

# РОЗРАХУНОК СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ

## 3.1. Поняття структурної надійності

Під розрахунком надійності будемо розуміти визначення числових значень показників надійності за тими чи іншим вихідним даним. Певні значення показників надійності дозволяють оцінити експлуатаційні властивості технічного об'єкта на етапі його проектування або експлуатації.

Сутність розрахунку зводиться до визначення основних показників надійності ТО за відомими показниками надійності його елементів. Відповідні показники комплектуючих елементів беруться на підставі довідкових даних або результатів експлуатації і спеціально планованих експериментів.

Розрахунок надійності складається з таких етапів.

1. Визначення складу показників надійності, що розраховуються.
2. Складання структурної схеми надійності, що базується на аналізі функціонування системи (які блоки увімкнені, у чому полягає принцип їх роботи, перелік властивостей справної системи і т. п.), вибір методу розрахунку надійності.
3. Складання математичної моделі, що пов'язує показники надійності системи, які розраховуються, з показниками надійності її елементів.
4. Виконання розрахунку, аналіз отриманих результатів, коригування розрахункової моделі.

Для розрахунку надійності необхідно складання моделі надійності системи, яка зазвичай складається на основі функціональної, принципової або структурної схеми. В якості моделі надійності застосовуватися логічні схеми або графи переходів.

У графах переходів стани позначають прямокутниками і кружечками, переходи між станами – стрілочками. Біля кожної стрілочки вказують інтенсивності переходів (відмов).

Але при застосуванні графів станів складаються диференціальні рівняння, які в більшості випадків громіздкі при вирішенні, а в деяких випадках не мають аналітичного розв'язку. Число рівнянь дорівнює числу станів. Зліва стоять похідні відповідних станів від часу. Кожен член правої частини рівнянь отримують шляхом множення інтенсивності переходу, що стоїть над стрілкою, пов'язаною з даним станом, на відповідну ймовірність стану. Знак залежить від напрямку стрілки. «+» – стрілка спрямована вістря до стану, «-» – стрілка спрямована в протилежну сторону. Сума членів правих частин рівняння має дорівнювати нулю. Система доповнюється

нормувальною умовою: 
$$\sum_{j=1}^n P_j(t) = 1.$$

$P_j(t)$  – імовірність знаходження ТО в  $j$ -тому стані.

$m+1$  – число можливих станів.

Ймовірність станів знаходять в результаті розв'язку диференціальних рівнянь. Ймовірність безвідмовної роботи протягом напрацювання визначається сума всіх ймовірностей працездатних станів  $p(t_i) = \sum_{j=0}^{n-1} P_j(t_i)$ .

Варто пам'ятати:

1. в результаті розв'язання систем диференціальних рівнянь визначаються ймовірності знаходження системи в певному стані, а не ймовірність її безвідмовної роботи.

2. схеми станів можуть використовуватися тільки при припущенні показникового розподілу (експоненціальний) напрацювання до відмови.

3. логічні схеми дозволяють простіше і швидше визначити всі необхідні показники.

Тому на практиці використовують модель структурної надійності, яка базується на побудові логічних схем. Цей метод більш простий.

Перед складанням логічних схем вважають, що відмови елементів незалежні і елемент може перебувати в одному з двох станів: працездатному і не працездатному. Далі проводиться оцінка впливу відмови кожного елемента на стан системи. При складанні логічної схеми електричні зв'язки заміняю логічними. Елементи відмова яких призводить до відмови схеми включають послідовно (відмова системи відбувається при відмові будь-якого елемента). Елемент, відмова якого не призводить до відмови схеми включають паралельно.

Порядок складання логічних схем:

1. складається логічна схеми системи, яка складається з блоків.

2. для кожного блоку, складається логічна схеми системи, яка складається з вузлів.

3. для кожного вузла, складається логічна схеми системи, яка складається з елементів, які входять до її складу.

## 3.2. Класифікація методів розрахунку надійності

Всі методи розрахунку надійності можна поділити на дві групи за видами відмов: за раптовими відмовами та за поступовими відмовами. За джерелом отримання інформації розрізняють аналітичні методи розрахунку надійності (розрахункові) та методи за даними експлуатації (статистичний розрахунок). За повнотою розрахунку та інформації, яка в результаті цього розрахунку отримана методи поділяються на повні та наближені. Більш детальна класифікація наведена на рис. 3.1. Далі розглянемо більш детально кожен метод.

