чи її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Безвідмовність – властивість виробу безперервно зберігати працездатність на протязі заданого проміжку часу.

Ремонтпридатність – властивість виробу бути пристосованим до попередження, виявлення та усунення відмов за допомогою технічного обслуговування та ремонту.

Збережність – здатність виробу зберігати показники довговічності, безвідмовності і ремонтпридатності на протязі часу зберігання.

Так само, як надійність, безвідмовність, довговічність і ремонтпридатність кількісно визначається **ймовірнісними показниками**.

В теорії надійності одним із фундаментальних понять є відмова.

Відмова – випадкова подія, що призводить до порушення працездатності. Розрізняють раптові і поступові відмови. Раптова відмова виникає в результаті зносу і старіння. Поступова відмова виникає як наслідок поступової зміни основних параметрів виробу через знос і старіння.

Наробіток – тривалість роботи виробу, що вимірюється часом, циклами, періодами.

Наробіток до відмови – тривалість часу роботи виробу від початку експлуатації до першої відмови.

Наробіток на відмову – середнє значення часу між відмовами.

3.2 Показники надійності невідновлюваних виробів

Показниками надійності невідновлюваних виробів є:

- ймовірність безвідмовної роботи;
- ймовірність відмов;
- інтенсивність відмов;
- середній наробіток до відмови (середній час безвідмовної роботи).

Одним із важливих показників надійності невідновлюваних виробів є ймовірність безвідмовної роботи за проміжок часу t . Це ймовірність того, що за певних умов експлуатації в межах заданого проміжку часу роботи відмова не виникне.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу $p(t)$ за проміжок часу t можна розрахувати на основі показників надійності елементів, що складають даний виріб, або на основі статистичної обробки результатів випробувань великої кількості виробів даного типу. В цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи можна визначити за формулою:

$$p(t) \approx \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (3.1)$$

де N_0 - кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу t ;

$N(t)$ - кількість працездатних за час випробування виробів;

$n(t)$ - кількість виробів, що відмовили за час t .

Помилка розрахунку за формулою (3.1) тим менша, чим більша кількість виробів, що випробовуються.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу $p(t)$ за проміжок часу t пов'язана з імовірністю відмов $q(t)$ за той же проміжок часу співвідношенням:

$$p(t) + q(t) = 1. \quad (3.2)$$

Ймовірність того, що за час t виріб відмовить, за результатами статистичних випробувань, можна визначити за формулою:

$$q(t) \approx \frac{n(t)}{N_0} \quad (3.3)$$

де $n(t)$ - кількість виробів, що відмовили за час t ;

N_0 - кількість виробів, що випробовувалися на протязі часу t .

У якості показника надійності невідновлюваних виробів використовується щільність розподілу наробітку до відмови $f(t)$.

Похідна ймовірності відмови $q(t)$ за часом t характеризує щільність розподілу наробітку до відмови (часу безвідмовної роботи виробу), або швидкість «спадання» безвідмовності виробу:

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = -\frac{dp(t)}{d(t)}. \quad (3.4)$$

З урахуванням виразу (3.3) маємо:

$$f(t) = \frac{dn(t)}{dt \cdot N_0} \approx \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot N_0}. \quad (3.5)$$

Вираз (3.5) застосовується в тому випадку, коли всі вироби однотипні і випробовуються у однаковому режимі.

Найбільш розповсюдженим кількісним показником надійності є **інтенсивність відмов**, що являє собою відношення щільності розподілу наробітку до відмови до ймовірності безвідмовної роботи виробу, взяті для одного і того ж моменту часу:

$$l(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \quad (3.6)$$

Підставивши в (3.6) вирази (3.1) і (3.5), маємо:

$$l(t) = \frac{dn(t)}{dt \cdot N(t)}. \quad (3.7)$$

Інтенсивність відмов, отримана за результатами статистичних випробувань, визначається як відношення кількості виробів, що відмовили на протязі розглянутого проміжку часу, до добутку кількості виробів, які працездатні до початку цього проміжку, і його тривалості:

$$l(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t)}{(N_0 - n(t)) \cdot \Delta t}, \quad (3.8)$$

де Δt - розглянутий проміжок часу;

$\Delta n(t)$ кількість виробів, що відмовили за проміжок часу Δt ;

$N(t)$ - кількість виробів, що залишилися справними до розглянутого проміжку часу;

$n(t)$ - кількість виробів, що відмовили з початку випробувань до розглянутого проміжку часу Δt ;

N_0 - кількість виробів, що випробовувалися.

