

## РОЗДІЛ 3 СИСТЕМА ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН

### 3.1 Випадкові величини та їх характеристики

У розрахунках надійності більшість параметрів повинні розглядатися як випадкові величини. *Випадковою* називається величина, що набуває заздалегідь невідомого значення. Випадкові величини можуть бути нескінченними, або дискретними.

Нехай  $X$  – випадкова величина, а  $x$  – деяке дійсне число з області зміни величини  $X$ . Можна стверджувати, що в діапазоні зміни випадкової величини  $X$  існує ймовірність того, що  $X < x$  [ $P(X < x)$ ]. Ця залежність  $F(X) = P(X < x)$  називається **функцією розподілу**, або **функцією ймовірності**, випадкової величини  $X$ .

Функція  $F(X)$  є неспадною функцією (монотонно зростаючою). У діапазоні зміни випадкової величини  $X$  вона змінюється від 0 до 1.

Похідна від функції розподілу

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (3.1)$$

називається **щільністю розподілу** і характеризує частість повторень даного значення випадкової величини. У задачах надійності її часто використовують як щільність імовірності.

Розглянемо основні характеристики випадкової величини. Розподіл випадкової величини характеризується математичним сподіванням (середнім значенням), дисперсією, середнім квадратичним відхиленням і коефіцієнтом варіації.

**Математичне сподівання**, або середнє значення, випадкової величини, визначене за результатами спостережень, дорівнює

$$X_{сер} = \frac{\sum X_i}{N}, \quad (3.2)$$

де  $X_i$  – значення випадкової величини;  
 $N$  – загальна кількість спостережень.

**Дисперсія** випадкової величини – середнє значення квадрата різниці між значенням випадкової величини та її середнім значенням:

$$D_x = \frac{1}{N-1} \sum (X_i - X_{сер})^2. \quad (3.3)$$

Слово «дисперсія» означає розсіювання і характеризує розподіл випадкової величини. Дисперсія має розмірність квадрата випадкової величини.

Зручніше користуватися характеристикою розподілу, що має розмірність випадкової величини, – це **середнє квадратичне відхилення**. Середнє квадратичне відхилення являє собою корінь квадратний із дисперсії, тобто

$$S_x = \sqrt{D}. \quad (3.4)$$

Для оцінювання розсіювання випадкової величини використовують **коефіцієнт варіації**

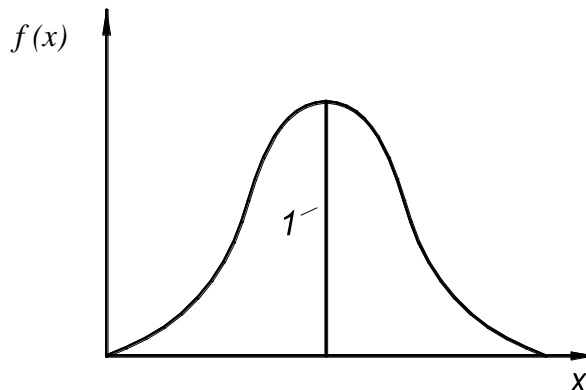
$$V_x = \frac{S_x}{X_{сер}}, \quad (3.5)$$

де  $S_x$  – середнє квадратичне відхилення;  
 $X_{сер}$  – середнє значення випадкової величини.

Крім того, для характеристики випадкових величин використовують поняття **квантиль** та **медіана**.

**Квантилем** називають значення випадкової величини, що відповідає заданій імовірності. Квантиль, що відповідає ймовірності 0,5, називається **медіаною**.

Медіана характеризує розміщення центра (групування) випадкової величини. Площа під графіком функції щільності розподілу ділиться медіаною *навпіл* (рис. 3.1).



**Рисунок 3.1 – Щільність імовірності**

### 3.2 Закони розподілу випадкових величин

Основним завданням теорії надійності є одержання математичного закону розподілу параметрів надійності (найчастіше ймовірності відмови).

Розподіл значень показників надійності машин із достатнім ступенем точності можна оцінити за такими трьома законами: експоненціальним, нормальним і Вейбулла.