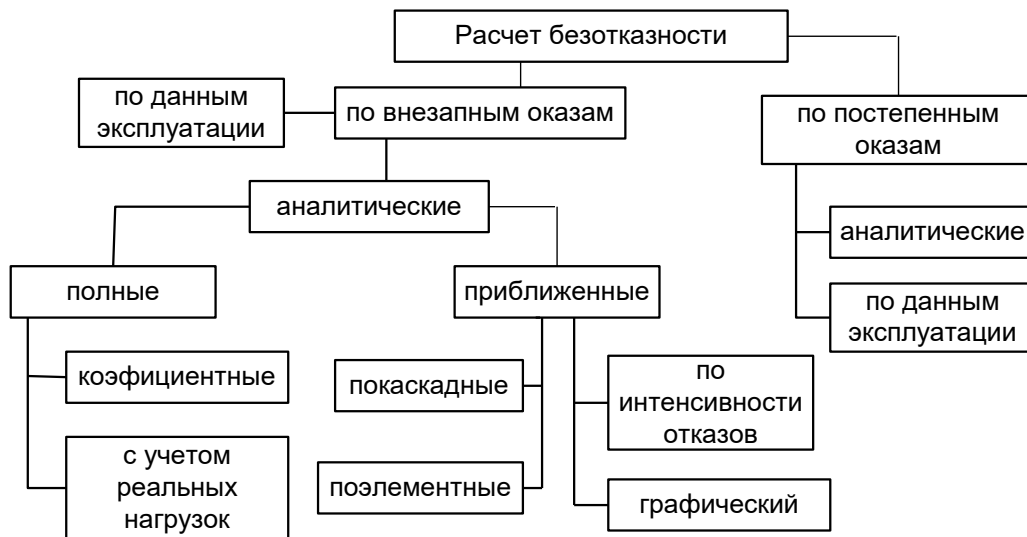


Рис. 3.1. Класифікація методів розрахунку надійності

### 3.3. Аналітичні методи розрахунку надійності

Для розрахунку безвідмовності об'єкт необхідно представити у вигляді розрахункової логічної схеми. Залежно від повноти вихідних даних розрізняють наближений і повний розрахунки безвідмовності. Для наближеного розрахунку безвідмовності досить знання функціональної схеми об'єкта (до каскаду). При повному розрахунку безвідмовності необхідне знання принципової схеми об'єкта (до елемента), їх режими роботи і навантаження, що діють на елемент.

#### *Наближені методи*

Застосовуються на етапі проектування, коли принципова схема ще не розроблена. Застосовують з метою перевірки виконуваності вимог технічного завдання за показниками надійності і з метою порівняння різних варіантів реалізації схем.

#### *Розрахунок безвідмовності за раптовими відмовами*

Для наближеного розрахунку безвідмовності можуть бути використані покаскадний, поелементний, графічний методи та метод розрахунку за інтенсивностями відмов.

**Покаскадний метод** розрахунку дає оцінку безвідмовності в першому наближенні, застосовують його на самих ранніх етапах проектування. В якості вихідних даних використовуються число каскадів в спроектованій апаратурі і належність апаратури до певної групи.

Розрахунок показників надійності здійснюється за допомогою виразів справедливих для послідовного з'єднання. Для оцінки значення сумарної інтенсивності відмов використовується вираз

$$\Lambda_{1/\psi} = 10^{-4} \frac{n_k^*}{k_a}$$

де  $n_k$  – кількість каскадів в спроектованій РЕА;  $k_a$  – коефіцієнт що враховує умови експлуатації РЕА в залежності від її приналежності до тієї чи іншої групи, він дорівнює:

- для наземної РЕА 1,8,
- для літакової РЕА 0,25,
- для корабельної РЕА 1,4.

**Поелементний метод** розрахунку дозволяє отримати більш точну оцінку безвідмовності, його застосовують на наступних етапах проектування. В якості вихідних даних використовують загальне число елементів в складі спроектованої апаратури і їх тип, а також дані експлуатації аналогічного типу апаратури (по схемному використанню елементів і їх навантажень).

