Практична роботи №3
ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОМУ ЗАКОНІ РОЗПОДІЛУ

МЕТА РОБОТИ – ознайомитись з методикою визначення показників надійності технологічних систем при експоненціальному законі розподілу.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.3 Завдання для самостійної підготовки (Додаток А)

Вивчити:

- показники надійності відновлюваних і невідновлюваних виробів.

Ознайомитись:

- з методикою визначення основних показників надійності відновлюваних і невідновлюваних виробів.

Скласти звіт по роботі:

- номер, найменування та мета роботи;
- показники надійності відновлюваних виробів;
- показники надійності невідновлюваних виробів.

1.6 Питання для самопідготовки

1.6.1 Показники надійності відновлюваних виробів.

1.6.2 Показники надійності невідновлюваних виробів.

1.7 Рекомендована література

1 Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення: ДСТУ 2470-94. - К.: Держстандарт України, 1995. – 28 с.

2. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола.– Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. – 320 с.

2 ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ

Показники надійності відновлюваних виробів

Відновлюваний об'єкт – це ремонтований об'єкт, який після відмови та усунення несправностей знову стає здатним виконувати потрібні функції, що задані кількісними показниками надійності. Відновлення полягає у відшуканні та заміні елементів (модулів, плат, субблоків і т.і.), які відмовили з подальшим регулюванням та перевіркою працездатності.

Показниками надійності відновлюваних виробів є:

- імовірність безвідмовної роботи P(t);
- параметр потоку відмов ω(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_{γ}, %.

Для **відновлюваних об'єктів**, у яких ймовірна багаторазова поява відмов, напрацювання на відмову – випадкова подія. Тому елементи, що відмовили, замінюють на справні і працездатність об'єкта відновлюється, тобто спостерігається потік відмов та потік відновлень.

Потік відмов характеризується двома величинами: середньою кількістю відмов $m_{сер}(t)$ та параметром потоку відмов $\omega(t)$.

Якщо випробовують або експлуатують N об'єктів, що відновлюються (ремонтуються), при цьому фіксується кількість відмов та напрацювань, при яких вони проявляються $m_1(t)$, $m_2(t)$, , ..., ..., $m_i(t)$, то загальна кількість відмов становитиме:

$$m_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N} m_i(t) \qquad (1)$$

Середня кількість відмов до напрацювання t, що наближено характеризує потік відмов, визначають за формулою:

$$\overline{m}(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N} m_i(t)}{N} \qquad (2)$$

де N – кількість об'єктів, що відновлюються (ремонтуються), за випробуваннями або експлуатацією яких у заданих умовах проводять спостереження;

$m_i(t)$ – кількість відмов кожного з цих об'єктів до напрацювання t.

Переходячи до границі, отримують **характеристику потоку відмов:**

$$H(t) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} m_i(t) = \lim_{N\to\infty} \overline{m}(t). \qquad (3)$$

Параметром потоку відмов називають щільність ймовірності виникнення відмов відновлюваного об'єкта; визначається для певного моменту часу або напрацювання.

Параметр потоку відмов визначають за рівнянням:

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt}. \qquad (4)$$

часто для визначення параметра потоку відмов, на підставі експериментальних даних, користуються наближеною формулою:

$$\hat{\omega}(t) = \frac{\overline{m}(t+\Delta t) - \overline{m}(t)}{\Delta t}, \qquad (5)$$

Виходячи з цієї формули можна бачити, що параметр потоку відмов – це середня кількість відмов об'єктів, що відновлюються (ремонтуються), за одиницю часу для досить малого проміжку часу Δt. При експоненціальному розподілі напрацювання між відмовами $\omega(t) = \lambda$ і статистична оцінка параметра потоку відмов визначається за формулою: $\hat{\omega}(t) = \hat{\lambda}$. Після періоду припрацювання $\omega(t) = \omega\text{const}$.

Якщо позначити через $Q(t)$ ймовірність появи відмови у проміжок напрацювання від t_1 до t_2, то параметр потоку відмов визначають за формулою:

$$\omega(t) = \frac{dQ(t)}{dt},$$

тобто параметр потоку відмов за час t дорівнює ймовірності відмови об'єкта в одиницю напрацювання після цього напрацювання t.

Якщо об'єкт складається з кількох елементів, для яких визначені параметри потоку відмов, загальний параметр потоку відмов обчислюють за виразом:

$$\omega_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N} \omega_i \,, \qquad (7)$$

де N – кількість елементів об'єкта; ω_i – параметр потоку відмов i-го елемента.

Рівняння (7) визначає важливе положення, яке широко використовується у розрахунках надійності. Якщо скласти кілька потоків відмов, то параметр сумарного потоку відмов дорівнюватиме сумі параметрів всіх потоків.

Середнє напрацювання на відмову $T_1(t)$ залежить від параметра потоку відмов:

$$T_1 = \frac{1}{\omega} \qquad (8)$$

Довговічність кількісно оцінюється за допомогою двох груп показників: ресурсу як показника, пов'язаного з напрацюванням об'єкта та терміном служби. Кожна з цих груп має багато різновидів, які дають змогу конкретизувати етапи або характер експлуатації.