#### **Експоненціальний закон**

Експоненціальний закон застосовують для характеристики показників надійності машини в період її нормальної експлуатації (від кінця приробітку до появи поступових відмов) або напрацювання до відмов невідновлюваних виробів. У період нормальної експлуатації надійність характеризується раптовими відмовами, що виникають у зв'язку з несприятливим збігом обставин, і тому ці відмови мають постійну інтенсивність.

Це однопараметричний закон, що характеризується постійною інтенсивністю відмов:

$$\lambda(t) = \lambda = const.. \quad (3.6)$$

Основні характеристики надійності для цього закону мають вигляд:

а) імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (3.7)$$

б) інтенсивність відмови

$$\lambda = const; \quad (3.8)$$

в) щільність імовірності відмов

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (3.9)$$

Графічні залежності для цього закону наведені на рис. 3.2.

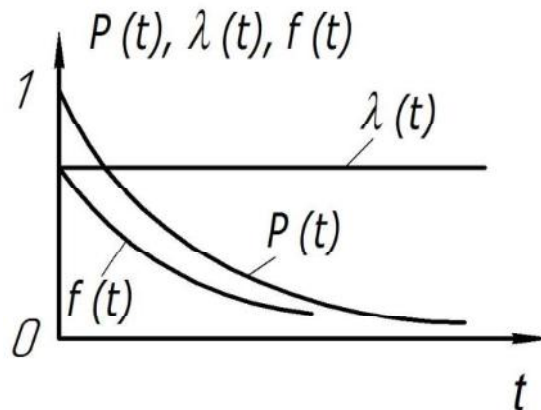
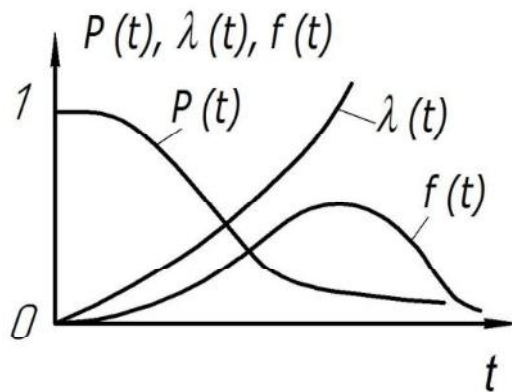


Рисунок 3.2 – Характеристики експоненціального розподілу

**Нормальний закон**

Застосовують нормальний закон для характеристики показників надійності у період поступових відмов. Цей закон є універсальним і застосовується для відновлюваних та невідновлюваних виробів (рис. 3.3).



**Рисунок 3.3 – Характеристики нормального розподілу**

Щільність розподілу ймовірності відмов визначають за формулою

$$f(t) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-t_{\text{сер}})^2}{2S^2}}, \quad (3.10)$$

де  $S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (t_i - t_{\text{сер}})^2}$  – середнє квадратичне відхилення;

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum t_i}{N} \quad \text{– середнє значення}$$

наробітку.

Функція  $f(t)$  має дві змінні –  $s$  і  $t$ . Для спрощення підрахунків застосовують підстановку  $U_p = \frac{t - t_{\text{сер}}}{S} = x$ , де  $x$  – квантиль нормального розподілу.

Тоді функція щільності розподілу буде мати вигляд

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}}. \quad (3.11)$$

Ця функція має одну змінну « $x$ », її знаходять за таблицями [5].

Потім знаходять функцію  $F_0(x)$ :

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^x f_0(x) dx, \quad (3.12)$$

при цьому

$$F_0(x) = \int_{-\infty}^x f_0(x) dx, \quad (3.13)$$

Імовірність безвідмовної роботи розраховують за формулою

$$P(t) = 1 - F_0(x), \quad (3.14)$$

де  $F_0(x) = Q(t)$ .

### **Закон Вейбулла**

Цей закон є універсальним і застосовують його для характеристики *напрацювання* на відмову підшипників, деталей автомобілів, гідравлічних машин та ін.