Розрахунок показників безвідмовності здійснюється за допомогою виразів що і в першому випадку. Для оцінки значення сумарної інтенсивності відмов використовують дані, отримані при експлуатації аналогічної РЕА. Для цього випадку справедливо

$$\Lambda_{1/ч} = \frac{\Lambda_{э.а}}{n_{э.а}} = \frac{\Lambda_{н.а}}{n_{н.а}}$$

де  $\Lambda$  – сумарна інтенсивність експлуатуемого и проектуемого аналога,  $n$  – кількість елементів в приладах.

$$\Lambda_{н.а} = \frac{n_{н.а}}{n_{э.а}} \Lambda_{э.а} .$$

### **Розрахунок за інтенсивностями відмов**

Вихідні дані: реальна схема РЕА, відомості про кількість груп і типів комплектуючих елементів і їх інтенсивності відмов для легких і важких умов застосування.

Розрахунок показників безвідмовності здійснюється за допомогою виразів що і раніше. Порядок проведення розрахунку наступний:

1) відповідно до принципової схеми і специфікації на неї проводять розбивку всіх елементів РЕА на групи, що мають приблизно однакові інтенсивності відмов. Підраховують число елементів в кожній групі;

2) за довідковими даними для використовуваних елементів знаходять максимальні і мінімальні значення інтенсивностей відмов –  $\lambda_{imax}, \lambda_{imin}$  .

3) визначають максимальні і мінімальні групові інтенсивності відмов  $n_i \lambda_{imax}, n_i \lambda_{imin}$  ;

Таблиця 3.1.

Тип елемента	Інтенсивність відмов елемента, $\lambda$ , 1/год	Кількість елементів в групі, $n$ , шт	Групова інтенсивність відмов, $n$ 1/ год
--------------	--	---------------------------------------	--

4) визначають загальну інтенсивність відмов за виразом

$$\Lambda(t) = \sum_{i=1}^n n_i \lambda_i(t);$$

5) використовуючи цей же вираз, визначають ймовірність безвідмовної роботи і середній час напрацювання до відмови.

$$P(t) = \exp[-n_i \int_0^t \lambda_i(t) dt] = \exp[-t/T_0]$$

$$T_0 = 1/\Lambda$$

### Графічний метод розрахунку безвідмовності

Застосовують цей метод, якщо відома залежність інтенсивності появи відмов від часу. У цьому випадку розрахунок показників безвідмовності також здійснюється за допомогою виразу

$$P(t) = p_1(t) + p_2(t) + \dots + p_n(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t)$$

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \exp[-\int_0^t \lambda_i(t) dt] = \exp[-\int_0^t \lambda_i(t) dt] = \exp[-\int_0^t \Lambda(t) dt]$$

$$\Lambda(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t)$$

Розрахунок сумарної інтенсивності відмов об'єкта виконують графічно за відомими залежностями. З цією метою проводять підсумовування ординат характеристики рис.3.2. Потім визначають площу кривої рис. 3.2.

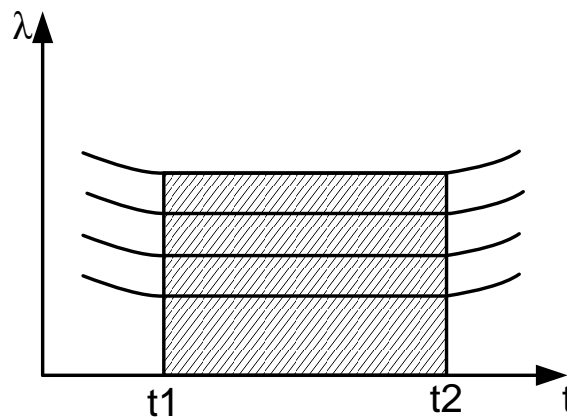


Рис. 3.2. Визначення надійності графічним методом

$$S_\lambda = \int_{t1}^{t2} \Lambda(t)$$

$$p(t) = \exp[-\int_{t1}^{t2} \Lambda(t) dt] = \exp[-S_\lambda]$$

### 3.4. Повний розрахунок безвідмовності

Повний розрахунок безвідмовності передбачає облік режимів роботи комплектуючих об'єкт елементів. Залежно від повноти обліку розрізняють коефіцієнтний метод і метод врахування реальних навантажень елементів. Всі перераховані методи розрахунку припускають наявність повних відомостей про об'єкт та умови його експлуатації.