Залежність інтенсивності відмов від часу, що представлена на рис. 3.1, має три періоди.

I період – період приробітку $(0 - t_1)$. Цей період характеризується високою інтенсивністю відмов, що обумовлено виходом з ладу виробів, що мають приховані дефекти, які не вдалося виявити при їх виготовленні. Тривалість періоду приробітку складає частку відсотка часу нормальної роботи виробу. Період приробітку вважається завершеним, коли інтенсивність відмов наближується до $l_{\min}$. Приробіточні відмови можуть бути наслідком конструктивних, технологічних та експлуатаційних помилок.

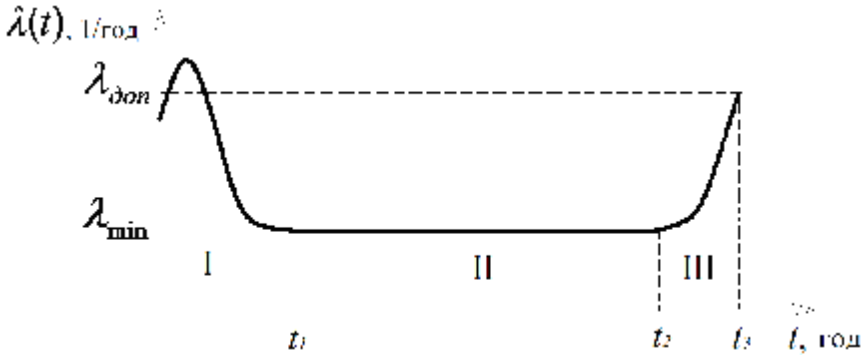


Рисунок 3.1 – Залежність інтенсивності відмов від часу

II період – період нормальної роботи $(t_1 - t_2)$. Цей період характеризується мінімальною і постійною інтенсивністю відмов. Величина $\lambda_{\min}$ тим менша, а інтервал тим більший, чим досконаліша конструкція, вища якість її виготовлення і більш ретельно дотримані режими експлуатації. Цей період складає десятки тисяч годин.

III період – період зносу і старіння $(t_2 - t_3)$. Цей період характеризується різким зростанням інтенсивності відмов через появу зносу і старіння матеріалів.

Завершується період III, а разом з тим припиняється експлуатація виробу, коли інтенсивність відмов наближається до максимально допустимого значення $\lambda_{\text{дон}}$.

Ймовірність безвідмовної роботи та інтенсивність відмов пов'язані співвідношенням:

$$p(t) = e^{-\int_0^t l(t) dt} . \quad (3.9)$$

Для II періоду - нормальної роботи виробу, коли $l(t) = l_0 = \text{const}$,

$$p(t) = e^{-lt} . \quad (3.10)$$

Отримана залежність має назву експоненціального закону надійності.

Ще одним показником надійності невідновлюваних виробів є середній час безвідмовної роботи або середній наробіток до відмови t_{cep} , що визначається за виразом:

$$t_{cep} = \int_0^{\infty} p(t) dt \quad (3.11)$$

Якщо $p(t) = e^{-lt}$, то вираз (3.11) має вигляд:

$$t_{cep} = \int_0^{\infty} e^{-lt} dt = 1/l . \quad (3.12)$$

Тоді

$$p(t) = e^{-t/t_{cep}} . \quad (3.13)$$

Статистично (за результатами випробувань) t_{cep} визначається як відношення суми часу безперервної роботи кожного виробу до загальної кількості виробів, що випробовуються:

$$t_{сер} = \sum_{i=1}^{N_0} \frac{t_i}{N_0}, \quad (3.14)$$

де t_i - час безперервної роботи i -го виробу.

