

ЛЕКЦІЯ №9

Технічні системи, проблеми їх надійності і експлуатації. Загальна характеристика технічних систем.

Контрольні випробування на надійність проводяться з метою перевірки відповідності фактичного рівня надійності заданим в НТД.

Періодичність проведення контрольних випробувань, як правило, не рідше одного разу в 3 роки.

Контроль показників надійності, які нормуються, включає в себе:

- ◆ одержання та математична обробка вхідних статистичних даних;
- ◆ прийняття рішення про відповідність або невідповідність пристроїв встановленим вимогам по надійності в НТД;
- ◆ аналіз причин та наслідків відмов з метою розробки відповідних мір по підвищенню надійності пристроїв.

При контролю надійності невідновлювальних пристроїв об'єм вибірки (кількість випробуваних зразків пристроїв) дорівнює кількості спостережень. Для відновлюваних пристроїв об'єм вибірки може бути зменшено (до одного зразка).

Для проведення контрольних випробувань із сукупності (партії) однотипних пристроїв проводиться вибірка, яка потім підлягає випробуванню на надійність.

Контрольні випробування проводяться за планами, які приведені в табл. 9.1. [1]. Вибір плану контрольних випробувань визначається:

- ◆ видом показників надійності;
- ◆ складом вихідних даних;
- ◆ прийнятим методом контролю (одноступеневий, послідовний контроль та інші).

По результатах контрольних випробувань роблять висновки про відповідність чи невідповідність показників надійності заданим.

Висновки інколи можуть бути помилковими. При цьому можуть бути помилки першого та другого роду.

Помилка **першого роду** має місце тоді, коли партія виробів, які мають рівень надійності однаковий або вищий заданого, бракується по результатам випробувань вибірки. Імовірність першого роду називається ризиком постачальника (виробника) і позначається буквою α .

Помилка **другого роду** має місце тоді, коли партія виробів, які мають рівень надійності нижче заданого, приймається по результатам випробувань. Імовірність помилки другого роду називають ризиком замовника (споживача) і позначається буквою β .

У якості прикладу розглянемо контроль середнього напрацювання до відмови.

Вихідні дані:

- ◆ норма показника - T_n ;
- ◆ ризик постачальника - α ;
- ◆ ризик замовника - β ;
- ◆ забраковане значення показника, який підлягає контролю, - T_β ;
- ◆ приймальне значення показника, який підлягає контролю, - T_α ;
- ◆ припустимий закон розподілу наробітку до відмови – експоненційний.

Одноступеневий контроль

Таблиця 9.1 -Параметри плану випробувань

$\alpha = \beta$						r_{rp}
0.05		0.10		0.20		
$\frac{T_a}{T_\beta}$	$\frac{t_{max}}{T_a}$	$\frac{T_a}{T_\beta}$	$\frac{t_{max}}{T_a}$	$\frac{T_a}{T_\beta}$	$\frac{t_{max}}{T_a}$	
58,820	0,052	21,740	0,105	7,246	0,223	
13,330	0,356	7,299	0,532	3,636	0,824	2

Випробування припиняються як тільки буде досягнуто одне із значень: $r_{гр}$ або t_{max}/T_a

При випробуваннях без відновлень або без заміни виробів новими об'єм вибірки N повинен бути не менше граничного кількості відмов $r_{гр}$. При випробуванні з відновленням або заміною об'єм вибірки не регламентують.

Якщо тривалість випробувань t_b задана, то всі зразки виробів випробовують одночасно, а відмовлені заміняють або відновлюють, то необхідна кількість зразків виробів [1] визначається за формулою:

$$N = \frac{t_{max}}{t_b} . \quad (9.1)$$

Під час випробувань визначають сумарний наробіток зразків:

- ♦ при випробуваннях без відновлення або без заміни

$$T_\Sigma = \sum_{i=1}^r t_i + (N - r)t_b ; \quad (9.2)$$

- ♦ при випробуваннях з відновленням або заміною

$$T_\Sigma = \sum_{i=1}^r t_i . \quad (9.3)$$

Оцінка результатів випробувань проводиться таким чином:

- ♦ якщо першим досягається кількість відмов $r_{гр}$ при $t_\Sigma < t_{max}$, то приймають рішення про невідповідність вимог показника надійності заданим в НТД;

- ♦ якщо першим досягається умова $t_\Sigma = t_{max}$ при $r < r_{гр}$, то приймають рішення про відповідність вимог показника надійності заданим в НТД.

