

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія
Кафедра АВП

Методичні вказівки
До практичних робіт з дисципліни
«Наукова дослідна робота за темою магістерської роботи»
Для студентів спеціальності 151
„Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Затверджено
На засіданні методичної ради
Протокол № від _____ 2020

Краматорськ 2020

УДК 621.9

Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Наукова дослідна робота за темою магістерської роботи» для студентів технічних спеціальностей Укл. Г.П.Клименко. – Краматорськ : ДДМА –2020, 32 стор.

Методичні вказівки містять 5 робіт, об'єднаних загальною метою «Підвищення надійності технологічних систем». Вказівки містять теоретичний матеріал, задачі та приклади їх рішення.

Викладач Г.П.Клименко, професор

Відп. За випуск Г.П.Клименко

Зміст

1. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1 Визначення кількісних характеристик надійності виробу.
2. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2 Визначення кількісних характеристик надійності за статистичними даними про відмови виробу.
3. ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3 Послідовне з'єднання елементів в систему
4. ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ № 4 Розрахунок надійності системи з постійним резервуванням
5. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5 Резервування заміщенням в режимі полегшеного (теплого) резерву і в режимі ненавантаженого (холодного) резерву

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1

Визначення кількісних характеристик надійності виробу.

Теоретичні відомості

Випишемо формули, по яких визначатися кількісні характеристики надійності виробу

$$p(t) = \exp \left(- \int_0^t \gamma(t) dt \right) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (1.1)$$

$$q(t) = 1 - p(t) \quad (1.2)$$

$$f(t) = \frac{dq(t)}{dt} = - \frac{dp(t)}{dt} \quad (1.3)$$

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{p(t)} \quad (1.4)$$

$$m_t = \int_0^t p(t) dt \quad (1.5)$$

де $p(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи виробу на інтервалі часу від 0 до t ;

$q(t)$ – вірогідність відмови виробу на інтервалі часу від 0 до t ;

$f(t)$ – частота відмов виробу або щільність вірогідності часу безвідмовної роботи виробу T ;

$\gamma(t)$ – інтенсивність відмов виробу;

m_t – середній час безвідмовної роботи виробу.

Формули (1.1) – (1.5) для експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи виробу наберуть вигляду

$$p(t) = e^{-\gamma t} \quad (1.6)$$

$$q(t) = 1 - e^{-\gamma t} \quad (1.7)$$

$$f(t) = \gamma \cdot e^{-\gamma t} \quad (1.8)$$

$$\gamma(t) = \frac{\gamma \cdot e^{-\gamma t}}{e^{-\gamma t}} = \gamma \quad (1.9)$$

Формули (1.1) – (1.5) для експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи виробу наберуть вигляду

$$p(t) = 0.5 - \Phi(U) \quad U = \frac{t - m}{\sigma} \quad (1.10)$$

$$q(t) = 0.5 + \Phi(U) \quad \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-\frac{U^2}{2}} dU \quad (1.11)$$

$$f(t) = \frac{\varphi(U)}{\sigma_t} \qquad \Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{U^2}{2}} dU \qquad (1.12)$$

$$\gamma(t) = \frac{\varphi(U)}{\sigma_t} \cdot \frac{1}{0.5 - \Phi(U)} \qquad (1.13)$$

де $\Phi(U)$ – функція Лапласа, що має властивості

$$\Phi(U) = 0 \qquad (1.15)$$

$$\Phi(-U) = -\Phi(U) \qquad (1.16)$$

$$\Phi(\infty) = 0,5 \qquad (1.17)$$

Значення функції $\varphi(U)$ Лапласа

Тут m_T – середнє значення випадкової величини T ;

σ_t^2 – дисперсія випадкової величини T ;

T – час безвідмовної роботи;

Формули (1.1) – (1.5) для закону розподілу Вейбулла часу безвідмовної роботи виробу має вигляд

$$p(t) = e^{-at^k} \qquad (1.18)$$

$$q(t) = 1 - e^{-at^k} \qquad (1.19)$$

$$f(t) = akt^{k-1} \cdot p(t) \qquad (1.20)$$

$$m(t) = \frac{\frac{1}{k} \Gamma \cdot \left(\frac{1}{k}\right)}{a^{\frac{1}{k}}}$$

де a, k – параметри закону розподілу Вейбулла.

$\Gamma(x)$ – гамма-функція

Формули (1.1) – (1.5) для закону розподілу Релея часу безвідмовної роботи виробу має вигляд

$$f(t) = \frac{t^2}{2\sigma_t^2} \cdot \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2}\right) \qquad (1.25)$$

$$\gamma(t) = \frac{t^2}{2\sigma_t^2} \qquad (1.26)$$

$$m(t) = \sigma_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} \qquad (1.27)$$

де σ_t – міра розподілу випадкової величини T ;

T – час безвідмовної роботи виробу.

Завдання 1.1 Час роботи елемента повністю підпорядкований експериментальному закону розподілу з параметром $\gamma = 2,5 \cdot 10^{-5} 1/\text{година}$.

Необхідно вичислити кількісні характеристики надійності елемента $p(t)$, $q(t)$, $f(m)$, $m_t, t=1000$ час.

Рішення:

Використовуємо формули (1.6), (1.7), (1.8), (1.10), для $p(t), q(t), f(m), m_t$.

1. Вичислимо вірогідність безвідмовної роботи $p(t) = e^{-\gamma t} = e^{-0.0025} = 0,9753$

Отримаємо:

$$p(1000) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000} = e^{-0.0025} = 0,9753$$

2. Вичислимо вірогідність відмови $q(1000)$. Маємо

$$q(1000) = 1 - p(1000) = 0,0247$$

3. Вичислимо частоту відмов

$$f(t) = \gamma(t)p(t) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot t}$$

$$f(1000) = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000}$$

4. Вичислимо середній час безвідмовної роботи

$$m_t = \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{2,5 \cdot 10^{-5}} = 40000 \text{ годин}$$

Завдання 1.2. Час роботи елемента повністю підпорядкований нормальному закону з параметрами $m_t = 8000$ годин, $\sigma_t = 2000$ годин. Необхідно вичислити кількісні характеристики надійності $p(t), \gamma(t), f(m), m_t$, для $t = 1000$ годин.

Рішення:

Скористаємося формулами (1.11), (1.12), (1.13), (1.14) для $p(t), \gamma(t), f(m), m_t$.

1. Вичислимо вірогідність безвідмовної роботи

$$p(t) = 0.5 - \Phi(U)U = \frac{t - m_t}{\sigma_t}$$
$$U = \frac{10000 - 8000}{2000} = 1 \Phi(1) = 0,3413$$
$$P(10000) = 0,5 - 0,3413 = 0,1587$$

2. Визначимо частоту відмов $f(t)$

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_t} \cdot \exp \cdot \left[\frac{(t - m_t)^2}{2\sigma_t^2} \right]$$

Введемо позначення

$$\varphi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{U^2}{2}} \varphi(-U) = \varphi(U)$$

Тоді

$$f(t) = \frac{\varphi(U)}{\sigma_t}; U = \frac{(t - m_t)}{\sigma_t}$$
$$f(1000) = \frac{\varphi(1)}{2000} = \frac{0.242}{2000} = 12,1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/годин}$$

3. Розрахуємо інтенсивність безвідмовної роботи елемента

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{p(t)}$$
$$\gamma(10000) = \frac{f(10000)}{p(10000)} = 12,1 \cdot \frac{10^{-5}}{0.1587} = 76,4 \cdot 10^{-5} \text{ 1/годин}$$