Основні характеристики надійності для цього закону:

а) ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-(t/a)^b}, \quad (3.15)$$

де  $a$  і  $b$  – параметри розподілу,

$$a = t_{сер}^{1/b},$$

або

$$a = \frac{S}{c_6},$$

де  $c_6$  – табличне значення;

б) щільність розподілу відмов

$$f(t) = \frac{6}{a} \left( \frac{t}{a} \right)^{6-1} e^{-\left( \frac{t}{a} \right)^6}; \quad (3.16)$$

в) інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{6}{a} \left( \frac{t}{a} \right)^{6-1}. \quad (3.17)$$

### 3.3 Поняття надійності

**Надійність** – властивість об'єкта (машини) виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в межах заданого часу.

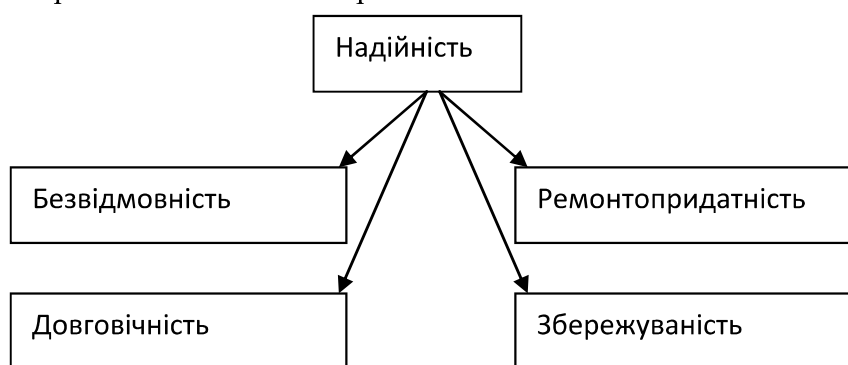
Надійність – здатність машини не відмовляти під час роботи.

**Надійність** – це комплексна властивість, яка залежно від призначення об'єкта та умов його експлуатації складається з *безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережуваності* (рис. 3.4).

**Безвідмовність** – властивість машини зберігати працездатність упродовж деякого часу або напрацювання (наприклад, до першої відмови).

**Напрацювання** – це тривалість або обсяг роботи машини, що може визначатися кілометрами пробігу, годинами, тоннами, кубічними метрами та іншими показниками.

В основному безвідмовність розглядають стосовно використання машини за призначенням.



**Рисунок 3.4 – Складові надійності**

**Довговічність** – властивість машини зберігати працездатність до *граничного стану* в умовах установленної системи технічного обслуговування та ремонту.

**Ремонтопридатність** – властивість машини, що характеризує *приспосованість* її до виявлення причин відмови, зручності виконання технічного обслуговування та ремонту.

Кількісно *ремонтопридатність* визначають затратами часу, праці та засобів.

До найпростіших властивостей, що визначають ремонтпридатність машини, належать доступність і можливість проведення легкого демонтажу складальних одиниць та деталей, взаємозамінюваність, ступінь уніфікації та ін.

**Збережуваність** – властивість машини *зберігати працездатність* під час її транспортування та зберігання і в подальшому під час роботи.

Збережуваність характеризується *опірністю* конструкції зміні характеристик елементів машини під дією вологи, атмосферного тиску, опромінення, навколишньої температури та власної маси при зберіганні.

Високі показники збережуваності досягають за рахунок герметизації та встановлення спеціальних заглушок, пробок,



застосування спеціальних лакофарбових покриттів, установа спеціальних пристроїв.

Надійність може бути категорією якості, яку має машина, або *якістю* (в одних випадках машина надійна, в інших – не забезпечує необхідної надійності). Але якість підлягає зміні з часом, тобто машина може перейти з надійного стану в ненадійний. Цей процес не є випадковим, він закономірний і є наслідком поступових кількісних змін у машині.

*Рівень надійності* машин характеризується кількісними показниками. Це ймовірні характеристики.