**Коефіцієнтний метод** дозволяє отримати досить повні і достовірні дані при наявності повних даних про коефіцієнти надійності застосовуваних елементів. Коефіцієнтний метод передбачає наявність найпростішого потоку відмов.

Коефіцієнт надійності являє собою відношення інтенсивності відмов елементів  $i$ -ї групи  $\lambda_i$ , за даних умов експлуатації до інтенсивності відмов деякого основного елемента  $\lambda_0$ , кількісні характеристики якого в досить близьких умовах експлуатації достовірно відомі:

$$K_i = \lambda_i / \lambda_0.$$

Цей вираз передбачає однаковий вплив режимів роботи як на основний елемент, так і на всі інші.

В якості основного елемента, як правило, використовують резистор  $K = 1$ .

$$\Lambda = \lambda_0 \sum_{i=1}^k n_i K_i.$$

Облік умов експлуатації в коефіцієнтний метод здійснюється за допомогою обліку впливу цих умов на поведінку основного елемента:

$$\Lambda(z) = \lambda_0(z) \sum_{i=1}^k n_i K_i,$$

де  $\lambda_0(z)$  – інтенсивність відмов основного елемента з урахуванням впливу  $z$ -го фактора.

Для підвищення достовірності та точності оцінки безвідмовності необхідно значення коефіцієнтів  $K$  уточнювати, погоджуючи їх з реальною конструкцією РЕА, умовами її експлуатації і реальними режимами роботи елементів. Розрахунок безвідмовності доцільно вести по блоках з метою виявлення слабких місць даного типу РЕА.

**Метод врахування реальних навантажень** елементів дозволяє отримати результати, які найближчі до дійсності, оскільки в розрахунок вводиться справжнє значення інтенсивності відмов з урахуванням реальних режимів роботи і впливу відповідних факторів.

В якості вихідних даних використовують всі наявні дані про досліджуваний об'єкт РЕА, а також залежність інтенсивності відмов комплектуючих його елементів від впливу реально діючих в заданих умовах експлуатації факторів  $\lambda_i(z)$ . В цьому випадку вираз набуде вигляду

$$\Lambda(z) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(z)$$

В іншій частині розрахунків не відрізняється від раніше описаного.

### 3.5. Розрахунок за поступовими відмовами

Поряд з раптовими відмовами, особливо для складних об'єктів РЕА, характерна значна кількість поступових відмов, особливо в період старіння. Число таких відмов може досягати до 50% від загального числа всіх відмов. Облік старіння елементів особливо важливий для РЕА та ТК з великим терміном зберігання.

Основою розрахунку є дані про закономірності зміни визначальних параметрів даного об'єкта в часі, а також встановлені на них допуски.

Дослідження поведінки параметрів численних типів об'єктів РЕА показують, що розподіл часу безвідмовної роботи при поступових відмовах відповідає нормальному закону, отже, для кожного параметра можуть бути знайдені свої значення  $t_{cp}$ ,  $\sigma_i$ .

Як було показано ймовірність безвідмовної роботи по  $i$ -му параметру буде визначатися виразом

$$P_{ni}(t) = \frac{F_0\left(\frac{t_{cpi} - t}{\sigma_i}\right)}{F_0\left(\frac{t_{cpi}}{\sigma_i}\right)}.$$

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи всього об'єкта РЕА та ТК за поступовими відмовами, якщо вважати відмови елементів незалежними, можна знайти з виразу

$$P_{II}(t) = \prod_{i=1}^L P_{ni}(t).$$

де  $L$  – число визначальних параметрів об'єкта.

Значення, як правило, знаходять на підставі статистичних даних експлуатації подібного типу технічних об'єктів.