4. Середній час безвідмовної роботи елемента $m_t = 8000$ годин

Завдання 1.3 Час роботи виробу повністю підкоряється закону розподілу Релея. Потрібно вичислити кількісні характеристики надійності виробу $p(t), \gamma(t), f(t), m_t, t = 1000$ година, якщо параметр розподілу $\sigma_t = 1000$ години

Рішення:

Скористаємося формулами (1.23), (1.25), (1.27), (1.26) для $p(t), \gamma(t), f(t), m_t$

1. Вичислимо вірогідність безвідмовної роботи $p(t)$

$$p(t) = \exp \left(-\frac{t^2}{2\sigma_t^2} \right)$$
$$p(1000) = \exp \left(-\frac{1000^2}{2 \cdot 1000^2} \right) = e^{-0.5} = 0,606$$

2. Визначимо частоту відмови $f(t)$

$$f(t) = \frac{t \cdot p(t)}{\sigma_t^2}$$

$$f(1000) = \frac{1000 \cdot 0.606}{1000^2} = 0,606 \cdot 10^{-3} \text{ 1/годин}$$

3. Розрахуємо інтенсивність відмов

$$\gamma(t) = \frac{t}{\sigma_t^2}$$

$$\gamma(t) = \frac{1000}{1000^2} = 10^{-3} \text{ 1/годин}$$

4. Визначити середній час безвідмовної роботи виробу

$$m_t = \sigma_t \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1000 \cdot 1,253 = 1253 \text{ годин}$$

Завдання 1.4. Час безвідмовної роботи виробу підкоряється закону Вейбулла з параметрами $k = 1,5$, $a = 10^{-4}$ 1/годин, а час роботи виробу $t = 100$ годин. Вимагається вичислити кількісні характеристики виробу $p(t), \gamma(t), f(t), m_t$

Рішення

1. Визначимо вірогідність безвідмовної роботи $p(t)$ по формулі (2.18)

2. Маємо

$$p(t) = \exp(-at^k)p(100) = \exp(10^{-4} \cdot 100^{1,5}); \quad x = 100^{1,5}$$

$$\lg x = 1,5 \lg 100 = 3; \quad x = 100; \quad p(100) = e^{-0,1} = 0,9048$$

3. Визначимо частоту відмов

$$\gamma(100) = \frac{f(100)}{p(100)} = 1,35 \cdot 10^{-3}$$

4. Визначимо середній час безвідмовної роботи виробу $m(t)$

$$m(t) = \frac{\frac{1}{k} \Gamma \cdot \left(\frac{1}{k}\right)}{a^{\frac{1}{k}}} = \frac{\frac{1}{1,5} \Gamma \cdot \left(\frac{1}{1,5}\right)}{10^{-4 \cdot \frac{1}{1,5}}} = \frac{0,666 \cdot \Gamma(0,666)}{10^{-2,666}}$$

Оскільки $z\Gamma(z) = \Gamma(z+1)$, то

$$m(t) = \frac{\Gamma(1,666)}{10^{-2,666}}$$

$$x = 10^{-2,666}; \quad \lg x = -2,666 \cdot \lg 10 = -2,666 = 3,333; \quad x = 0.00215$$

Використовуючи додатки П. 7.18 [1], отримаємо

$$m(t) = \frac{0,90167}{0,00215} = 426 \text{ годин}$$

Завдання 1.5В результаті аналізу даних про відмови апаратури частота відмов отримана у виді

$$f(t) = c_1 \gamma_1 e^{-\gamma_1 t}$$

Вимагається визначити кількісні характеристик надійності

Рішення:

1. Визначимо вірогідність безвідмовної роботи. На підставі формули (1.1) маємо

$$\begin{aligned} p(t) &= 1 - \int_0^t f(t) dt = \left[\int_0^t c_1 \gamma_1 e^{-\gamma_1 t} \cdot dt + \int_0^t c_2 \gamma_2 e^{-\gamma_2 t} \cdot dt \right] = 1 - c_1 e^{-\gamma_1 t} - c_2 e^{-\gamma_2 t} = \\ &= 1 - [-c_1 e^{-\gamma_1 t} + -c_1 - c_2 e^{-\gamma_2 t} + c_2] = 1 - (c_1 + c_2) + c_1 e^{-\gamma_1 t} + c_2 e^{-\gamma_2 t} \end{aligned}$$

Вичислимо суму $C_1 + C_2$

Оскільки $\int_0^\infty f(t) dt = 1$, тоді

$$\int_0^\infty c_1 \gamma_1 e^{-\gamma_1 t} \cdot dt + \int_0^\infty c_2 \gamma_2 e^{-\gamma_2 t} \cdot dt = c_1 + c_2$$

Тоді

$$p(t) = c_1 e^{-\gamma_1 t} + c_2 e^{-\gamma_2 t}$$

2. Знайдемо залежність інтенсивності відмов від часу по формулі

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{c_1 \gamma_1 e^{-\gamma_1 t} + c_2 \gamma_2 e^{-\gamma_2 t}}{c_1 e^{-\gamma_1 t} + c_2 e^{-\gamma_2 t}}$$

3. Визначимо середній час безвідмовної роботи апаратури. На підставі формули (1.5)

$$m(t) = \int_0^{\infty} p(t) dt = c_1 \int_0^{\infty} e^{-\gamma_1 t} dt + c_2 \int_0^{\infty} e^{-\gamma_2 t} dt = \frac{c_1}{\gamma_1} + \frac{c_2}{\gamma_2}$$

Завдання для самостійного вирішення.

Завдання 1.6. Вірогідність безвідмовної роботи автоматичної лінії виготовлення циліндрів автомобільного двигуна в течії 120 година рівна 0,9. Пропонується, що справедливий експоненціальний закон надійності. Вимагається розрахувати інтенсивність відмов і частоту відмов лінії для моменту часу $t = 120$ годину, а так само середній час безвідмовної роботи.

Завдання 1.7. Середній час безвідмовної роботи автоматичної системи управління дорівнює 640 годин. Передбачається, що справедливий експоненціальний закон надійності. Необхідно визначити вірогідність безвідмовної роботи на протязі 120 годин. Частоту відмов для моменту часу $t = 120$ годину і інтенсивність відмов.

Завдання 1.8. Час роботи виробу підпорядкований нормальному закону з параметрами m_t , для $t = 8000$ годин.

Завдання 1.9. Час безвідмовної роботи приладу підпорядкований закону Релея з параметром $\sigma_t = 1860$ годин. Необхідно вичислити $p(t), \gamma(t), f(t), m_t$, для $t = 1000$ година і середній час безвідмовної роботи приладу.

Завдання 1.10. Час справної роботи швидкохідних шарикопідшипників підпорядкований закону Вейбулла з параметрами $k = 2,6, a = 1,65 \cdot 10^{-7}$ 1/година.

Завдання 1.11. Вірогідність безвідмовної роботи виробу в течії $t = 1000$ години, $p(1000) = 0,95$. Час справною підпорядкований закону Релея. Вимагається визначити кількісні характеристики надійності $p(t), \gamma(t), m_t$.

Завдання 1.12. Середній час справної роботи виробу дорівнює 1260 годин. Час справної роботи підпорядкований закону Релея. Необхідно знайти його кількісні характеристики надійності виробу $p(t), \gamma(t), f(t), m_t$, для $t = 1000$ годин.

Завдання 1.13. В результаті аналізу даних про відмови виробу встановлено, що частота відмов має вигляд $f(t) = 2\gamma e^{-\gamma t}(1 - e^{-\gamma t})$. Необхідно знайти кількісні характеристики надійності $p(t), \gamma(t), m_t$.

Завдання 1.14. В результаті аналізу даних про відмови виробів встановлено, що вірогідність безвідмовної роботи виражається формулою $p(t) = 3e^{-\gamma t} - 3e^{-2\gamma t} + e^{-3\gamma t}$.