Для характеристики надійності застосовують показники, що характеризують окремі її властивості – це *кількісні показники*, і декілька властивостей – *комплексні показники*.

Кількісні показники – це показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережуваності.

Параметри надійності є випадковими величинами. При багаторазовому повторенні вони підпорядковуються певним статичним залежностям.

Під час розрахунків характеристик надійності використовують математичний апарат теорії ймовірності та математичної статистики.

Однією з основних характеристик надійності є *відмова* – випадкова подія. Випадковою називається подія, яка в розглянутому поєднанні умов може відбутися, а може й не відбутися.

**Подія** – це кількісний або якісний результат випробування.

Імовірністю події називається відношення

$$P(A) = \frac{n}{N}, \quad (3.18)$$

де  $P(A)$  – імовірність події  $A$ ;  
 $n$  – кількість випадків, що сприяють настанню події  $A$ ;  
 $N$  – загальна кількість випадків.

**Додавання ймовірностей.** Нехай відбуваються дві події –  $A$  і  $B$ . Визначимо ймовірність появи однієї з них ( $A$  чи  $B$ ).  $A$  і  $B$  – сумісні події, тоді

$$P(A \text{ або } B) = P(A) + P(B) - P(AB). \quad (3.19)$$

де  $P(AB)$  – ймовірність спільної появи подій  $A$  і  $B$ .

**Множення ймовірностей.** Ймовірність спільного настання декількох незалежних подій дорівнює добутку ймовірностей цих подій, тобто

$$P(A_1, A_2, \dots, A_n) = \prod_{i=1}^n P(A_i), \quad (3.20)$$

або

$$P(AB) = P_A \cdot P_B. \quad (3.21)$$

На практиці розглядають дві протилежні події: працездатність  $P$  і відмову  $Q$ . Можна показати, що  $P + Q = 1$ .

Розглянемо основні параметри надійності на прикладі. При експлуатації  $N$  виробів протягом напрацювання  $t$  на кінець терміну експлуатації залишилося  $N_p$  працездатних виробів і  $n$  відмовлених. Визначимо параметри надійності.

1 Ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  оцінюють за відносною кількістю працездатних виробів на кінець напрацювання

$$P(t) = \frac{N_p}{N} = 1 - \frac{n}{N}, \quad (3.22)$$

де  $N_p$  – кількість працездатних виробів;  
 $N$  – загальна кількість виробів, що перебувають в експлуатації;  
 $n$  – кількість відмов;  
 $t$  – напрацювання.

2 Відносну кількість відмов (імовірність відмови)  $Q(t)$  визначають за формулою

$$Q(t) = \frac{n}{N}. \quad (3.23)$$

Оскільки безвідмовна робота і відмова взаємно протилежні події, то сума їх імовірностей дорівнює 1:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (3.24)$$

3 Функція щільності розподілу напрацювання на відмову  $f(t)$  дорівнює

$$f(t) = \frac{\Delta n}{N \cdot \Delta t}, \quad (3.25)$$

з іншого боку

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt}, \quad (3.26)$$

тоді

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt. \quad (3.27)$$

При  $t = \infty$

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt = 1. \quad (3.28)$$

Після підстановки одержуємо

$$P(t) = 1 - Q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \int_1^{\infty} f(t) dt. \quad (3.29)$$

4 Інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  визначають за залежністю

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{N_p \cdot \Delta t}, \quad (3.30)$$

де  $N_p$  – кількість працездатних машин.