В кінці варто відзначити, що загальна імовірність безвідмовної роботи об'єкта з урахуванням раптових і поступових відмов визначається виразом

$$P_{\Sigma}(t) = P_B(t)P_{II}(t) = \exp[-t \sum_{i=1}^k n_i \lambda_i] * \prod_{j=1}^L P_{IIj}(t).$$

### 3.6. Методика повного розрахунку надійності з врахуванням реальних навантажень

Розглянемо приклад розрахунку надійності розробленого приладу (методика розрахунку надійності в дипломну роботу). Нехай студент розробив схему приладу і стоїть задача визначити основні показники надійності. Складові елементи схеми та їх кількість взяті згідно специфікації. Розрахунок надійності полягає у визначенні показників надійності виробу за відомими характеристиками надійності складових компонентів та умовами експлуатації. Для розрахунку надійності необхідно скласти логічну схему системи. При її складанні враховуємо, що відмови елементів схеми незалежні, а елементи схеми та система можуть знаходитись в одному з двох станів: працездатному та непрацездатному. Елемент схеми, при відмові якого відмовляє вся система на логічній схемі включається послідовно з'єднаним з іншими елементами. Елемент схеми, відмова якого не веде до відмови системи, вважається паралельно з'єднаним.

Проведемо розрахунок надійності приладу за раптовими відмовами. Складемо логічну схему надійності розроблюваного пристрою. Виходячи з того, що розроблюваний блок застосовується для конкретних цілей і відмова будь-якого з вузлів схеми веде до невиконання поставленої мети, а також враховуючи, що блок не має систем резервування, будемо вважати, що всі елементи схеми з'єднані послідовно і вихід з ладу одного вузла схеми веде до виходу з ладу всієї системи.

Визначимо інтенсивності відмов елементів з урахуванням умов експлуатації виробу. Для цього скористаємося формулою

$$\lambda_i = \lambda_{0i} k_1 k_2 k_3 k_4 a(T, k_n),$$

де  $\lambda_{0i}$  – номінальна інтенсивність відмов  $i$ -го елемента, обирається з довідника;

$k_1, k_2$  – поправочні коефіцієнти в залежності від дії механічних факторів (удари, вібрації);

$k_3$  – поправочний коефіцієнт в залежності від дії температури та вологості;

$k_4$  – поправочний коефіцієнт в залежності від дії від атмосферного тиску;



$a(T, k_n)$  – поправочний коефіцієнт в залежності від температури  $T$  та коефіцієнта навантаження  $k_n$ .

Значення номінальної інтенсивності відмов елементів наведені у табл. 3.1.

Табл. 3.1

Елемент схеми	$\lambda_{0i} \cdot 10^6, \text{ год}^{-1}$
Резистори С2-11-0,125Вт	0,01
Конденсатори К10-17-25 В	0,01
Конденсатори К52-1-25 В	0,1
Резонатор кварцовий РК154	0,01
Операційний підсилювач К140УД9	0,2
Цифро-аналоговий перетворювач К572ПА1А	0,35
Регістр К555ИР23	0,12
Аналоговий комутатор КР590КН3	0,17
Оперативний запам'ятовувальний пристрій К537РУ17	0,23
Мікроконтролер Р83С550ЕВАА	0,2

В таблицях 3.2-3.5 наведені значення коефіцієнтів  $k_1 \dots k_2$  [16].

Табл.3.2

Умови експлуатації	Вібрація $k_1$	Ударні навантаження $k_2$	Сумарна дія $k_{\Sigma} = k_1 k_2$
Лабораторні	1,0	1,0	1,0
Стаціонарні (польові)	1,04	1,03	1,07
Корабельні	1,3	1,05	1,37
Автомобільні	1,35	1,08	1,46
Залізничні	1,4	1,1	1,54
Авіаційні	1,46	1,13	1,65

Табл. 3.3

Вологість, %	Температура, °С	$k_3$
60-70	20-40	1,0
90-98	20-25	2,0
90-98	30-40	2,5

Табл. 3.4

Тиск, кПа	$k_4$
0,1-1,3	1,45
1,3-2,4	1,4
2,4-4,4	1,36
4,4-12	1,35
12-24	1,3
24-32	1,25
32-42	1,2
42-50	1,16
50-65	1,14
65-80	1,1
80-100	1,0

Коефіцієнт електричного навантаження визначається за даними табл. 3.5 в залежності від типу елемента.