Завдання 1.15. Визначити вірогідність безвідмовної роботи і інтенсивність відмов приладу при $t = 1300$ годин роботи, якщо при випробуваннях отримано значення середнього часу безвідмовної роботи $m_t = 1500$ годин. І середнє квадратичне відхилення $\sigma_t = 100$ годин.

Визначення кількісних характеристик надійності
за статистичними даними про відмови виробу.

Теоретичні відомості

Ймовірність безвідмовної роботи за статистичними даними про відмови оцінюється виразом

$$P \cdot (t) = \frac{n(t)}{N} \quad (2.1)$$

где $n(t)$ – число виробів, які не відмовили до моменту часу t ;

N – число виробів, поставлених на випробування;

$P \cdot (t)$ – статистична оцінка ймовірності безвідмовної роботи виробу.

Для ймовірності відмови за статистичними даними справедливо співвідношення

$$q \cdot (t) = \frac{n - N(t)}{N} \quad (2.2)$$

где $n - N(t)$ – число виробів, які відмовили до моменту часу t ;

$q \cdot (t)$ – статистична оцінка ймовірності відмови виробу.

Частота відмов за статистичними даними про відмови визначається виразом

$$f \cdot (t) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} \quad (2.3)$$

где $\Delta n(t)$ – число відмовилих виробів на ділянці часу $(t, t - N \cdot \Delta t)$;

$f \cdot (t)$ – статистична оцінка частоти відмов виробу;

Δt – інтервал часу.

Інтенсивність відмов за статистичними даними про відмови визначається формулою

$$\lambda \cdot (t) = \frac{\Delta n(t)}{\Delta t \cdot n(t)} \quad (2.4)$$

где $n(t)$ – число виробів, які не відмовили до моменту часу t ;

$\Delta n(t)$ – число відмовили виробів на ділянці часу $(t, t+\Delta t)$;
 $\Delta t \cdot n(t)$ – статистична оцінка інтенсивності відмов виробів.

Середній час безвідмовної роботи виробу за статистичними даними оцінюється виразом

$$m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i \quad (2.5)$$

где t_i – час безвідмовної роботи i -го виробу;
 N – загальне число виробів, поставлених на випробування;
 m – статистична оцінка середнього часу безвідмовної роботи виробу.

Для визначення m_t по формуле (1.5) необхідно знати моменти виходу з ладу всіх N виробів.
 Можна визначити m_t з рівняння

$$m_t \approx \sum_{i=1}^m n_i t_{срi} \quad (2.6)$$

где n_i – кількість поламаних виробів в i -му інтервалі часу;
 $t_{срi} = \frac{t_{i-1} + t_i}{2}$; $m = t_k / \Delta t$; $\Delta t = t_{i+1} - t_i$; t_i – час початку i -го інтервалу;
 t_i – час кінця i -го інтервалу, t_k – час, протягом якого вийшли з ладу всі вироби;
 Δt – інтервал часу.

$$D_t = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (t_i - m_t)^2 \quad (2.7)$$

где D_t – статистична оцінка дисперсії часу безвідмовної роботи виробу.

Рішення типових задач

Завдання 2.1. Випробування поставлено 1000 однотипних електронних ламп, за 300 (Р) годину. Відмовило 80 ламп. Потрібно визначити $P(t)$, $q(t)$ при $t = 3000$ год.

Рішення. В данному випадку $N = 1000$; $n(t) = 1000 - 80 = 920$; $N - n(t) = 1000 - 920 = 80$. Тому лам (1.1) і (1.2) визначаємо

$$P(3000) = \frac{n(t)}{N} = \frac{920}{1000} = 0,92;$$

$$q(3000) = \frac{N - n(t)}{N} = \frac{80}{1000} = 0,08;$$

$$q(3000) = 1 - P(3000) = 1 - 0,92 = 0,08.$$

Завдання 2.2. На випробування було поставлено 1000 однотипних ламп. За перші 3000 год. відмовило 80 ламп, а за інтервал часу 3000 – 4000 год. Відмовило ще 50 ламп. Потрібно визначити статистичну оцінку частоти та інтенсивності відмов електронних ламп в проміжку часу 3000 – 4000 год.

Рішення. В данному випадку $N = 1000$; $t = 3000$ год; $\Delta t = 1000$ годину; $\Delta n(t) = 50$; $n(t) = 920$.

За формулами (1.3) і (1.4) знаходимо

$$f(t) = f \cdot (3000) = \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{50}{1000 \cdot 1000} = 5 \cdot 10^{-5} 1/\text{час};$$

$$\lambda(t) = \lambda \cdot (3000) = \frac{\Delta n(t)}{t \cdot n(t)} = \frac{100}{100 \cdot 200} = 5 \cdot 10^{-3} 1/\text{час};$$

Завдання 2.3. На випробування поставлено $N = 400$ виробі. За час $t = 3000$ год відмовило 200 виробів, тобто $n(t) = 400 - 200 = 200$. За інтервал часу $(t, t + \Delta t)$, де $\Delta t = 100$ годину, відмовило 100 виробів, т. Е. $\Delta n(t) = 100$. Потрібно визначити $P(3000)$, $P(3100)$, $\Gamma(3000)$, $X(3000)$.

Рішення по формулі (1.1)

$$P(3000) = \frac{n(t)}{N} = \frac{200}{400} = 0,5$$

$$P(3100) = \frac{n(t)}{N} = \frac{100}{400} = 0,25$$

Використовуючи формули (2.3) і (2.4), отримаємо

$$f(t) = f(3000) = \frac{\Delta n(t)}{N \Delta t} = \frac{100}{400 \cdot 100} = 2,5 \cdot 10^{-3} 1/\text{час}$$

$$\lambda(t) = \lambda(3000) = \frac{\Delta n(t)}{t n(t)} = \frac{100}{100 \cdot 200} = 5 \cdot 1/\text{час}$$

Завдання 2.4. На випробування поставлено 6 однотипних виробів. Отримані наступні значення t . (T – час безвідмовної роботи і – го виробу): $t_1 = 280$ годину; $t_2 = 350$ час; $t_3 = 400$ час; $t_4 = 320$ час; $t_5 = 380$ час; $t_6 = 330$ час. Визначити статистичну оцінку середнього часу безвідмовної роботи виробу.

Рішення, за формулою (1,5) маємо

$$m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{280 + 350 + 400 + 320 + 380 + 330}{6} = \frac{2060}{6} = 343,3 \text{ час.}$$

Завдання 2.5. За спостережуваній період експлуатації і апаратури було зафіксовано 7 відмов. Час відновлення складо:

$$t_1 = 12 \text{ хв}; t_2 = 23 \text{ мін}; t_3 = 15 \text{ хв}; t_4 = 9 \text{ мін}; t_5 = 17 \text{ мін}; t_6 = 28 \text{ мін}; t_7 = 25 \text{ хв}; t_8 = 31 \text{ хв.}$$

Потрібно визначити середній час відновлення апаратури.

Рішення

$$m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{12 + 23 + 15 + 9 + 17 + 28 + 25 + 31}{8} = \frac{160}{8} = 20 \text{ хв.}$$

Завдання 2.6. В результаті спостереження за 45 зразками радіоелектронного устаткування отримані дані до першої відмови всіх 45 зразків, відомості в табл. 1.1. Потрібно визначити m_t .