Оскільки  $P(t) = \frac{f(t)}{\lambda(t)}$ , то

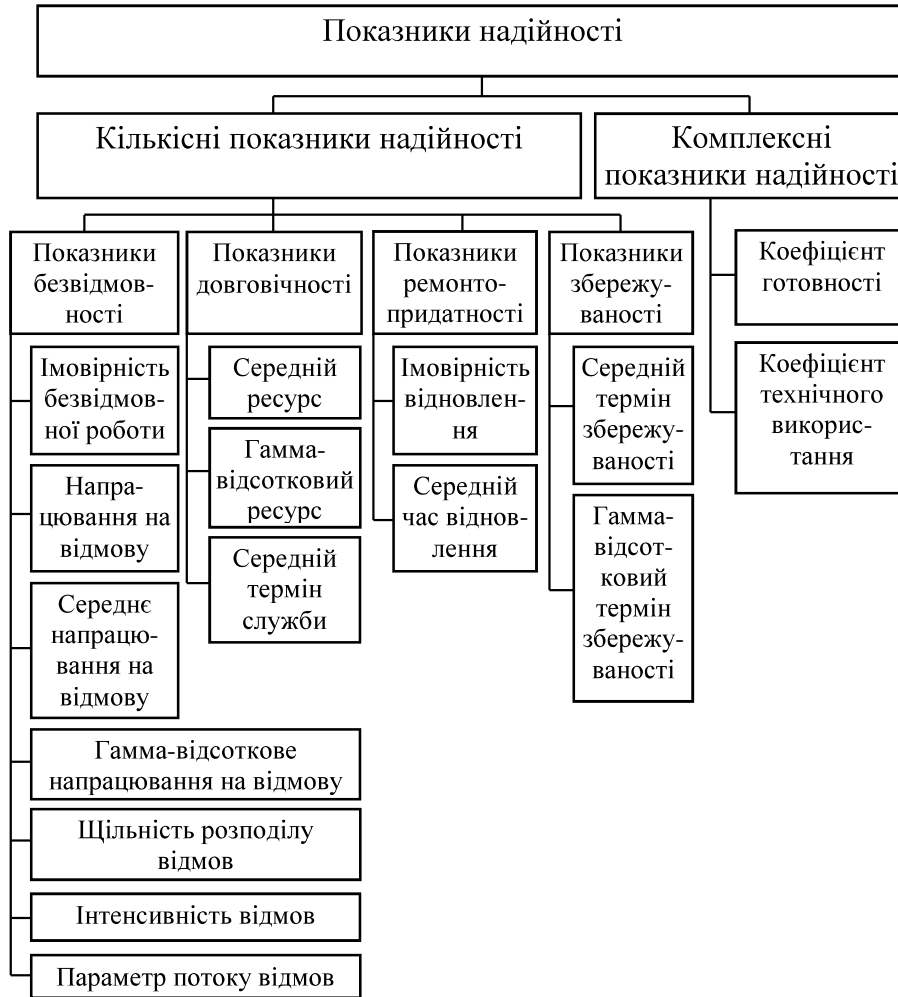
$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3.31)$$

5 Параметр потоку відмов  $\omega(t)$  розраховують за формулою

$$\omega(t) = \frac{1}{t_{cep}} = \frac{n}{\sum t_i}. \quad (3.32)$$

### 3.4 Показники надійності

Розглянемо кількісні показники надійності (рис. 3.5).



*Рисунок 3.5 – Показники надійності*

### 3.4.1 Показники безвідмовності

**1 Імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$**  – імовірність того, що в заданому діапазоні часу  $t$  не відбудеться відмови машини:

$$P(t) = \frac{N_P}{N}, \quad (3.33)$$

де  $N_P$  – кількість працездатних машин ( $N_P = N - n$ );  
 $N$  – загальна кількість машин;  
 $n$  – кількість відмов.

**2 Напрацювання до відмови** – тривалість роботи машини до першої відмови.

**3 Середнє напрацювання на відмову**

$$t_{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (3.34)$$

де  $t_i$  – час роботи до відмови  $i$ -ї машини.

**4 Гамма-відсоткове напрацювання на відмову** – це напрацювання, упродовж якого не відбудеться відмови машини з імовірністю  $\gamma$ . Його розраховують у відсотках, %.

**Приклад.** Якщо ймовірність безвідмовної роботи впродовж часу  $t = 1\,000$  год дорівнює  $P(t) = 0,95$ , то цей час є 95 % напрацюванням на відмову.

**5 Щільність розподілу відмов**

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (3.35)$$

де  $n(t)$  – кількість відмов машини за час  $\Delta t$ ;  
 $\Delta t$  – інтервал часу;  
 $N_0$  – початкова кількість машин.