Одноступеневий метод випробувань, при рівних умовах з іншими методами, забезпечує мінімальну календарну тривалість випробувань, а двохступеневий при тих же умовах дозволяє забезпечити мінімум об'єму випробувань.

Послідовний контроль

Параметри плану випробувань визначають по ГОСТ 27.410–84 [1]. По ним в прямокутній системі координат будують похилі лінії:

$$r = \frac{t_\Sigma}{T_a} + r_0 - \text{лінія невідповідності}; \quad (9.4)$$

$$r = a \left(\frac{t_{\Sigma}}{T_a} - \frac{t_0}{T_a} \right) - \text{лінія відповідності.} \quad (9.5)$$

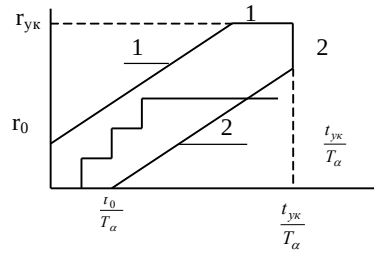


Рис.9.1. Графік послідовних випробувань:
1 – лінія невідповідності; 2 – лінія відповідності.

Укорочення випробувань слід проводити при $r_{у_к}$ по сумарному наробітку.

При випробуваннях без відновлення або без заміни мінімальний об'єм вибірки $N = r_{у_к}$.

При наявності відмов графіком послідовних випробувань є ступінчата лінія, сума відрізків якої паралельні вісі $\frac{t_{\Sigma}}{T_a}$ дорівнює відношенню T_a , а сума відрізків, паралельних вісі r , дорівнює числу відмов до моменту t .

При відсутності відмов графіком послідовних випробувань є пряма лінія з початком в точці O , яка співпадає з віссю $\frac{t_{\Sigma}}{T_a}$. При цьому $t_{\Sigma} = N \cdot t$.

При випробуваннях з відновленням або заміною сумарний наробіток зразків t_{Σ} в момент t вираховують за формулою:

$$t_{\Sigma} = Nt - \sum_{i=1}^r t_{b_i} \quad (9.6)$$

де t_{b_i} – тривалість відновлення працездатного стану після i -го із r зразків.

При випробуваннях без відновлення або без заміни сумарний наробіток зразків в момент часу t вираховують за формулою:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^r t_i - (N - r)t_1, \quad (9.7)$$

де t_i – наробіток до i – ї відмови із r зразків.

Рішення про відповідність вимогам показників надійності приймають при перетині графіком послідовних випробувань одної з ліній відповідності. Рішення про невідповідність вимогам показників надійності – при перетині одної з ліній невідповідності.

При послідовному контролі тривалість випробувань в середньому на 50% менше в порівнянні з одноступеневим методом.

Середній наробіток на відмову

Для відновлюваних об'єктів у загальному випадку варто було б розглядати середній наробіток між $(i - 1)$ -м й i -м відмовами, тобто

$$T_{\text{сепі}} = M[T_i] = \int_0^{\infty} f_{T_i}(t) dt,$$

де $f_{T_i}(t)$ - густина розподілу випадкової величини;

T_i – наробіток між $(i-1)$ -м й i -м відмовами.

Якщо закон розподілу наробітку між відмовами не залежить від номера відмови i , то середній наробіток між відмовами також не залежить від i .

Для того, щоб відрізнити середній наробіток до відмови (для невідновлюваного об'єкта) від середнього наробітку між відмовами відновлюваного об'єкта, останню називають середнім наробітком на відмову й позначають T_0 .

Відповідно до ДСТУ 2860-94. середній наробіток на відмову - це відношення сумарного наробітку відновлюваного об'єкта до математичного очікування числа його відмов протягом цього наробітку.