Таблиця 2.1

Δt_i , час	n_i	Δt_i , час	n_i	Δt_i , час	n_i
0...5	1	30...35	4	60...65	3
5...10	5	35...40	3	65...70	3
10...15	8	40...45	0	70...75	3
15...20	2	45...50	1	75...80	1
20...25	5	50...55	0	–	–
25...30	6	55...60	0	–	–

Рішення. В данному випадку

$$t_{cp1}=2,5; t_{cp2}=7,5; t_{cp3}=12,5; t_{cp4}=17,5; t_{cp5}=22,5; t_{cp6}=27,5; t_{cp7}=2,5; t_{cp8}=32,5; t_{cp9}=37,5; t_{cp10}=42,5; t_{cp11}=47,5; t_{cp12}=52,5; t_{cp13}=57,5; t_{cp14}=62,5; t_{cp15}=67,5; t_{cp16}=72,5; N=45; m=16.$$

Використовуючи формулу (2.6), отримаємо

$$m_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i = \frac{1 \cdot 2,5 + 5 \cdot 7,5 + 8 \cdot 12,5 + 2 \cdot 17,5 + 5 \cdot 22,5 + 6 \cdot 27,5 + 4 \cdot 32,5 + 3 \cdot 37,5 + 0 \cdot 42,5 + 1 \cdot 47,5 + 0 \cdot 52,5 + 0 \cdot 57,5 + 3 \cdot 62,5 + 3 \cdot 67,5 + 3 \cdot 72,5 + 1 \cdot 77,5}{45} = \frac{1427,5}{45} = 31,7 \text{ час}$$

Завдання для самостійного рішення

Завдання 2.7. На випробування поставлено 100 однотипних виробів. За 4000 год. відкачали 50 виробів. За інтервал часу 4000 – 4100 год. Відмовило ще 20 виробів. Потрібно визначити $f(t)$ і $\lambda(t)$. При $t = 4000$ год.

Завдання 2.8. На випробування поставлено 100 однотипних виробів. За 4000 год відмовило 50 виробів. Потрібно визначити $r(t)$ і $q(t)$ при $t = 4000$ час.

Завдання 2.9. Протягом 1000 год з 10 гіроскопів відмовило 2. За інтервал часу 1000 – 1100 год. відмовив ще один гіроскоп. Потрібно визначити $f(t)$ і $\lambda(t)$. при $t = 1000$ год.

Завдання 2.10. На випробування поставлено 1000 однотипних електронних ламп за перші 3000 год. відмовило 80 ламп. За інтервал часу 3000–4000 год. відмовило ще 50 ламп. Потрібно визначити $r(t)$ і $q(t)$ при $t = 4000$ год.

Завдання 2.11. На випробування поставлено 1000 Тип. За годину $t = 1300$ год. вийшло з ладу 288 шт. виробів. За наступний інтервал часу 1300–1400 год. вийшло з ладу ще 13 виробів. Необхідно обчислити $r(t)$ при $t = 1300$ час. і $t = 1400$ год.; $f(t)$ і $\lambda(t)$ при $t = 1300$ год.

Завдання 2.12. На випробування поставлено 45 виробів. За час $t = 60$ год. вийшло з ладу 35 штук виробів. За наступний інтервал часу 60–65 год. вийшло з ладу ще 3 вироби. Необхідно обчислити $r(t)$ при $t = 60$ час. і $t = 65$ год.; $f(t)$ і $\lambda(t)$ при $t = 60$ год.

Завдання 2.13. В результаті спостереження за 45 зразками радіоелектронного обладнання кіпройшли попередню 80-годинну приработку, отримані дані до першої відмови всіх 45 зразків, зведені в табл. 1.2. Необхідно визначити m

Δt_i , час	n_i	Δt_i , час	n_i	Δt_i , час	n_i
0...10	19	30...40	3	60...70	1
10...20	13	40...50	0	–	–
20...30	8	50...60	1	–	–

Завдання 2.15. За спостережуваний період експлуатації в апаратурі було зареєстровано 6 відмов. Час відновлення складо: $t_1=15$ хв.; $t_2=20$ хв, $t_3=10$ хв.; $t_4=28$ хв.; $t_5=22$ хв.; $t_6=30$ хв. Потрібно визначити середній час відновлення апаратури m .

Завдання 2.16. На випробування поставлено 1000 Тип. За час $t = 11000$ год. вийшло з ладу 410 виробів. Зв наступний інтервал часу 11000–12000 годину. вийшло з ладу ще 40 виробів. Необхідно обчислити $p(t)$ при $t = 11000$ год. і $t = 12000$ годину., а також $f(t)$ і $\lambda(t)$ при $t = 11000$ годину.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Послідовне з'єднання елементів в систему

Теоретичні відомості

З'єднання елементів називається послідовним, якщо відмова хоча б одного елемента призводить до відмови всієї системи. Система послідовно з'єднаних елементів працездатна тоді, коли працездатні всі її елементи.

Час безвідмовної роботи системи за час t визначається формулою

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (3.1)$$

де $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента за час t .

Якщо то, $P_1(t) = P^n(t)$

$$P_c(t) = P^n(t) \quad (3.2)$$

Висловимо $P_c(t)$ через інтенсивність відмов $\lambda_i(t)$ елементів системи.

Маємо:

$$P_c(t) = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt\right) \quad (3.3)$$

або

$$P_c(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda_c(t) dt\right) \quad (3.4)$$

де

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad (3.5)$$

Тут $\lambda_i(t)$ – інтенсивність відмов i -го елемента; $\lambda_c(t)$ – інтенсивність відмов системи. Імовірність відмови системи на інтервалі часу $(0, t)$ дорівнює

$$q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (3.6)$$

Частота відмов системи визначається співвідношенням $f_c(t)$

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} \quad (3.7)$$

Інтенсивність відмов системи

$$f_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} \quad (3.8)$$

Середній час безвідмовної роботи системи:

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt \quad (3.9)$$

Уразі експоненціального закону надійності всіх елементів системи маємо

$$\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}; \quad (3.10)$$

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_c; \quad (3.11)$$

$$P_i(t) = \exp(-\lambda t); \quad (3.12)$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda c t}; \quad (3.13)$$

$$f_c(t) = \lambda_c \cdot e^{-\lambda c t} \quad (3.14)$$

$$q_c(t) = 1 - e^{-\lambda c t}; \quad (3.15)$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}; \quad (3.16)$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_i}, \quad (3.17)$$

де m_{ti} – середній час безвідмовної роботи i -го елемента.

При розрахунку надійності систем часто доводиться перемножити ймовірності безвідмовної роботи окремих елементів розрахунку, зводити їх до рівня і витягувати коріння. При значеннях $P(t)$, близьких до одиниці, ці обчислення можна з достатньою для практики точністю виконувати за наступними наближеними формулами:

$$\begin{cases} P_1(t)P_2(t) \dots P_n(t) \sim 1 - \sum_{i=1}^n q_i(t) \\ P_1^n(t) = 1 - N_{q_i}(t), \\ \sqrt[n]{P_1(t)} = 1 - q_i(t)/n, \end{cases} \quad (3.18)$$

де $q_i(t)$ – ймовірність відмови i -го елемента.

Рішення типових задач

Завдання 3.1. Система складається з трьох пристроїв. Інтенсивність відмов електронного пристрою дорівнює $\lambda_1 = 0,16 \cdot 10^{-3} \text{ 1 / год} = \text{const}$. Інтенсивності відмов двох електромеханічних пристроїв лінійно залежать від часу і визначаються наступними формулами

$$\lambda_2 = 0,23 \cdot 10^{-4} t \text{ 1/час}, \lambda_3 = 0,06 \cdot 10^{-6} t^{2,6} \text{ 1 / час}$$

Необхідно розрахувати ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом 100 год.