Усі розглянуті показники надійності невідновлюваних виробів є рівноправними. Проте на практиці перевага віддається інтенсивності відмов, оскільки ця функція легко визначається експериментально.

3.3 Закони розподілу випадкових величин

В теорії надійності найбільше розповсюдження отримали наступні закони розподілу випадкових величин:

- експоненціальний закон;
- закон Вейбула;
- нормальний закон (закон Гауса);
- логарифмічний нормальний закон.

Ці закони справедливі для неперервних випадкових величин.

Експоненціальний закон розподілу наробітку до відмови широко використовується в інженерній практиці. Для цього закону щільність розподілу наробітку до відмови має вид:

$$f(t) = l e^{-lt}, \quad (3.15)$$

де $l = l(t) = const$.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається виразом:

$$p(t) = e^{-lt} \quad (3.16)$$

Середній наробіток до відмови пов'язаний з інтенсивністю відмов наступним співвідношенням:

$$t_{cp} = 1/l. \quad (3.17)$$

На практиці цей закон логічно застосовувати в тому випадку, коли процеси старіння і зносу протікають достатньо повільно, тобто для періоду нормальної роботи виробу.

Цей закон можна використовувати і в тих випадках, коли у виробках мають місце приховані дефекти, що призводять до раптових відмов.

Закон розподілу Вейбула використовується для оцінки надійності виробів в період їх приробітку, а також при зносі і старінні.

Для цього закону щільність розподілу наробітку до відмови визначається виразом:

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-\frac{t^m}{t_0}}, \quad (3.18)$$

де m і t_0 – параметри розподілу закону Вейбула – сталі величини; для кожного класу виробів мають певні значення.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу визначається виразом:

$$p(t) = e^{-\frac{t^m}{t_0}}. \quad (3.19)$$

Інтенсивність відмов визначається виразом:

$$l(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{m}{t_0} t^{m-1}. \quad (3.20)$$

Наробіток на відмову визначається за формулою:

$$t_{cp} = \Gamma\left(1 + \frac{1}{m}\right) t_0^{1/m}, \quad (3.21)$$

Де Γ – гамма-функція.

При $m=1$ розподіл Вейбула перетворюється в експоненціальний.

Нормальний закон розподілу (розподіл Гауса) найчастіше зустрічається на практиці. Його використовують, коли випадкова величина залежить від великої кількості випадкових факторів, однорідних за своїм впливом, при цьому вплив кожного з них у порівнянні з усією їхньою сукупністю незначний.

Цим законом розподілу добре описуються результати незалежних вимірювань фізичних величин, а також використовуються при оцінці надійності виробів в процесі їхнього зносу і, відповідно, старіння. Його використовують для визначення часу наробітку до відмови.

Щільність розподілу наробітку до відмови:

$$f(t) = ce^{-\frac{(t-t_0)^2}{2s^2}}, \quad (3.22)$$

де t_0 і s^2 - середнє значення і дисперсія випадкових величин відповідно;

c – стала нормального розподілу:

$$c = \frac{\sqrt{2/p}}{s \left\{ 1 + f \left[t_0 / s \sqrt{2} \right] \right\}}. \quad (3.23)$$

Вона визначається із умови $\int_0^{\infty} f(t) dt = 1$;

$f(t_0 / s \sqrt{2})$ - нормована функція Лапласа:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (3.24)$$

Функція Лапласа протабульована для різних значень t .