При експонентному розподілі наробітку T між відмовами об'єкта

$$T_0 = T_{\text{сеп}} = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{\lambda}$$

статистична оцінка середнього наробітку на відмову за результатами випробувань одного об'єкта визначається за формулою

$$T_0^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (9.8)$$

де n – число відмов, що виникли при випробуваннях об'єкта.

Якщо у випробуваннях брало участь N_0 однотипних об'єктів, то для оцінки T_0^* можна скористатися формулою

$$T_0^* = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} T_{\Sigma j}}{\sum_{j=1}^{N_0} n_j}, \quad (9.9)$$

де $T_{\Sigma j}$ - сумарний наробіток j -го об'єкта;

n_j – число відмов j -го об'єкта, що виникли протягом наробітку $T_{\Sigma j}$, $j = 1, 2, \dots, N_0$.

Звернемо увагу, що наведені вище формули для показників $\omega(t)$ і T_0 відповідають випадку безперервного використання відновлюваного об'єкта. Разом з тим ряд відновлюваних об'єктів працює в циклічному режимі, при якому показник безвідмовності апаратури погіршується за рахунок "кидків" струмів і напруг, що виникають при включеннях.

Стосовно до цього режиму отримані уточнені формули для сталого значення $\omega(t) = \omega = \text{const}$ показника T_0 [8,9]:

$$\omega = \omega_B \left(1 + \frac{\omega_{\text{оч}}}{\omega_B} \frac{t_{\text{оч } \Sigma}}{T_{\Sigma}} + \frac{q_{\text{ц}}}{\omega_B} \frac{N_{\text{ц}}}{T_{\Sigma}} \right) \quad (9.10)$$

$$T_0 = \frac{1}{\omega}, \quad (9.11)$$

де $\omega_B, \omega_{\text{оч}}$ - відповідно параметри потоків відмов у включеному й виключеному станах об'єкта;

$T_{\Sigma}, t_{\text{оч } \Sigma}$ - відповідно сумарний наробіток і сумарний час знаходження об'єкта у виключеному стані за календарний час $t_k = T_{\Sigma} + t_{\text{оч } \Sigma}$;

$q_{\text{ц}}$ – імовірність виникнення відмови в одному циклі «вмикання-вимикання»

$N_{\text{ц}}$ – кількість циклів «вмикання-вимикання» за час t_k .

З формул (9.10) і (9.11) видно, що середній наробіток на відмову відновлюваних об'єктів у циклічному режимі використання завжди нижчий середнього наробітку на відмову безупинно працюючих об'єктів. Це пояснюється тим, що при одному й тому ж наробітку середнє число відмов у циклічному режимі виявляється більшим за рахунок відмов, що виникають у стані очікування, і відмов, викликаних включенням апаратури.

Приклад 9.1. У результаті випробувань трьох однотипних об'єктів РЕТ отримані наступні дані:

Номер об'єкта, j	Сумарний наробіток, $T_{\Sigma i}$	Число відмов, n_j
1	2700	23
2	3000	19
3	3200	15

Потрібно визначити середній наробіток на відмову об'єктів даного типу.

Рішення. Скориставшись формулою (9. 9), одержимо:

$$T_0^* = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} T_{\Sigma j}}{\sum_{j=1}^{N_0} n_j} = \frac{2700 + 3000 + 3200}{23 + 19 + 15} \approx 1564.$$

Іноді цікаво оцінити середній наробіток на відмову окремо для кожного зразка, а потім знайти T_0^* для всіх зразків. Середній наробіток на відмову кожного зразка знаходимо за формулою (9. 8):

$$T_{01}^* = \frac{2700}{23} = 117,4 \text{ год}, \quad T_{02}^* = \frac{3000}{19} = 157,9 \text{ год}, \quad T_{03}^* = \frac{3200}{15} = 213,3 \text{ год},$$

Середній наробіток на відмову T_0^* можна знайти в такий спосіб:

$$T_0^* = \frac{\sum_{j=1}^{N_0} n_j T_{0j}^*}{\sum_{j=1}^{N_0} n_j} = \frac{23 \times 117,4 + 19 \times 157,9 + 15 \times 213,3}{23 + 19 + 15} = 156 \text{ год}.$$