Рішення. На підставі формули (3.3) маємо

$$\begin{aligned} P_c(t) &= \exp\left(-\sum_{i=1}^n \int_0^1 \lambda_i(t) dt\right) = \exp\left\{-\left[\int_0^1 \lambda_1 dt + \int_0^1 \lambda_2 dt + \int_0^1 \lambda_3 dt\right]\right\} = \\ &= \exp\left[-\left(\lambda_1 t + 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{t^2}{2} + 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{t^{3,6}}{3,6}\right)\right]. \end{aligned}$$

Для $t = 100$ год.

$$P_c(100) = \exp\left[-\left(0,16 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{100^2}{2} + 0,06 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{100^{3,6}}{3,6}\right)\right] \sim 0,33$$

Завдання 3.2. Система складається з трьох блоків, середній час безвідмовної роботи яких дорівнює: $m_{t1} = 160$ час, $m_{t2} = 320$ час, $m_{t3} = 600$ час. Для блоків справедливий експоненціальний закон надійності. Потрібно визначити середнє безвідмовної роботи системи.

Рішення. Скориставшись формулою (3.17) отримаємо

$$\lambda_1 = \frac{1}{m_1} = \frac{1}{160}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{m_2} = \frac{1}{320}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{m_3} = \frac{1}{600}$$

Тут λ_i – інтенсивність відмов i -го блоку. На підставі формули (3.11) маємо

$$\lambda_c = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \frac{1}{160} + \frac{1}{320} + \frac{1}{600} = 0,011 \text{ 1/час.}$$

Тут λ_c – інтенсивність відмов всієї системи.

На підставі формули (3.16) отримаємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,011} \sim 91 \text{ час.}$$

Завдання 3.3. Система складається з 12600 елементів, середня інтенсивність відмов яких $X_{cp} = 0,32 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / год.}$ Потрібно визначити $P_c(t)$, $q_c(t)$, $f_c(t)$, m_{tc} , для $t = 50 \text{ год.}$

Тут $P_c(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t ;

$q_c(t)$ – ймовірність відмови системи протягом часу t ;

$f_c(t)$ – частота відмов або щільність ймовірності часу t безвідмовної роботи системи;

m_{tc} – середній час безвідмовної роботи системи.

Рішення. Інтенсивність відмов системи за формулою (3.11) буде

$$\lambda_c = \lambda_{cp} \cdot n = 0,32 \cdot 10^{-6} \cdot 12600 = 4,032 \cdot 10^{-3} \text{ 1/час}$$

З (3.13) маємо

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t}$$

$$P_c(50) = e^{-4,032 \cdot 0,001 \cdot 50} \sim 0,82.$$

З (3.15) отримаємо

$$q_c(t) = e^{-\lambda_c t} = \lambda_c P_c(t), q_c(50) = 1 - P_c(50) \sim 0,18.$$

З (3.14) маємо

$$f_c(t) = e^{-\lambda_c t} = \lambda_c P_c(t), f_c(50) = 4,032 \cdot 10^{-3} \cdot 0,82 = 3,28 \cdot 10^{-3} \text{ 1 / час.}$$

З (3.16) отримаємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{4,032 \cdot 10^{-3}} \sim 250 \text{ час}$$

Завдання 3.4. Система складається з двох пристроїв. Ймовірності безвідмовної роботи кожного з них протягом $t = 100$ год рівні: $P_1(100) = 0,95$; $P_2(100) = 0,97$. Справедливий експонентний закон надійності. Необхідно знайти середній час безвідмовної роботи системи.

Рішення. Знайдемо ймовірність безвідмовної роботи виробу.

$$P_c(100) = P_1(100) \cdot P_2(100) = 0,95 \cdot 0,97 = 0,92.$$

Знайдемо інтенсивність відмов виробу, скориставшись формулою

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t}$$

або

$$P_c(100) = 0,92 = e^{-\lambda_c \cdot 100}$$

Потаблиці П.7.14 маємо

$$\lambda_c \cdot 100 = 0,083 \text{ или } \lambda_c = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ 1/час}$$

тоді

$$m_{tc} = 1/\lambda_c = 1/(0,83 \cdot 10^{-3}) = 1200 \text{ час.}$$

Завдання 3.5. Ймовірність безвідмовної роботи одного елемента протягом часу t дорівнює $P(t) = 0,9997$. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи, що складається з $n = 100$ таких же елементів.

Рішення. Ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнює $P_c(t) = P^n(t) = (0,9997)^{100}$. Ймовірність $P_c(t)$ близька до одиниці, тому для її обчислення скористаємося формулою (3.18). В нашому випадку $q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,9997 = 0,0003$. Тоді $P_c(t) \sim 1 - q(t) = 1 - 100 \cdot 0,0003 = 0,97$.

Завдання 3.6 Імовірність безвідмовної роботи системи протягом часу t дорівнює $P_c(t) = 0,95$. Система складається з $n = 120$ рівнонадійних елементів. Необхідно знайти ймовірність безвідмовної роботи елемента.

Рішення. Очевидно, що ймовірність безвідмовної роботи елемента буде

$$P_1(t) = \sqrt[n]{P_c(t)} \sim 1 - \frac{q_c(t)}{n} = 1 - \frac{0,05}{120} = 0,9996$$

Завдання 3.7. Система складається з 12600 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0,32 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи протягом $t = 50$ год.

$$\lambda_{cp}(t) = \lambda_{cp} \cdot n = 0,32 \cdot 10^{-6} \cdot 12600 = 4,032 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$$

Тоді на підставі (3.13)

$$P_c(t) = e^{-\lambda_{cp} t}$$

$$P_c(50) = e^{-4,032 \cdot 10^{-3} \cdot 50} \sim 0,82.$$

Завдання для самостійного рішення

Завдання 3.8. Апаратура зв'язку складається з 2000 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0,33 \cdot 10^{-5} \text{ 1 / год}$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи апаратури протягом $t = 200$ год і середній час безвідмовної роботи апаратури.

Завдання 3.9. Невідновлюваних в процесі роботи електронна машина складається з 200000 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / год}$. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної машини протягом $t = 24$ години і середній час безвідмовної роботи електронної машини.

Завдання 3.10. Система управління складається з 6000 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda_{cp} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / год}$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи апаратури протягом $t = 50$ год і середній час безвідмовної роботи.

Завдання 3.11. Прилад складається з $n = 5$ вузлів. Надійність вузлів характеризується ймовірністю безвідмовної роботи протягом t , яка дорівнює: $P_1(t) = 0,98$; $P_2(t) = 0,99$; $P_3(t) = 0,998$; $P_4(t) = 0,975$; $P_5(t) = 0,985$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи приладу.

Завдання 3.12 Система складається з п'яти приладів, середня час безвідмовної роботи яких дорівнює: $t_1 = 83$ час; $t_2 = 220$ час; $t_3 = 280$ час; $t_4 = 400$ час; $t_5 = 700$ час. Потрібно знайти середній час безвідмовної роботи системи.

Завдання 3.13. . Прилад складається з п'яти приладів. Ймовірністю безвідмовної роботи кожного блоку протягом $t = 50$ год дорівнює: $P_1(50) = 0,98$; $P_2(50) = 0,99$; $P_3(50) = 0,998$; $P_4(50) = 0,975$; $P_5(50) = 0,985$. Справедливий експонентний закон надійності. Потрібно знайти середній час безвідмовної роботи приладу.

ПРАКТИЧНЕ ЗАВДАННЯ №4

Розрахунок надійності системи з постійним резервуванням

Теоретичні відомості

При постійному резервуванні резервні елементи 1,2, з'єднані паралельно з основним (робочим) елементом на протязі всього періоду роботи системи. Всі елементи з'єднані постійно, перестройка схеми при відмовах не відбувається, відмовивший елемент не відключається.

Вірогідність відмови системи $q_c(t)$ знаходиться за формулою:

$$q_c = \prod_{j=0}^m q_j(t), \quad (4.1)$$

де $q_c(t)$ – вірогідність відмови j – го елементу.