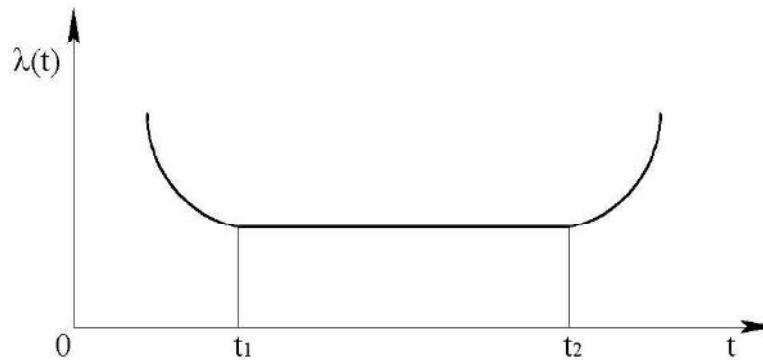
**6 Інтенсивність відмов** – це умовна щільність імовірності появи відмови

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_p \cdot \Delta t}, \quad (3.36)$$

де  $N_p$  – кількість працездатних машин,  
або

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3.37)$$

Практично для всіх систем інтенсивність відмов залежить від часу і має характеристику у вигляді “ванни” (рис. 3.6).



**Рисунок 3.6 – Зміна інтенсивності відмов машини:**  
 $0-t_1$  – період припрацювання;  $t_1-t_2$  – період нормальної експлуатації;  $t > t_2$  – період зношування та старіння

Зміна  $\lambda(t)$  за часом має три характерні ділянки.

Ділянка  $0-t_1$  – це період *припрацювання* машини, коли інтенсивність відмови зменшується. У цей період виявляються конструктивні, технологічні й виробничі дефекти. Закон розподілу відмов для різних машин може бути різним, але загальним є зменшення інтенсивності відмов до деякого постійного значення упродовж короткого проміжку часу.

Для забезпечення надійності машини під час її припрацювання необхідно розробити методи усування відмов. Для усування відмов після складання машини необхідно провести її *обкатування* на стенді або в реальних умовах. Під

час обкатування проводиться заміна елементів, які відмовили, з'ясовуються причини їх відмови.

Показниками якості припрацювання можуть бути к. к. д., рівень шуму, температура поверхонь деталей, рідини та ін. Про закінчення процесу припрацювання свідчить незмінність показника  $\lambda(t)$ .

На ділянці  $t_1 - t_2$  (це період *нормальної експлуатації*) інтенсивність відмов стає приблизно постійною ( $\lambda(t) \approx \text{const}$ ) і визначається випадковими факторами.

З моменту  $t > t_2$  інтенсивність відмов *збільшується* внаслідок процесів старіння і зміни фізико-хімічних властивостей елементів машини, пов'язаних із її довготривалою експлуатацією. Механізм відмов на цій ділянці пояснюється моделями зношування, старіння й утомленості.

**7 Параметр потоку відмов** – це відношення середньої кількості відмов відновлюваних машин до їх сумарного напрацювання:

$$\omega(t) = \frac{n}{\sum t_i} . \quad (3.38)$$

### 3.4.2 Показники довговічності

Ці показники оцінюють втрату працездатності за весь період експлуатації машини, тобто до появи її граничного стану.

**1 Середній ресурс** – напрацювання машини від початку експлуатації до граничного стану в годинах.

**Ресурс** – це запас можливостей роботи машини. Для неремонтованих виробів він збігається з напрацюванням на відмову, для ремонтваних – включає і тривалість роботи після ремонту до граничного стану:

$$T_{p. \text{сер}} = R_{\text{сер}} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N R_i , \quad (3.39)$$

де  $R_i$  – ресурс  $i$ -ї машини;  
 $N$  – кількість машин.



**2 Гамма-відсотковий ресурс** – напрацювання, упродовж якого машина не досягне граничного стану. Виражають його у відсотках.