Приклад 9.2. У процесі експлуатації РЛС протягом року сумарний наробіток склав $T_{\Sigma} = 4485$ год. За цей період було зроблено $N_{\text{ц}} = 384$ вмикань-вимикань РЛС. Відомо, що параметри потоків відмов РЛС у ввімкнутому й вимкнутому станах відповідно $\omega_{\text{в}} = 10^{-2} 1/\text{год}$ і $\omega_{\text{оч}} = 10^{-5} 1/\text{год}$. Коефіцієнт циклічності $K_{\text{ц}} = \frac{q_{\text{ц}}}{\omega_{\text{в}}} = 5 \text{ год/цикл}$.

Потрібно визначити середній наробіток на відмову РЛС із урахуванням циклічного режиму її роботи.

Розв'язання. Скористаємося виразами (2.19) і (2.20):

$$T_0 = \frac{1}{\omega_{\text{в}}(1 + k_{\text{оч}} + k_{\text{ц}} F_{\text{ц}})};$$

де

$$k_{\text{оч}} = \frac{\omega_{\text{оч}}}{\omega_{\text{в}}}, \quad \frac{t_{\text{оч}}}{T_{\Sigma}} = \frac{\omega_{\text{оч}}}{\omega_{\text{в}}} \frac{(t_{\text{к}} - T_{\Sigma})}{T_{\Sigma}}; \quad F_{\text{ц}} = \frac{N_{\text{ц}}}{T_{\Sigma}}.$$

З огляду на те, що 1 рік=8760 год, знаходимо:

$$k_{\text{оч}} = \frac{10^{-5}}{10^{-2}} \frac{(8760 - 4485)}{4485} = 0,953 \times 10^{-3};$$

$$F_{\text{ц}} = \frac{384}{4485} = 0,085 \left(\frac{\text{цикл}}{\text{год}} \right).$$

Підставляючи ці значення в розрахункову формулу, остаточно одержуємо:

$$T_0 = \frac{1}{10^{-2}(1 + 0,95310^{-3} + 5 \times 0,085)} = 70,12 \text{ год.}$$

Розрахунок та розподіл норм надійності

Розрахунок та розподіл норм надійності проводять на етапах ескізного та робочого проектування технічної системи (пристрою).

Під нормою надійності слід розуміти гранично допустиму величину показника надійності пристрою, який необхідно забезпечити при проектуванні. Норма надійності для пристрою та його складових частин (елементів) визначається, виходячи із вимог по надійності, зазначених замовником в технічному завданні.

Норма надійності визначається з урахуванням досягнутого рівня надійності раніше випущених промисловістю виробів, аналогічних по призначенню.

В залежності від призначення та умов експлуатації норма надійності пристрою може бути установлена у вигляді: імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ за заданий час t , середнього наробітку до відмови T_1 (або середнього наробітку на відмову T_0), середнього часу відновлення T_v , коефіцієнта готовності K_r , середнього ресурсу T_p , середнього терміну служби T_{cl} , середнього терміну зберігання $T_{зб}$ та інші.

Визначення норм надійності для пристрою та його складових частин проводиться при таких допущеннях:

- ♦ імовірнісність безвідмовної роботи виробів при поступових і самоусувних відмовах $P_n(t) = 1$ та $P_c(t) = 1$;
- ♦ інтенсивність раптових відмов виробів не залежить від часу;
- ♦ середній час наробітку до відмови складових частин (елементів) виробу розподілений по експоненційному закону;
- ♦ всі елементи системи рівнонадійні.

Вихідними даними при розрахунку норм надійності є:

- ♦ кількість елементів (вузлів, блоків, устроїв), що входять до складу пристрою, N ;
- ♦ необхідний час безвідмовної роботи пристрою (системи) T .

Якщо задана імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ пристрою за заданий час t , то

$$P(t) \leq \prod_{i=1}^N P_i(t) \quad (9.12)$$

де $P_i(t)$ - імовірність безвідмовної роботи i -го елемента (вузла, блока) за заданий час t .