Вірогідність безвідмовної роботи системи:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=0}^m [1 - P_j(t)], \quad (4.2)$$

де $P_j(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи j – го елементу.

Якщо $P_j(t) = P(t), j = 0.1, \dots, m$, то

$$\begin{cases} q_c(t) = q^{m+1}(t); \\ P_c(t) = 1 - [1 - P(t)]^{m+1}; \end{cases} \quad (4.3)$$

При експонентному законі надійності окремих елементів маємо:

$$\begin{cases} P_j(t) = P(t) = e^{-\lambda}; \\ q_c(t) = (1 - e^{-\lambda})^{n+2}; \\ P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda})^{n+1}; \\ m_k = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^n \frac{1}{1+i}; \end{cases} \quad (4.4)$$

Резервування називається загальним, якщо резервуються вся система, що складається з послідовно з'єднаних елементів. Схема загального резервування представлена на малюнку 4.2. Основний ланцюг містить елементів. Число резервних ланцюгів дорівнює m , тобто кратність резервування дорівнює m .

Знайдемо кількісні характеристики надійності системи з загальним резервуванням (резервні ланцюги ввімкнені постійно)

Запишемо вірогідність безвідмовної роботи j – го ланцюга

$$P_j(t) = \prod_{i=1}^n P_{ij}(t); j = 0, 1, \dots, m; \quad (4.5)$$

де $P_{ij}(t); j = 0, 1, \dots, m; i = 1, 2, 3, \dots, n$ – вірогідність безвідмовної роботи елемента Ξ_j .

Вірогідність відмови j – го ланцюга

$$q_c = 1 - \prod_{i=0}^n P_{ij}(t) \quad (4.6)$$

Вірогідність відмови системи з загальним резервуванням

$$q_c = \prod_{j=0}^m \left[1 - \prod_{i=1}^n P_{ij}(t) \right]; \quad (4.7)$$

Вірогідність безвідмовної роботи системи з загальним резервуванням

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=0}^m \left[1 - \prod_{i=1}^n P_{ij}(t) \right]; \quad (4.8)$$

Окремий випадок: основний та резервний ланцюги мають однакову надійність, тобто

$$P_{ij}(t) = P_i(t); \quad (4.9)$$

Тоді

$$q_c = \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}; \quad (4.10)$$

$$P_c(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}; \quad (4.11)$$

Розглянемо експонентний закон надійності, тобто

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}; \quad (4.12)$$

В цьому випадку формули (5.10) и (5.11) приймуть вигляд

$$q_c(t) = (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}; \quad (4.13)$$

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}; \quad (4.14)$$

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad (4.15)$$

де λ_0 – інтенсивність відмов ланцюга, що складеться з n елементів.

Частота відмов системи з загальним резервуванням

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = \lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_0 t})^m; \quad (4.16)$$

Інтенсивність відмов системи з загальним резервуванням

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{p_c(t)} = \frac{\lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_0 t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}}; \quad (4.17)$$

Середній час роботи резервованої системи

$$m_{tc} = T_0 \sum_{j=0}^m \frac{1}{1+j}; \quad (4.18)$$

$T_0 = 1/\lambda_0$ – середній час безвідмовної роботи незарезервованої системи.

Рішення типових задач

Задача 4.1. Система складається з 10 рівно надійних компонентів, середній час безвідмовної роботи елементу $m_i = 1000$ год. Передбачається, що дійсний експонентний закон для елементів системи та основна і резервна системи рівноважні. Необхідно знайти середній час безвідмовної роботи системи m_{tc} , а також частоту відмов $f_c(t)$ і частоту відмов $\lambda_c(t)$ в момент часу $t=50$ год. В наступних випадках:

а) незарезервованої системи

б) при дублюванні системи з постійно ввімкненому резерві

Рішення

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

де, λ_c – інтенсивність відмов системи; λ_i – інтенсивність відмови i – го елементу; $n=10$.

$$\lambda_i = \frac{1}{m_{ti}} = \frac{1}{1000} = 0.001; i = 1, 2, \dots, n; \lambda = \lambda_i;$$

$$\lambda_c = \lambda_n = 0.001 \cdot 10 = 0.01 \frac{1}{\text{год.}}$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = 100 \text{ год.};$$

$$f_c(t) = \lambda_c(t)P_c(t)$$

$$\lambda_c(50) = \lambda_c; P_i(t) = e^{-\lambda_c t};$$

$$\lambda_c(50) = \lambda_c e^{-\lambda_c t} = 0.01 \cdot e^{-0.01 \cdot 50} \approx 6 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год.}};$$

$$\lambda_c(50) = 0.01 \frac{1}{\text{год.}}$$

$$\text{б) } m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} \sum_{j=0}^m \frac{1}{1+j}; m = 1; m_{tc} = \frac{1}{0.01} \left(1 + \frac{1}{2}\right) = 150 \text{ год.};$$

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}; \quad \lambda_0 = \lambda_c = 0.01 \frac{1}{\text{год.}};$$

$$p_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_c t})^2 = 2\lambda_0 e^{-\lambda_0 t} - e^{-2\lambda_0 t}$$

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = 2\lambda_0 e^{-\lambda_0 t} \cdot (1 - e^{-\lambda_0 t});$$

$$f_c(50) \approx 4.8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год.}}; \quad \lambda_c(50) \approx 5.7 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год.}}$$

Задача 4.2. В системі телеуправління застосовано дублювання каналу управління. Інтенсивність відмови каналу $\lambda = 10^{-2} \frac{1}{\text{год}}$. Розрахувати вірогідність безвідмовної роботи системи $P_c(t)$ при $t=10$ год., середній час безвідмовної роботи m_{tc} , частоту відмов $f_c(t)$, інтенсивність відмов $\lambda_c(50)$ системи.

Рішення. В даному випадку $n = 1$; $\lambda_i = \lambda$; $\lambda_0 = n\lambda$; $m = 1$. Згідно формули (4.14) маємо

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2;$$

$$P_c(50) = 1 - (1 - e^{-0.1})^2;$$

З додатку П.7.14 [1] маємо

$$e^{-0.1} = 0.9048.$$

Тоді

$$P_c(10) = 1 - (1 - 0.9048)^2 = 1 - 0.0952^2 \approx 1 - 0.01 = 0.99$$

Знайдемо m_{tc} . З формули (4.4) маємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^1 \frac{1}{1+i} = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2}\right) = 150 \text{ год.}$$

Знайдемо частоту відмов $f_c(t)$. Отримаєм

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = 2\lambda e^{-\lambda t} \cdot (1 - e^{-\lambda t})$$

Знайшовши інтенсивність відмов, маємо $\lambda_c(t)$. Маємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{2\lambda e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda t})}{e^{-\lambda t}(2 - e^{-\lambda t})} = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}}.$$

Задача 4.3 Незарезервована система складається з $n=5000$ елементів. Для підвищення надійності системи передбачається провести загальне дублювання елементів. Щоб приблизно оцінити можливість досягнення заданої вірогідності безвідмовної роботи системи $P_c(t) = 0.9$ при $t = 10$ год., необхідно розрахувати середню вірогідність відмов одного експерименту при допущенні відсутності наслідків відмови.

Рішення. Вірогідність безвідмовної роботи системи при загальному дублюванні та рівно надійних елементах дорівнює

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2$$

або

$$P_c(t) = 1 - [1 - p^n(t)]^2$$

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

Тут $P_c(t)$ – вірогідність безвідмовної роботи одного елемента.