Приклад:  $R_\gamma = 90\%$  – для підшипників;  $R_\gamma = 95\%$  і більше – для відповідальних машин.

**3 Середній термін служби** – середнє календарне напрацювання машини до граничного стану в роках :

$$T_{сл.сер} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N T_{сл.i}, \quad (3.40)$$

де  $T_{сл.i}$  – термін служби  $i$ -ї машини.

Таким чином, термін служби від ресурсу відрізняється лише розмірністю.

### 3.4.3 Показники ремонтпридатності

**1 Імовірність відновлення** – імовірність того, що час відновлення машини не буде більшим від заданого (аналогія з імовірністю відмов).

2 Середній час відновлення, год:

$$T_{від.сер} = \frac{\sum t_{від.i}}{N}, \quad (3.41)$$

де  $t_{від.i}$  – час відновлення  $i$ -ї машини;  
 $N$  – кількість машин.

### 3.4.4 Показники збережності

**1 Середній термін збережності**

$$T_{зб.сер} = \frac{\sum t_{зб.i}}{N}, \quad (3.42)$$

де  $t_{зб.i}$  – період збережності  $i$ -ї машини;  
 $N$  – кількість машин.

**2 Гамма-відсотковий термін збережності** – термін збережності із заданою імовірністю  $\gamma$ , вираженою у відсотках.

### 3.5 Комплексні показники надійності

Розглянуті кількісні показники надійності – це показники, які належать до однієї з властивостей, що складають надійність машини. *Комплексні* показники надійності, на відміну від одиничних, характеризують одночасно кілька властивостей машини.

Щодо сучасних машин передбачено декілька показників, але найбільш широко використовують *коефіцієнт готовності* та *коефіцієнт технічного використання*.

**1 Коефіцієнт готовності** – імовірність того, що машина буде працездатною у довільний момент часу. Характеризує дві властивості – безвідмовність і ремонтпридатність:

$$K_G = \frac{T_B}{T_B + T_{від}}, \quad (3.43)$$

де  $T_B$  – напрацювання на відмову;  
 $T_{від}$  – середній період відновлення.

При визначенні коефіцієнта  $K_G$  період простоїв у технічному обслуговуванні, ремонтах та з організаційних причин не враховується.

#### **2 Коефіцієнт технічного використання**

Характеризує фактичний термін роботи машини:

$$K_{ТВ} = \frac{T_O}{T_O + T_{від} + T_{ТО}}, \quad (3.44)$$

де  $T_O$  – період працездатного стану;  
 $T_{від}$  – період відновлення;  
 $T_{ТО}$  – період технічного обслуговування.

Рівень надійності машини впливає на величину затрат, пов'язаних із її виготовленням та експлуатацією, а також на рівень ефективності від її використання. Оптимальним вважається рівень надійності, що забезпечує максимальну ефективність на одиницю сумарних витрат.

Показники надійності при розрахунках залежать від типу виробу (машини).

Для *невідновлюваних* виробів необхідно розрахувати:

- інтенсивність відмов  $\lambda(t)$ ;
- імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- середнє напрацювання на відмову  $T_{від. сер}$ ;
- щільність розподілу відмов  $f(t)$ .

Для *відновлюваних* виробів розраховують:

- імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ ;
- параметр потоку відмов  $\omega(t)$ ;
- показники довговічності:
  - а) середній ресурс  $T_{р. сер} (R_{сер})$ , год;
  - б) середній термін служби  $T_{сл. сер}$ , років;
  - в) гамма-відсотковий ресурс  $T_{\gamma}$ , %.