Ймовірність безвідмовної роботи виробу визначається за виразом:

$$p(t) = \frac{1 - f \left[(t - t_0) / s \sqrt{2} \right]}{1 + f \left[t_0 / s \sqrt{2} \right]}. \quad (3.25)$$

Інтенсивність відмов виробу визначається за виразом:

$$l(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{\sqrt{2/p} e^{-\frac{(t-t_0)^2}{2s^2}}}{s \left\{ 1 - f \left[(t - t_0) / s \sqrt{2} \right] \right\}}. \quad (3.26)$$

Логарифмічно нормальний закон розподілу використовується при оцінці відмов через зніс в тих випадках, коли відмова виникає через утомне пошкодження.

Показники надійності виробу при логарифмічно нормальному законі розподілу мають вид:

- функція розподілу:

$$f(t) = \frac{0.4343}{ts} f\left(\frac{\lg t - \lg t_0}{s}\right); \quad (3.27)$$

- ймовірність безвідмовної роботи:

$$p(t) = \int_{-\infty}^t f\left(\frac{\lg t - \lg t_0}{s}\right) dt; \quad (3.28)$$

- інтенсивність відмов:

$$l(t) = \frac{f(t)}{p(t)}; \quad (3.29)$$

- логарифм середнього часу безвідмовної роботи:

$$\lg t_{cp} = \lg t_0 + 1.151s^2. \quad (3.30)$$

3.4 Вихідні дані

Випробовувались 10000 інтегральних мікросхем (ІМС), кількість відмов фіксувалась кожні 100 годин випробувань. Дані випробувань наведені у табл. 3.1.

3.5 Лабораторне завдання

3.5.1 Користуючись рекомендованою літературою та даними методичними вказівками, вивчити параметри надійності невідновлюваних виробів та основні закони розподілу відмов.

3.5.2 Відповісти на контрольні питання.

3.5.3 За результатами випробувань накреслити гістограму розподілу відмов у часі та визначити закон розподілення відмов ІМС.

3.5.4 Розрахувати ймовірність відмов $q(t)$, ймовірність безвідмовної роботи $p(t)$, інтенсивність відмов $l(t)$ ІМС. Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 3.1. Результати розрахунку занести до табл. 2.1.

3.5.5 За результатами розрахунків побудувати графіки залежності $q(t)$, $p(t)$, $l(t)$ та зробити висновки.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів надійності

№ випр.	Δt , год	$\Delta n(t)$	$q(t)$	$p(t)$	$l(t)$, 1/год
1	2	3	4	5	6
1	100	50+K			
2	200	40+K			
3	300	32+K			
4	400	25+K			
5	500	20+K			
6	600	17+K			
7	700	16+K			
8	800	16+K			
9	900	15+K			
10	1000	14+K			
11	1100	15+K			
12	1200	14+K			

Продовження табл. 3.1

13	1300	14+K			
14	1400	13+K			
15	1500	14+K			
16	1600	13+K			
17	1700	13+K			
18	1800	13+K			
19	1900	14+K			
20	2000	12+K			
21	2100	12+K			
22	2200	13+K			
23	2300	12+K			
24	2400	13+K			
25	2500	14+K			
26	2600	16+K			
27	2700	20+K			
28	2800	25+K			
29	2900	30+K			
30	3000	40+K			

K – номер студента в журналі

3.6 Зміст звіту

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;

- стислі теоретичні відомості;
- результати розрахунків у вигляді табл.2.1 та графіків;
- висновки до роботи.

3.7 Контрольні питання

3.7.1 Дайте визначення надійності.

3.7.2 Назвіть параметри надійності невідновлюваних виробів та дайте їм визначення.

3.7.3 Яким чином параметри надійності пов'язані між собою?

3.7.4 Дайте визначення відмові. Назвіть види відмов.

3.7.5 Що являє собою «крива життя» виробу? Які періоди вона має?

3.7.6 Назвіть основні закони розподілу відмов. В якому випадку вони застосовуються?