Нормативними документами визначені такі показники довговічності:

1. **Гамма-відсотковий ресурс** $T_{p.\gamma}$, визначений як сумарне напрацювання, протягом якого виріб не досягне граничного стану з ймовірністю γ, вираженою у відсотках.

2. **Середній ресурс** T_p, визначений як математичне сподівання ресурсу.

Ці ресурсні показники оцінюють довговічність невідновлюваних виробів і збігаються з гамма-відсотковим і середнім напрацюванням до першої відмови.

3. **Гамма-відсотковий термін служби** $T_{сл.\gamma}$, що являє собою календарну тривалість експлуатації, протягом якої виріб не досягне граничного стану з ймовірністю γ, вираженою у відсотках.

4. **Середній термін служби** $T_{сл}$, який являє собою математичне сподівання терміну служби.

За цим терміном служби оцінюють довговічність відновлюваних виробів, її можна аналітично прогнозувати за заданими критеріями граничного стану.

Показники надійності невідновлюваних виробів

Об'єкт, для якого в даній ситуації проведення ремонту працездатного стану не передбачено в нормативно-технічній чи конструкторській документації чи не дозволяє відновити задані кількісні показники надійності називається ***невідновлюваним***. Такий об'єкт замінюється в цілому на новий чи інший справний, чим досягається відновлення працездатності складного об'єкта (функціональної системи) складовою частиною якого є даний об'єкт. Такий метод відновлення називається агрегатним.

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:

$$p(t) \approx \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \qquad (9)$$

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 (9) 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:

$$p(t)+q(t)=1 \qquad (10)$$

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

$$q(t)\approx\frac{n(t)}{N_0} \qquad (11)$$

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:

$$f(t)=\frac{dq(t)}{dt}=-\frac{dp(t)}{d(t)} \qquad (12)$$

З урахуванням виразу (11) маємо:

$$f(t)=\frac{dn(t)}{dt\cdot N_0}\approx\frac{\Delta n(t)}{\Delta t\cdot N_0} \qquad (13)$$

Вираз (13) 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:

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{p(t)} \qquad (14)$$

Підставивши в (14) вирази (9) і (13), маємо:

$$\lambda(t)=\frac{dn(t)}{dt\cdot N(t)} \qquad (15)$$

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:

$$\lambda(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N(t) \cdot \Delta t} = \frac{\Delta n(t)}{(N_0 - n(t)) \cdot \Delta t} \qquad (16)$$

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. 1. має три періоди.

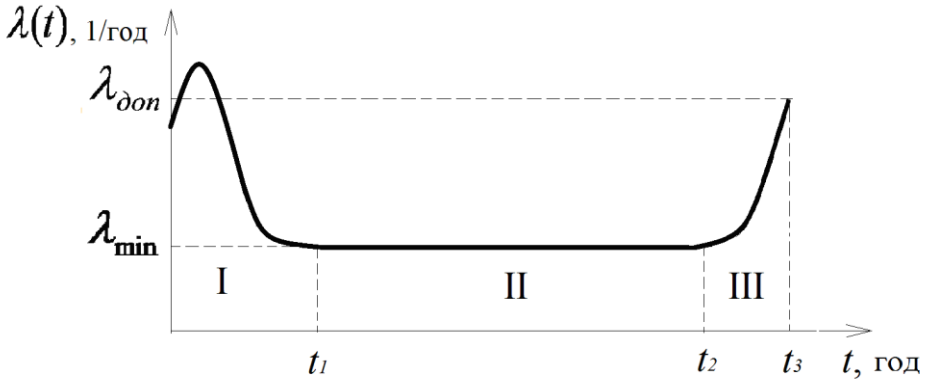

Рис. 1. Залежність інтенсивності відмов від часу

І 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 $\lambda_{\min}$. Приробіточ-

ні відмови можуть бути наслідком конструктивних, технологічних та експлуатаційних помилок.

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 $\lambda_{доп}$.

Ймовірність безвідмовної роботи та інтенсивність відмов пов'язані співвідношенням:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \qquad (17)$$

Для II періоду нормальної роботи виробу, коли $\lambda(t) = \lambda_0 = const$,

$$p(t) = e^{-\lambda t} \qquad (18)$$

Отримана залежність має назву **експоненціального закону надійності**.

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

$$t_{сер} = \int_0^\infty p(t)dt \qquad (19)$$

Якщо $p(t) = e^{-\lambda t}$, то вираз (19) має вигляд:

$$t_{сер} = \int_0^\infty e^{-\lambda t}dt = 1/\lambda. \qquad (20)$$

Тоді

$$p(t) = e^{-t/t_{сер}} \qquad (21)$$

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

$$t_{сер} = \sum_{i=1}^{N_0} \frac{t_i}{N_0} \qquad (22)$$

де t_i - час безперервної роботи і-го виробу.

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