У випадку елементів однакової надійності, маємо:

$$P_i(t) \geq \sqrt[N]{P(t)}.$$

Якщо час наробітку до відмови елементів розподілено по експоненційному закону, то

$$P_i(t) \geq e^{-\frac{\lambda}{N}t} = e^{-\lambda_i t},$$

де λ - допустима інтенсивність відмов для пристрою;

$\lambda_i = \frac{\lambda}{N}$ - максимально допустима інтенсивність відмов i -го елемента пристрою.

Орієнтовний розрахунок надійності

Орієнтовний розрахунок надійності пристрою проводиться на етапі ескізного проектування, коли немає ще повних даних про режими та умови роботи окремих

елементів (вузлів, блоків) пристрою, але вже відома його структура в частині складу елементів і функціональних зв'язків між ними.

Ціль розрахунку:

1) оцінити імовірність практичної реалізації заданих в технічному завданні вимог по надійності пристрою або підготовки даних для їхнього обґрунтування, якщо вони ще не задані;

2) визначити розподіл значень показників надійності по елементах пристрою;

3) провести порівняння окремих варіантів побудови пристрою і вибрати найкращий з них;

4) з'ясувати необхідність введення резервування.

В більшості випадків при орієнтовному розрахунку надійності використовують математичну (логічну) модель надійності, яка представляє собою групу послідовно з'єднаних елементів, що не мають резервних елементів. В цьому випадку відмова будь-якого з елементів викликає відмову пристрою, але при цьому не впливає на надійність інших його елементів.

Розрахунок проводиться при таких припущеннях:

1) відмови елементів є подіями випадковими та незалежними;

2) усі електро-радіовироби (ЕРВ) та інтегральні мікросхеми (ІМС) працюють в номінальному режимі, тобто при коефіцієнті електричного навантаження $k_n = 1$;

3) враховуються при розрахунку тільки ті елементи (вузли, блоки тощо), що входять в логічну модель (схему) розрахунку надійності;

4) час безвідмовної роботи елементів розподілено по експоненційному закону;

5) урахування впливу умов роботи пристрою на його надійність проводиться наближено;

6) параметричні відмови пристрою не враховуються.

Для розрахунку необхідно знати:

1) вид з'єднання елементів (вузлів, блоків та інше) в логічній моделі розрахунку надійності;

2) типи первинних елементів (резисторів, транзисторів, ІМС та інше);

3) середню інтенсивність відмов кожного елемента (компонента).

Порядок проведення розрахунку наведено на рис. 8.1.

Розглянемо розрахунок однофункціонального пристрою з незмінною структурою без відновлення функціональних елементів (елементи між собою з'єднані послідовно).

При послідовному з'єднанні елементів надійність, тобто імовірність безвідмовної роботи пристрою за заданий час визначається по (5.1):

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t)$$

У випадку експоненційного закону розподілу наробітку до відмови $P_i(t)$ елементів імовірність безвідмовної роботи виробу (системи) за час t визначається по (5.2):

$$P(t) = e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i} = e^{-\lambda t}.$$

Якщо кожний елемент (вузол, блок) має n_i компонентів (резисторів, транзисторів, ІМС тощо), то інтенсивність відмов елементів визначається за формулою:

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^{n_i} \lambda_j, \quad (9.13)$$

де λ_j - інтенсивність відмов j -го компонента i -го елемента пристрою (системи).

З урахуванням (9.13) імовірність безвідмовної роботи пристрою за час t визначається за таким виразом:

$$P(t) = e^{-t \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_j \right)}.$$

Визначення інтенсивності відмов компонентів з урахуванням умов експлуатації пристрою проводиться за формулою:

$$\lambda_j = \lambda_{0j} a_1, \quad (9.14)$$

де λ_{0j} - інтенсивність відмов у номінальному режимі при $k_n = 1$ і $T_{оточ.с} = 20^\circ \text{C}$;

a_1 - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації пристрою.

Поправочний коефіцієнт визначається за формулою:

$$a_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5,$$

де k_1 і k_2 - поправочні коефіцієнти, що враховують впливи механічних факторів (вібрація, удари); k_3 - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив вологості і температури; k_4 - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив атмосферного тиску; k_5 - поправочний коефіцієнт, що враховує призначення пристрою та вид технічного обслуговування.