Так, як повинно бути

$$1 - [1 - p^n(t)]^2 \geq 0.9,$$

то

$$p(t) \geq (1 - \sqrt{0.1})^{\frac{1}{n}}.$$

Розклавши $(1 - \sqrt{0.1})^{\frac{1}{n}}$ по ступені $1/n$ в ряд, нехтуючи членами рядка вищого порядку малості, отримаємо

$$(1 - \sqrt{0.1})^{\frac{1}{5000}} \approx 1 - \frac{1}{5000} \sqrt{0.1} = 1 - 6.32 \cdot 10^{-5}$$

Враховуючи, що $P(t) = \exp(-\lambda t) \approx 1 - \lambda t$, отримаємо

$$1 - \lambda t \geq 1 - 6.32 \cdot 10^{-5}$$

або

$$\lambda \leq \frac{6.32 \cdot 10^{-5}}{t} = \frac{6.32 \cdot 10^{-5}}{10} = 6.32 \cdot \frac{10^{-6}}{\text{год}}.$$

Задачі для самостійного рішення.

Задача 4.4. Приймач складається з трьох блоків: УВЧ, УПЧ, УНЧ. Інтенсивність відмов блоків відповідно дорівнює: $\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{год}}$; $\lambda_2 = 2.5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{год}}$; $\lambda_3 = 3 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{год}}$. Необхідно розрахувати вірогідність безвідмовної роботи приймача при $t=100$ год. Для наступних випадків:

а) резерв відсутній, б) є загальне дублювання приймача в цілому.

Задача 4.5. Для зображення на малюнку 4.3 логічної схеми системи знайти $P_c(t)$.

Задача 4.6. В радіопередачі, котрий складеться з трьох рівно надійних каскадів ($n=3$) застосовано загальне постійне дублювання всього радіопередавача. Інтенсивність відмов каскаду дорівнює $\lambda = 5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{год}}$. Знайти $P_c(t)$, $m_{тс}$, $f_c(t)$, $\lambda_c(t)$ радіопередавача с дублюванням.

Задача 4.7. Для малюнку 4.4 логічної схеми системи знайти інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$. Тут резерв навантажений, відмови не залежні одна від одної.

Задача 4.8. Радіоелектронна апаратура складається з трьох блоків 1,2,3. Вірогідність відмови цих блоків відповідно дорівнює $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$. Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи апаратури $P_c(t)$ для наступних випадків:

а) резерв відсутній;

б) є дублювання радіоелектронної апаратури в загалом.

Задача 4.9. Схема розрахунку надійності виробу показана на малюнку 4.5. Передбачається, що з справедливим експонентний закон надійності для елементів виробу. Інтенсивність відмов елементу дорівнюють $\lambda_1 = 0.3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$, $\lambda_2 = 0.7 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$. Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи виробу протягом $t = 100$ год., середній час безвідмовної роботи виробу, частоту та інтенсивність відмов в момент часу $t = 100$ год.

Задача 4.10. В телевізійному каналі зв'язку, що складається з передатчика та приймача, застосоване загальне дублювання. Передатчик та приймач мають інтенсивність відмов $\lambda_n = 2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$, $\lambda_{np} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{год}}$ відповідно. Схема каналу представлена на малюнку 4.6. Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи каналу $P_c(t)$, середній час безвідмовної роботи m_{tc} , частоту відмов $f_c(t)$, інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$.

Задача 4.11. Схема розрахунку надійності приладу приведена на малюнку 4.7. Передбачається, що з справедливим експонентний закон надійності для елементів виробу. Необхідно знайти інтенсивність відмов приладу, якщо інтенсивність відмов елементу дорівнюють λ_1, λ_2 .

Задача 4.12. Незарезервована система управління складається з $n = 4000$ елементів. Відома необхідна вірогідність безвідмовної роботи системи $P_c(t) = 0.9$, при $t = 100$. Необхідно знайти допустиму середню інтенсивність відмови одного елементу, вважати елементи рівно надійними, для того щоб приблизно оцінити можливість досягнення заданої вірогідності безвідмовної роботи при відсутності профілактичних оглядів в наступних випадках:

а) резервування відсутнє;

б) є загальне дублювання;

Задача 4.13. Прилад обробки складається з 3 однакових блоків. Вірогідність безвідмовної роботи приладу $P_y(t_i)$ на протязі $(0, t_i)$ повинна бути не менше 0.9. Знайти якою повинна бути безвідмовна робота кожного блоку на протязі $(0, t_i)$ для випадків:

а) резервування відсутнє;

б) є пасивне загальне резервування з незмінним навантаженням всього виробу в загалі;

в) мається пасивне роздільне резервування з незмінним навантаженням блоків.

Задача 4.14. Обчислювач складається з двох блоків, з'єднаних послідовно, що характеризується відповідно інтенсивністю відмов $\lambda_1 = 120.54 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$, $\lambda_2 = 185.66 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{год}}$. Застосовано пасивне загальне резервування з незмінним навантаженням всієї системи (блока 1 та 2) (див. малюнок. 4.8). Необхідно знайти вірогідність безвідмовної роботи $P_c(t)$ обчислювача, середній час безвідмовної роботи m_{tc} , частоту відмов $f_c(t)$ та інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ обчислювача. Знайти $P_c(t)$ при $t = 20$ год.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

Резервування заміщенням в режимі полегшеного (теплого) резерву і в режимі ненавантаженого (холодного) резерву

Теоретичні відомості

В цьому випадку резервні елементи знаходяться в полегшеному режимі до моменту їх включення в роботу. Надійність резервного елемента в цьому випадку вище надійності основного елемента, так як резервні елементи знаходяться в режимі недовантаження до моменту їх включення в роботу.

Імовірність відмови резервованої системи з полегшеним резервуванням визначається співвідношенням

$$q_c(t) = 1 - e^{-\lambda_0(t)} \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i \right], \quad (5.1)$$

де

$$a_i = \prod_{j=0}^{i-1} \left(j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right), \quad (5.2)$$

Тут λ_1 – інтенсивність відмови резервного елемента в режимі недовантаження до моменту включення його в роботу;

λ_0 – інтенсивність відмови резервного елемента в стані роботи;

m – кратність резервування або кількість резервних елементів.

Імовірність безвідмовної роботи системи з полегшеним резервуванням визначається формулою

$$P_c(t) = 1 - q_c(t) = e^{-\lambda_0(t)} \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i \right] \quad (5.3)$$

Визначимо середній час безвідмовної роботи з полегшеним резервуванням. маємо

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1 + iK}, \quad (5.4)$$

де

$$K = \frac{\lambda_1}{\lambda_0}. \quad (5.5)$$

Визначимо частоту відмов $f_c(t)$ системи з полегшеним резервуванням. Маємо

$$f_c(t) = \lambda_0 e^{-\lambda_0(t)} \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i - \frac{\lambda_1}{\lambda_0} e^{-\lambda_1(t)} \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{(i-1)!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^{i-1} \right] \quad (5.6)$$

Визначимо інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ системи з полегшеним резервуванням. отримаємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \lambda_0 \left[1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_0} e^{-\lambda_1(t)} \frac{\sum_{i=1}^m \frac{a_i}{(i-1)!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^{i-1}}{\sum_{i=1}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i} \right] \quad (5.7)$$

При $\lambda_1 = 0$ маємо режим недовантажених (холодного) резерву. Імовірність відмови резервованої системи з недовантаженим резервуванням визначається співвідношенням

$$q_c(t) = 1 - e^{-\lambda_1(t)} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} \quad (5.8)$$

Імовірність безвідмовної роботи системи з недовантаженим резервом визначається за формулою

$$P_c(t) = 1 - q_c(t) = e^{-\lambda_0(t)} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} \quad (5.9)$$

Визначимо середній час безвідмовної роботи системи з невантаженим резервом. маємо

$$m_{tc} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt = \frac{m+1}{\lambda_0} \quad (5.10)$$

Визначимо частоту відмов $f_c(t)$ системи з невантаженим резервом. маємо

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = \frac{\lambda_0^{m+1}}{m!} t^m e^{-\lambda_0(t)} \quad (5.11)$$

Визначимо інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ системи з невантаженим резервом. отримаємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{\lambda_0^{m+1} t^m}{m! \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}} \quad (5.12)$$

Завдання 5.1. Система складається з 10 рівнонадійних елементів, середній час безвідмовної роботи елемента $m_t = 1000$ годин. Передбачається, що справедливий експонентний закон надійності для елементів системи і основна і резервна системи рівнонадійні. Необхідно знайти ймовірність роботи системи $P_c(t)$. Середній час безвідмовної роботи системи m_{tc} , а також частоту $f_c(t)$ відмов і інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ в момент часу $t = 50$ годин в наступних випадках:

а) нерезервованої системи;

б) дубльованої системи при включенні резерву за способом заміщення (ненавантажений резерв).