Табл. 3.5

Елементи схеми	Рекомендовані значення в режимі	
	імпульсному	статичному
Резистори	0,2	0,1
Конденсатори	0,2	0,1
Операційні підсилювачі	0,5	0,2
Цифро-аналогові перетворювачі	0,3	0,3
Регістри	0,3	0,3
Оперативні запам'ятовувальні пристрої	0,6	0,6
Аналогові комутатори	0,2	0,2
Резонатори	0,15	0,15
Мікроконтролери	0,6	0,6

## Середні значення інтенсивності відмов елементів РЕА

Групи ІМС	Середньо групові значення інтенсивності відказів $\lambda, 1 \cdot 10^{-6} [1/ч]$
<b>1. Інтегральні мікросхеми</b>	
Мікросхеми інтегральні гібридні	0,42
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові цифрові	0,21
Мікросхеми інтегральні напівпровідникові аналогові	0,22
<b>2. Напівпровідникові прилади</b>	
Діоди:	
випрямні	0,85
універсальні	0,1
імпульсні	0,043
Діодні зборки	0,045
Стабілітрони	0,07
Транзистори біполярні	0,29
Транзисторні зборки	0,28
Транзистори польові	0,3
Оптопари:	
діодні	0,14
транзисторні	0,29
резисторні	0,8
Діоди випромінюючі інфрачервоного діапазону	0,19
Вид елементів	$\lambda \cdot 10^{-6} [1/ч]$
<b>3. Резистори</b>	
Резистори постійні не дровові	
металодіелектричні	0,22
вуглеродні	0,015
Резистори постійні дровові та метало фольгові	0,01
Резистори змінні не дровові	
плівкові	0,01
композиційні плівкові	0,007
композиційні об'ємні	0,024
Резистори змінні дровові	0,02
Терморезистори	0,0013
Набори резисторів	0,02
Резисторні мікросхеми	0,01
<b>4. Конденсатори</b>	
Конденсатори постійної ємності:	
керамічні	0,03
склокерамічні	0,02
Склокерамічні з необмеженим діелектриком	0,02
Слюдяні	0,01
Паперові та метало паперові	0,01
Оксидно-електролітичні	0,3
Оксидні-напівпровідникові	0,06
З органічним синтетичним діелектриком	0,02

Вид елементів	$\lambda \cdot 10^{-6}$ [1/ч]
<b>3. Резистори</b>	
Резистори постійні не дровові металодіелектричні вуглеродні	0,22 0,015
Резистори постійні дровові та метало фольгові	0,01
Резистори змінні не дровові плівкові композиційні плівкові композиційні об'ємні	0,01 0,007 0,024
Резистори змінні дровові	0,02
Терморезистори	0,0013
Набори резисторів	0,02
Резисторні мікросхеми	0,01
<b>4. Конденсатори</b>	
Конденсатори постійної ємності:	
керамічні	0,03
склокерамічні	0,02
Склокерамічні з необмеженим діелектриком	0,02
Слюдяні	0,01
Паперові та метало паперові	0,01
Оксидно-електролітичні	0,3
Оксидні-напівпровідникові	0,06
З органічним синтетичним діелектриком	0,02
Конденсатори підстроювальні з твердим діелектриком	0,015
Склокерамічні з необмеженим діелектриком	0,02
Слюдяні	0,01
Паперові та метало паперові	0,01
Оксидно-електролітичні	0,3
Оксидні-напівпровідникові	0,06
З органічним синтетичним діелектриком	0,02
Конденсатори підстроювальні з твердим діелектриком	0,015
<b>5. Елементи комутації</b>	
Реле електромагнітні мало об'ємні (на 1 контактну пару)	0,8
Реле електромагнітні нормальні (на 1 контактну пару)	0,4
Магнітокеруємі контакти	0,00074
Рознімачі циліндричні нормальних об'ємів малогабаритні для друкованого монтажу	0,0065 0,0016
Рознімачі прямокутні нормальних об'ємів для друкованого монтажу малогабаритні для друкованого монтажу	0,0027 0,0014
Перемикачі галетні	0,06
Тумблери	0,1
Кнопки	0,16
Мікроперемикачі	0,045
Перемикачі на базі герконів	0,13
Запобіжники	0,2