Значення номінальних інтенсивностей відмов деяких елементів дані в додатку Д2 (табл. Д2-3).

Значення поправочних коефіцієнтів $k_1, \dots, k_5$ наведені в додатку Д2.

Для інтенсивності відмов компонентів, що входять в елементи (вузли, блоки тощо), в довідниковій літературі по надійності задають значення λ_{0jmin} , λ_{0j} і λ_{0jmax} .

В зв'язку з цим можна визначити значення:

$$P(t)_{min} = e^{-\lambda_{min} a_1 t}; P(t) = e^{-\lambda a_1 t}; P(t)_{max} = e^{-\lambda_{max} a_1 t},$$

$$\text{де } \lambda_{min} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{0jmin} \right); \lambda = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{0j} \right); \lambda_{max} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{n_i} \lambda_{0jmax} \right).$$

Відповідно час наробітку пристрою до відмови визначається так:

$$T_{max} = \frac{1}{\lambda_{min}}; T = \frac{1}{\lambda}; T_{min} = \frac{1}{\lambda_{max}}.$$

У випадку оцінки надійності пристрою з урахуванням резервних елементів, то характер формул для визначення кількісних показників надійності (безвідмовності) залежить від виду з'єднання основного і резервних елементів на логічній моделі (схемі) надійності, а також стан, в якому знаходяться резервні елементи до моменту включення їх в роботу замість елемента, що відмовив.

Розрахунок кількісних показників надійності пристрою в цьому випадку можна виконувати двома шляхами:

1) спочатку виключити з розгляду резервні елементи і розрахувати кількісні показники безвідмовності по послідовному з'єднанню елементів, а після цього визначити підвищення показників безвідмовності з урахуванням застосування резервування ненадійних елементів за допомогою формул, зазначених в розд. 5, які відповідають виду з'єднання елементів і з урахуванням режиму роботи резервних елементів пристроїв;

2) спочатку розрахувати показники безвідмовності елементів пристрою, які мають резервні елементи, а потім провести розрахунок показників безвідмовності пристрою по логічній моделі для послідовного з'єднання елементів.

Таблиця 9.2 - Інтенсивність відмов ЕРЕ проектуємого пристрою

Найменування ЕРЕ	Елемент n_i			
	n_j	Інтенсивність відмов, $\cdot 10^6 \lambda_{0j}$	Інтенсивність відмов з урахуванням $a_1 \lambda_{0j}$ умов, цініх	Інтенсивність відмов сум., $10^6 a_1 n_j \lambda_{0j}$, 1/г
Резистори	30	0,008	0,008	0,24
Конденсатори	20	0,01	0,01	0,2
•				
•				
•				
Паяні з'єднання	100	0,0001		0,01
	$n_i = \sum n_j$			$\lambda_i = \sum n_j \lambda_{0j} \cdot 10^{-6}$

Дані про номінальну інтенсивність відмов λ_{0j} можуть бути взяті з ТУ на компоненти, літературних джерел по надійності, РТМ відділів надійності підприємств-виготовлювачів ЕРЕ. При їхній відсутності можна користуватися даними, наведеними в додатку Д2.

При виконанні орієнтовного розрахунку надійності для кожного елемента (вузла, блока) пристрою або системи вихідні дані і результати розрахунку варто представити у вигляді таблиці, форма якої наведена в табл. 9.2.

Повний розрахунок надійності

Повний розрахунок надійності пристрою (системи) проводиться на етапі технічного проектування, коли відомий поелементний склад пристрою, реальні режими роботи елементів та умови роботи пристрою.

Ціль розрахунку:

- 1) уточнити (при необхідності) варіант побудови схеми пристрою;
- 2) виявити фактори, що знижують надійність елементів пристрою, та виробити рекомендації по їхньому усуненню;
- 3) одержати вихідні дані для розрахунку запасних вузлів (елементів) і вирішити питання технічного обслуговування та ремонту пристрою в процесі експлуатації.

