

1.1 Загальні положення теорії надійності

Для нормативного забезпечення методів, заходів та засобів вимірювання, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності, використовується система стандартів «Надійність у техніці». Ця система відповідно до міжнародного стандарту ІСО 8402-86, державних стандартів ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення» та ДСТУ 3004-95 «Надійність техніки».

Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними» забезпечує ефективність організаційно-технічних, конструкторсько-технологічних і експлуатаційних заходів, спрямованих на досягнення необхідного рівня надійності технічних засобів (ТЗ).

Аналізом і дослідженням цих питань займається наука, яка називається теорією надійності (theory of dependability), основною задачею якої є вивчення закономірностей виникнення відмов. Ця наука базується на теорії ймовірності і математичної статистики, тому всі розрахунки надійності ТЗ носять ймовірнісний та статистичний характер. При проектуванні технічних засіб (hardware) має відповідати всім технічним вимогам. Ці вимоги можна розділити на:

- головні, що забезпечують виконання заданих функцій;
- допоміжні, що пов'язані зі зручністю використання, загальним виглядом та ін.

З точки зору теорії надійності будь-який ТЗ можна охарактеризувати його властивостями, технічним станом та можливістю відновлення після втрати роботоздатності. При цьому найважливішою комплексною властивістю ТЗ є його надійність.

Надійністю (dependability) називається властивість ТЗ виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників в заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, збереження і транспортування.

Надійність включає в себе такі властивості: *безвідмовність, довговічність, збереженість та ремонтпридатність*.

Нормування надійності (dependability specification) – це встановлення у нормативно-технічній та (або) конструкторській (проектній) документації кількісних і якісних вимог до надійності ТЗ.

Розглянемо основні терміни та визначення, що використовуються в теорії надійності згідно з міжнародним стандартом ІСО 8402-86 та ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення».

Працездатність (up state) ТЗ – стан технічного засобу, при якому він здатний виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами нормативно-технічної та конструкторсько-технологічної документації.

Відмова (failure) – подія, що вказує на порушення працездатності ТЗ.

Критерій відмови (failure criterion) – ознака, за якою оцінюється надійність різних ТЗ.

Безвідмовність (reliability) – властивість ТЗ безупинно зберігати роботоздатний стан протягом деякого часу.

Напрацювання (наробіток) (operating time) – тривалість роботи ТЗ в годиннах, циклах, календарних днях та ін.

Напрацювання до відмови (operating time to failure) – напрацювання ТЗ від початку його експлуатації до виникнення першої відмови.

Напрацювання між відмовами (operating time between failures) – напрацювання ТЗ від завершення відновлення його працездатного стану після відмови до виникнення наступної відмови.

Граничний стан (limiting state) – стан ТЗ, при якому його подальше застосування за призначенням стає неприпустимим чи недоцільним.

Довговічність (durability) – властивість ТЗ зберігати робото- здатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонтів.

Ремонтпридатність (maintainability) – властивість ТЗ, яка полягає в можливості попередження і виявлення причин виникнення відмов, підтримання і відновлення роботоздатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів.

Збережуваність (storability) – властивість ТЗ зберігати значення показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності протягом експлуатації, зберігання та транспортування.

Ресурс (useful life) – напрацювання ТЗ від початку його експлуатації чи відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Термін експлуатації (term operation) ТЗ – календарна тривалість від початку експлуатації ТЗ чи відновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Середній час відновлення (mean time to recovery) – це математичне сподівання часу відновлення роботоздатного стану.

Конструктивно всі ТЗ можна розділити на **невідновлювані та відновлювані**.

Невідновлюваними (non-repairable) називають такі ТЗ, що у процесі виконання своїх функцій не можуть ремонтуватися, а **відновлювані (repairable)** – ремонтуються.

З огляду на цю властивість окремо розраховують і нормують показники надійності для відновлюваних та невідновлюваних ТЗ.