<b>6. Трансформатори та дроселі</b>	
Трансформатор живлення	1,0
Трансформатор імпульсний	1,0
Трансформатор узгодження	0,2
Дроселі	0,033
Котушки індуктивності	0,01
<b>7. Індикатори</b>	
Індикатори напівпровідникові:	
одиничні	0,13
цифрові	0,07
буквено-цифрові	0,12
шкальні	0,36
графічні	0,53
мнемонічні	0,10
Індикатори газорозрядні:	
одиничні	2,50
шкальні	10,00
графічні	2,20
Індикатори люмінесцентні:	
цифрові одно розрядні	0,92
цифрові багато розрядні	10,00
Буквено-цифрові	0,34
шкальні	0,76
мнемонічні	1,20
Індикатори LCD	0,88
одиничні	2,50
шкальні	10,00
графічні	2,20
Індикатори люмінесцентні:	
цифрові одно розрядні	0,92
цифрові багато розрядні	10,00
Буквено-цифрові	0,34
шкальні	0,76
мнемонічні	1,20
Індикатори LCD	0,88
<b>8. Інші елементи</b>	
Друкований монтаж	0,0004
Навісний монтаж	0,00260
Ручна пайка з друкованим монтажем	0,0006 – 0,15
Ручна пайка з об'ємним монтажем	0,0002 – 0,04
Пайка хвилею припою	0,0001 – 0,03
Клемне з'єднання	0,0003 – 0,05
Точечна контактна зварка	0,002 – 0,03
Обжимка	0,00005 – 0,0015
Безпаяне з'єднання закруткою	0,00006 – 0,002
Закрутка з пайкою	0,0003 – 0,05

У табл. 3.7 наведені інтенсивності відмов елементів проектуемого блоку для нормальних умов експлуатації приладу (лабораторні, температура 20 °С, вологість 60%, атмосферний тиск 100кПа).

Табл. 3.7

Елементи схеми	$\lambda_{0i} \cdot 10^6, \text{ год}^{-1}$	$k_1 k_2 k_3 k_4$	$a(T, k_n)$	$\lambda_{0i} \cdot 10^6, \text{ год}^{-1}$
Резистори С2-11-0,125 Вт	0,01	1,0	0,8	0,008
Конденсатори К10-17-25 В	0,01	1,0	0,8	0,008
Конденсатори К52-1-25 В	0,1	1,0	0,8	0,08
Резонатор кварцовий	0,01	1,0	0,5	0,005
Операційні підсилювачі	0,2	1,0	1,2	0,24
Цифро-аналоговий перетворювач	0,35	1,0	0,9	0,32
Регістри	0,12	1,0	1,3	0,16
Аналоговий комутатор	0,17	1,0	1,2	0,2
Оперативний запам'ятовувальний пристрій	0,23	1,0	1,6	0,37
Мікроконтролер	0,2	1,0	1,2	0,24

Загальна інтенсивність відмов приладу  $\Lambda = \sum \lambda_i$

Згідно специфікації (враховуючи кількість однакових елементів у схемі):

$$\Lambda = (12 \cdot 0,008 + 6 \cdot 0,008 + 0,08 + 0,005 + 4 \cdot 0,24 + 0,32 + 0,16 + 0,2 + 0,37 + 0,24) \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1} = 2,48 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}.$$

Середній час напрацювання на відмову  $T = \frac{1}{\Lambda}$ .

Для розробленого блоку  $\Lambda = 2,48 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ , то

$$T = 1 / 2,48 \cdot 10^{-6} \text{ год} = 4,03 \cdot 10^5 \text{ год} = 403000 \text{ год}.$$

Розрахуємо імовірність безвідмовної роботи блоку на протязі заданого напрацювання. Для незарезервованих систем ця величина розраховується за формулою :

$$P(T_p) = \exp\left(-\sum_i \lambda_i T_p\right) = \exp(-\Lambda T_p). \quad (5.4)$$

$$P(T_p) = \exp(-2,48 \cdot 10^{-6} \cdot 514) = 0,997.$$