Розрахунок проводиться при таких припущеннях:

- 1) елементи (компоненти) пристрою працюють в режимах, що характеризуються визначеним коефіцієнтом електричного навантаження k_n та температурою оточуючого середовища $T_{оточ.с}$;
- 2) відмови елементів можуть бути двох типів: раптові (обриви, коротке замикання) та параметричні;
- 3) режим роботи резервних елементів, якщо такі є, відомий: навантажений, полегшений або ненавантажений.

Для розрахунку надійності необхідно знати: вид з'єднання елементів на логічній моделі (схемі) розрахунку надійності, типи компонентів, застосованих в елементах

(вузлах, блоках тощо) пристрою, залежність інтенсивності відмов компонентів від електричного навантаження та умов експлуатації пристрою (системи).

Послідовність проведення розрахунку наведено на рис. 9.1.

Розглянемо розрахунок однофункціонального пристрою (системи) з незмінною структурою без відновлення елементів (послідовне з'єднання елементів).

У випадку основного з'єднання елементів на логічній моделі (схемі) надійності пристрою та експоненційному закону розподілу наробітку до відмови елементів імовірність безвідмовної роботи пристрою за час t визначається по (5.2):

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

$$\text{де } \lambda = \sum_{i=1}^m N_i \lambda_i,$$

де N_i - кількість однотипних елементів в i -й групі; λ_i - інтенсивність відмов i -го елемента; m - кількість груп однотипних елементів.

Інтенсивність відмов λ_i елементів пристрою (системи) з урахуванням реальних режимів роботи елементів (компонентів) та умов його експлуатації визначається за формулою:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} N_i a_1 a_2,$$

де λ_{0i} - інтенсивність відмов i -го елемента в номінальному режимі; a_1 - поправочний коефіцієнт, що враховує умови експлуатації пристрою;

$a_2 = f(k_{ni}, T_{оточ.с})$ - поправочний коефіцієнт, що враховує електричне навантаження та температуру оточуючого середовища.

Визначення реальних режимів роботи, тобто коефіцієнта електричного навантаження k_{ni} елементів пристрою, проводиться розрахунковим шляхом за формулами, наведеними в додатку даного посібника або шляхом виміру робочих режимів елементів на дослідному зразку в лабораторних умовах по методикам, наведеним в посібнику по застосуванню електро-радіо виробів (ЕРВ в техніці).

У випадку оцінки надійності пристрою з застосуванням резервних елементів, визначення показників безвідмовності проводиться по паралельно-послідовним логічним моделям надійності та формулам з урахуванням виду резерву, застосованого в пристрої або системі.

Деякі складності виникають при визначенні показників надійності пристрою (системи) зі змінною структурою в процесі роботи, тобто пристроїв, в яких частина елементів (вузлів, блоків) працюють в різних умовах. Наприклад, окремі вузли (блоки) системи контролю працездатності складних електронних систем, що періодично включаються для проведення контролю, після чого виключаються або переводяться в черговий (полегшений) режим роботи.

В цьому випадку поступають так:

- ◆ проводиться поділ усього циклу роботи системи на такти, що відповідають окремим станам системи;
- ◆ для кожного такту складається функціональна схема, що включає всі елементи (вузли, блоки тощо), які працюють протягом даного такту;
- ◆ визначаються для кожного елемента (вузла, блока тощо) перехідні сталі режими роботи.

Після цього визначають надійність роботи функціональних схем, що відповідають кожному такту. Більш докладно методика розрахунку надійності дана в [16], [29].

При виконанні повного розрахунку надійності для кожного елемента (вузла, блока тощо) пристрою або системи, вихідні дані і результати розрахунку варто представляти у вигляді таблиці, форма якої наведена в табл. 9.3.

Таблиця 9.3 - Інтенсивність відмов ЕРЕ пристрою

Порядковий номер	Найменування та тип елемента	Схемне позначення	Інтенсивність відмов $\lambda_{0j} \cdot 10^6, 1/\Gamma$	Поправочні коефіцієнти, що враховують вплив		Сумарна інтенсивність відмов λ_{0j} ементів в робочому режимі, $\cdot 10^6 a_{-i} a_1$
				оточуючого середовища, a_1	електричного навантаження та температури $a_{-i}, T_{окр.} (k_{и1},$	
1	2	3	4	5	6	7