Показник надійності (dependability index) – це кількісна характеристика однієї або декількох властивостей, що визначають надійність ТЗ.

Метрологічна справність (metrology good condition) технічного засобу – це стан ТЗ, що визначає відповідність його нормованих метрологічних характеристик встановленим вимогам.

Метрологічна надійність (metrology dependability) ТЗ – це надійність ТЗ в частині збереження його метрологічної справності.

Метрологічна відмова (metrology failure) ТЗ – це відмова ТЗ, що полягає у втраті його метрологічної справності.

Нестабільність (instability) метрологічної характеристики ТЗ – це зміна метрологічної характеристики ТЗ за встановлений інтервал часу.

Довірчі межі (confiding limits) нестабільності метрологічної характеристики ТЗ – це верхня і нижня межі інтервалу, що охоплює нестабільність метрологічної характеристики ТЗ з деякою довірчою вірогідністю.

Вірогідність (authenticity) метрологічної справності ТЗ – це вірогідність того, що в заданий момент часу ТЗ виявиться метрологічно справним.

Середній час (середнє напрацювання - mean operating time) до метрологічної відмови ТЗ – це математичне сподівання календарного часу експлуатації (напрацювання) ТЗ до першої метрологічної відмови.

Напрацювання на метрологічну відмову ТЗ – це відношення сумарного напрацювання ТЗ в стані метрологічної справності на заданий період експлуатації до математичного сподівання числа його метрологічних відмов за цей період.

Інтенсивність (intensity) метрологічних відмов ТЗ – це умовна щільність вірогідності метрологічної відмови ТЗ, яка визначається для даного моменту часу за умови, що до цього моменту відмови не відбулося.

1.2 Показники надійності невідновлюваних ТЗ

Основними нормованими показниками надійності невідновлюваних ТЗ можуть бути такі показники:

- ймовірність безвідмовної роботи, $P(t)$;
- ймовірність відмови, $Q(t)$;
- частота відмов, $a(t)$;
- інтенсивність відмов, $\lambda(t)$;
- середнє напрацювання до першої відмови, $T_{\text{ср}}$.

Оскільки час настання відмови T є величина випадкова, то $Q(t)$ – це ймовірність того, що випадкова величина T набуде значення, менше або рівне t (інтегральна функція (integral function) розподілу відмов), де t – час, за який визначається показник надійності (dependability index).

Тобто *ймовірністю відмови (probability failure)* називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу виникне хоча б одна відмова

$$Q(t) = P(T \leq t).$$

Ймовірністю безвідмовної роботи (probability reliability work), $P(t)$ називається ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу або у межах заданого напрацювання t не відбудеться жодної відмови

$$P(t) = P(T > t).$$

Оскільки безвідмовна робота і відмова є подіями неспільними і протилежними, то між ними справедливе таке співвідношення

$$P(t) + Q(t) = 1.$$

Оскільки $Q(t)$ є законом розподілу випадкової величини (відмов), то залежність між можливими значеннями безперервної випадкової величини T та ймовірностями влучення в їх межі називається *щільністю ймовірності (density probability)*.

Вважаючи, що в момент ввімкнення ТЗ роботоздатний, тобто $P(0) = 1$, функція $P(t)$ монотонно спадає від 1 до 0 так, як це показано на рис. 1.1. При цьому абсолютно зрозумілим є те, що $P(\infty) = 0$, тобто будь-який ТЗ при $t \rightarrow \infty$ з часом відмовить.