### Контрольні питання та задачі до розділу 3

- 1 Що таке надійність?
- 2 Назвіть чотири основні властивості надійності і поясніть їх.
- 3 Поясніть терміни: безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збережність.
- 4 Що таке одиничний і комплексний показники надійності?
- 5 Які показники характеризують окремі властивості машини?
- 6 Назвіть основні кількісні показники надійності.
- 7 Показники оцінки безвідмовності.
- 8 Поясніть аналітично фізичну сутність показників: імовірність безвідмовної роботи, ймовірність відмови.
- 9 Поясніть аналітично оцінку середнього напрацювання на відмову.
- 10 Сутність показника «інтенсивність відмов». Як вона змінюється з часом роботи машини?
- 11 Поясніть аналітично фізичну сутність параметра потоку відмов.
- 12 Показники оцінки довговічності.
- 13 Що таке ресурс і термін служби?
- 14 Поясніть аналітично фізичну сутність показників: середній ресурс, середній термін служби.
- 15 Назвіть показники оцінки ремонтпридатності і як вони визначаються.
- 16 Що таке гамма-відсотковий термін збережуваності?
- 17 Назвіть комплексні показники надійності, поясніть їх призначення й фізичну сутність.
- 18 Якими показниками оцінюються невідновлювані вироби?
- 19 Назвіть показники для розрахунку надійності відремонтованих машин.

**Задача 3.1**

У результаті експлуатації  $N=100$  відновлюваних виробів одержані статистичні дані: інтервал напрацювання 5 000 – 5 500 год, сумарна кількість відмов на кінець інтервалу ( $t = 5\,500$  год) становить  $\sum n_i = 36$ . Необхідно знайти імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$ , параметр потоку відмов  $\omega(t)$ , середнє напрацювання на відмову  $T_{сер}$ , коефіцієнти готовності і технічного використання  $K_r$ ,  $K_{ТВ}$ . Час  $t$  – кінець напрацювання інтервалу ( $t = 5\,500$  год). При цьому взяти час відновлення одного виробу в інтервалі  $\Delta t = 500$  год,  $T_{від} = 2$  год, а середній час технічного обслуговування  $T_{ТО} = 1$  год.

**Розв'язання**

Імовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  дорівнює

$$P(t) = \frac{N_p}{N},$$

де  $N_p$  – кількість працездатних виробів;

$N$  – загальна кількість виробів;

$\sum n_i$  – кількість відмов на кінець інтервалу напрацювання.

Кількість працездатних виробів

$$N_p = N - \sum n_i = 100 - 36 = 64.$$

Імовірність безвідмовної роботи на час  $t = 5\,500$  год

$$P(5\,500) = \frac{64}{100} = 0,64.$$

Параметр потоку відмов

$$\omega(t) = \frac{\sum n_i}{t};$$

$$\omega(5500) = \frac{36}{5500} = 0,00655 \text{ 1/г.}$$

Середнє напрацювання на відмову  $T_{сер}$ , год, буде дорівнювати

$$T_{сер} = \frac{t}{\sum n_i} = \frac{5500}{36} = 153$$

Коефіцієнт готовності

$$K_{Г} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{від}} = \frac{153}{153 + 2} = 0,987.$$

Коефіцієнт технічного використання:

$$K_{Г} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{від} + T_{ТО}} = \frac{153}{153 + 2 + 1} = 0,981.$$

### **Задача 3.2**

При випробуванні насоса упродовж певного періоду часу було зафіксовано десять відмов ( $N = 10$ ), із них два рази відмовило сальникове ущільнення. Яка імовірність відмови ущільнення?

### **Розв'язання**

Використовуємо позначення:  $A$  – подія, що проявляється у появі відмов сальникового ущільнення;  $n$  – кількість випадків, що сприяють настанню відмов, тоді

$$P(A) = \frac{n}{N} = \frac{2}{10} = 0,2.$$

### **Задача 3.3**

Агрегат складається з двох машин. Імовірність безвідмовної роботи упродовж деякого напрацювання відповідно  $P_1 = 0,8$ ;  $P_2 = 0,7$ . Визначити ймовірність безвідмовної роботи агрегата.

### **Розв'язання**

При визначенні ймовірностей складних подій застосовують правила додавання і множення ймовірностей.

У цьому випадку ймовірність безвідмовної роботи агрегата відповідно до формули множення ймовірностей становить

$$P = P_1 \cdot P_2 = 0,8 \cdot 0,7 = 0,56.$$