ЛИТЕРАТУРА

1. Дульнев Г.Н. Тепло-массообмен в радиоэлектронной аппаратуре.– М.: Высш.Шк., 1984 – 247 с.
2. Роткол Л.Л. Спокойний Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании РА. М.: Сов. радио, 1976.-232с.
3. Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита электронной аппаратуры/ под ред. В.А. Фролова – М.: Радио и связь, 1984 – 224 с.
4. Кофанов Ю.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1991 – 360 с.
5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973 – 320 с.
6. Львович Я.Е., Фролов В.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – М.: Радио и связь, 1986 – 192 с.
7. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. – М.: Радио и связь, 1983 – 312 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Значення функції $f(t_K, t_C)$

	$t_C, ^\circ\text{C}$										
$t_K, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60
20	5,31	5,45	5,59								
25	5,45	5,59	5,76	5,90							
30	5,59	5,76	5,90	6,05	6,20						
35	5,76	5,90	6,05	6,20	6,35	6,51					
40	5,90	6,06	6,20	6,35	6,51	6,60	6,82				
45	6,05	6,20	6,35	6,51	6,66	6,83	7,00	7,14			
50	6,20	6,35	6,51	6,67	6,83	7,00	7,17	7,35	7,50		
60	6,65	6,70	6,87	7,04	7,19	7,35	7,51	7,69	7,87	8,05	
70	6,90	7,06	7,21	7,39	7,55	7,72	7,86	8,05	8,24	8,42	8,80
80	7,27	7,44	7,59	7,75	7,80	8,07	8,26	8,45	8,65	8,83	9,20
90	7,63	7,82	7,98	8,13	8,31	8,49	8,67	8,86	9,04	9,25	9,65
100	8,03	8,19	8,37	8,53	8,72	8,91	9,09	9,28	9,46	9,66	10,08

Додаток Б

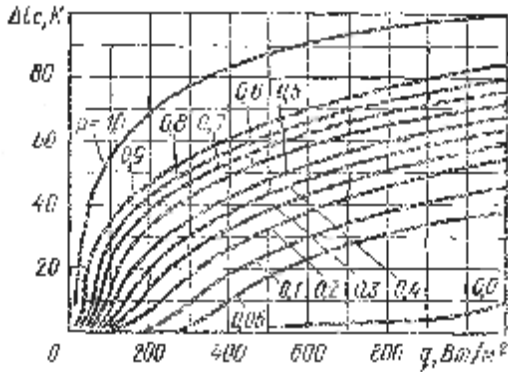
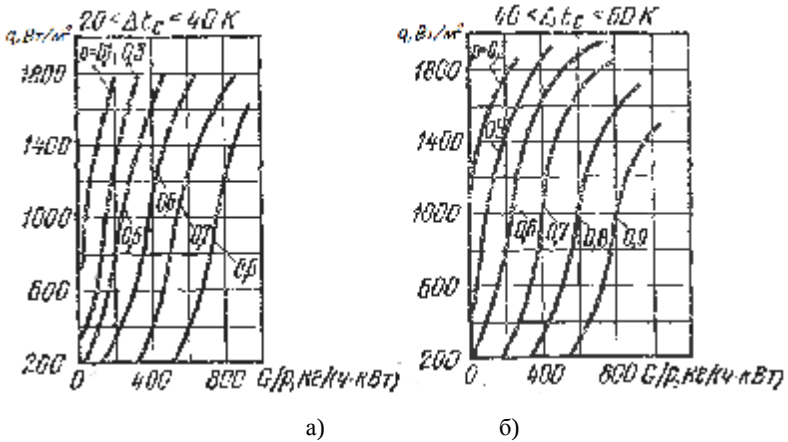


Рисунок Б.1 – Ймовірнісні криві для РЕЗ у перфорованому корпусі при вільній повітряній вентиляції



а - $20^{\circ}\text{C} \leq \Delta t_c \leq 40^{\circ}\text{C}$

б - $40^{\circ}\text{C} \leq \Delta t_c \leq 60^{\circ}\text{C}$

Рисунок Б.2 – Ймовірнісні криві для РЕЗ з примусовим продувом повітря