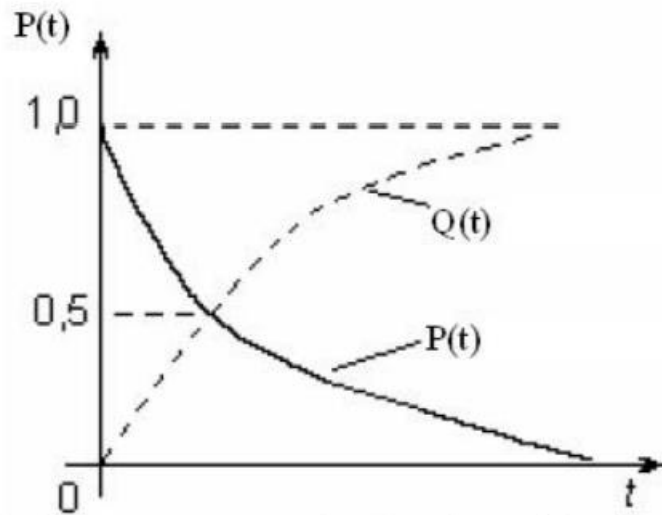


Рисунок 1.1 – Характеристики зміни ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови

На практиці використовують статичні імовірнісні характеристики, які визначають за експериментальними даними. При цьому допускається, що в досліді використовуються однакові події і випробування проводяться в однакових умовах.

Частота відмов (*failure rate*), $a(t)$ є щільністю ймовірності часу роботи ТЗ до першої відмови

$$a(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt}.$$

Наступною важливою характеристикою є *інтенсивність відмов (intensity failure)* $\lambda(t)$, під якою розуміють ймовірність відмови в одиницю часу за умови, що до цього моменту відмови не виникало. Інтенсивність відмов є показником безвідмовності неремонтованих і невідновлюваних об'єктів. Визначається відношенням частоти відмов $a(t)$ до ймовірності безвідмовної роботи на даний момент часу t

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)} = \frac{a(t)}{1 - \int_0^t a(t)dt} = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt}.$$

Звідки:

$$\frac{dP(t)}{P(t)} = -\lambda(t)dt.$$

Слідуює що:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Це формула зв'язку основних показників надійності ТЗ, що не відновлюються.

$$\text{Якщо } \lambda = \text{const}, \quad P(t) = e^{-\lambda t}.$$

$$\text{При } t = 0 \text{ значення } \lambda(t) = a(0).$$

Формула зв'язку показує, що всі показники надійності $P(t)$, $Q(t)$, $a(t)$ і $\lambda(t)$ рівноправні в тому сенсі, що, знаючи один із них, можна визначити інші.

Середня інтенсивність відмов (mean intensity failure) – середнє значення інтенсивності відмов у заданому інтервалі часу.

$$\bar{\lambda}(t_1, t_2) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt.$$

Середнім напрацюванням до першої відмови (mean operating time to first failure), T_{cp} називається математичне сподівання (момент першого порядку) $M[t]$ часу роботи ТЗ до відмови. Математичне сподівання, тобто T_{cp} , обчислюється за частотою відмов (щільність розподілу часу безвідмовної роботи) так

$$M[t] = T_{cp} = \int_{-\infty}^{+\infty} t a(t) dt,$$

$$\text{оскільки } t > 0 \quad \text{і } P(0) = 1, \text{ а } P(\infty) = 0, \text{ то } T_{cp} = \int_0^{+\infty} P(t) dt.$$

Величина T_{cp} – параметр функції $P(t)$, який в багатьох випадках дозволяє відновити всю функцію. Інколи середній час безвідмовної роботи T_{cp} є прийнятною характеристикою для порівняння ТЗ за показниками безвідмовності. Момент другого порядку розраховується за формулою

$$M_2[t] = \int_0^{+\infty} t^2 a(t) dt = - \int_0^{+\infty} t^2 dP(t)$$

З врахуванням того, що $P(t) = 1$ при $t = 0$, а $\lim_{t \rightarrow \infty} t P(t) = 0$, остаточно отримаємо

$$M_2[t] = \int_0^{+\infty} P(t) dt^2 = 2 \int_0^{+\infty} t P(t) dt$$

можна знайти дисперсію часу безвідмовної роботи ТЗ за формулою

$$\sigma_T^2 = M_2[t] - T_{cp}^2 = 2 \int_0^{+\infty} t P(t) dt - \left[\int_0^{+\infty} P(t) dt \right]^2$$