Рішення.

$$а) \lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

де λ_c – інтенсивність відмов системи, λ_i – інтенсивність відмов i -го елемента; $n = 10$.

$$\lambda_i = \frac{1}{m_t} = \frac{1}{1000} = 0,001; i = \overline{1, n}; \lambda = \lambda_i;$$

$$\lambda_c = \lambda_n = 0,001 \cdot 10 = 0,01 \text{ 1/час};$$

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_c} = 100 \text{ час}; P_c(t) = e^{-\lambda_0 t};$$

$$f_c(t) = \lambda_c(t) \cdot P_c(t); \lambda_c(50) = \lambda_c;$$

$$f_c(50) = 0,01 \text{ 1/час.}$$

$$б) m_{tc} = \frac{m+1}{\lambda_c}; m = 1;$$

$$m_{tc} = \frac{2}{0,01} = 200 \text{ час.}$$

Визначаємо $P_c(t)$ за формулою

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0(t)} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0(t)} (1 + \lambda_0(t));$$

Так як $\lambda_0 = \lambda_c$, то

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c(t)} (1 + \lambda_0(t)).$$

Визначаємо $f_c(t)$. Маємо

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = -[-\lambda_c^{-\lambda_c(t)} (1 + -\lambda_c(t) + \lambda_c^{-\lambda_c(t)})] = \lambda_c^2 t e^{-\lambda_c(t)}.$$

Визначаємо $\lambda_c(t)$. Отримуємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{\lambda_c^2 t^m e^{-\lambda_c(t)}}{e^{-\lambda_c(t)}(1 + \lambda_c(t))} = \frac{\lambda_c^2 t}{1 + \lambda_c(t)}.$$

Визначаємо $P_c(50)$, $f_c(50)$, $\lambda_c(50)$, маємо

$$P_c(50) = e^{-0,01 \cdot 50} (1 + 0,01 \cdot 50) = e^{-0,5} \cdot 1,5 = 0,6065 \cdot 1,5 \approx 0,91;$$

$$f_c(50) = 0,01^2 \cdot 50 \cdot e^{-0,01 \cdot 50} = 0,01 \cdot 0,5 \cdot e^{0,5} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/час};$$

$$\lambda_c(50) = \frac{f_c(50)}{P_c(50)} = \frac{3 \cdot 10^{-3}}{0,91} \approx 3,3 \cdot 10^{-3} \text{ 1/час}.$$

Завдання 5.2. Радіопередавач має інтенсивність відмов $\lambda_0 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ 1 / год}$. Його дублює такий же передавач, що знаходиться до відмови основного передавача в режимі очікування (в режимі полегшеного резерву). В цьому режимі інтенсивність відмов передавача $\lambda_1 = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ 1 / год}$. Потрібно обчислити вірогідність безвідмовної роботи передавальної системи протягом часу $t = 100$ годин, а також середній час безвідмовної роботи t_{tc} , частоту відмов $f_c(t)$ і інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$.

Рішення. В даному випадку кратність резервування $m = 1$. Використовуючи формулу (5.3), отримаємо

$$P_c(t) = 1 - q_c(t) = e^{-\lambda_c(t)} \left[1 + \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{i!} (1 - e^{-\lambda_1(t)})^i \right];$$

$$a_i = \prod_{j=0}^{i-1} \left(j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right); \quad a_1 = \prod_{j=0}^0 \left(j + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \right) = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}.$$

тоді

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c(t)} \left[1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1} e^{-\lambda_1(t)} \right] \quad (5.13)$$

З (5.13) маємо

$$\begin{aligned} P_c(100) &= e^{-0,4 \cdot 10^{-3} \cdot 100} \left[1 + \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{0,06 \cdot 10^{-3}} - \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{0,06 \cdot 10^{-3}} e^{-0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 100} \right] = \\ &= e^{-0,04} \left[1 + \frac{40}{6} - \frac{40}{6} e^{-0,006} \right] \approx 0,96 [1 + 6,67 - 6,67(1 - 0,006)] \approx 0,998. \end{aligned}$$

Визначимо m_{tc} по формулі (5.4). Отримаємо

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^1 \frac{1}{1 + i \frac{\lambda_1}{\lambda_0}} = \frac{1}{\lambda_0} \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_0}} \right) = \frac{1}{\lambda_0} \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1 + \lambda_0} \right) =$$

$$= \frac{1}{0,4 \cdot 10^{-3}} \left(1 + \frac{0,4 \cdot 10^{-3}}{0,46 \cdot 10^{-3}} \right) = 4668 \text{ час.}$$

Визначимо $f_c(t)$. Маємо

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = -\left[-\lambda_0 e^{-\lambda_1(t)} \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1} e^{-\lambda_1(t)} \right) + e^{-\lambda_0(t)} \lambda_0 e^{-\lambda_0(t)} \right] =$$

$$= -\lambda_0 e^{-\lambda_1(t)} - \left(1 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1} - \frac{\lambda_0}{\lambda_1} e^{-\lambda_1(t)} - e^{-\lambda_1(t)} \right) = \lambda_0 \frac{\lambda_1 + \lambda_0}{\lambda_1} e^{-\lambda_1(t)} (1 - e^{-\lambda_1(t)}).$$

Припишемо (5.13) у вигляді

$$P_c(t) = \frac{\lambda_1 + \lambda_0}{\lambda_1} e^{-\lambda_1(t)} \left[1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1 + \lambda_0} e^{-\lambda_1(t)} \right].$$

Визначимо $\lambda_c(t)$. Отримаємо

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{\lambda_0 (1 - e^{-\lambda_1(t)})}{1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1 + \lambda_0} e^{-\lambda_1(t)}}.$$

Завдання

5.3.

Імовірність безвідмовної роботи перетворювача постійного струму в змінний протягом часу $t = 1000$ годин, дорівнює $0,95$, тобто $P(1000) = 0,95$. Для підвищення надійності системи електропостачання на об'єкті є такий же перетворювач, який включається в роботу при відмові першого (режим ненавантаженого резерву). Потрібно розрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи, що складаються з двох перетворювачів, а також визначити частоту відмов $f_c(t)$ і інтенсивність відмов $\lambda_c(t)$ системи.

Рішення. В даному випадку кратність резервування $m = 1$. Використовуючи формулу (5.9), отримаємо

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0(t)} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0(t)} (1 + \lambda_0(t)) \quad (5.14)$$

Так як для окремого перетворювача має місце експонентний закон надійності, то

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t}$$

Де $P(t)$ ймовірність безвідмовної роботи перетворювача; λ_0 – інтенсивність відмов перетворювача в стані роботи.

З (5.15) маємо

$$P(1000) = e^{-\lambda_0 \cdot 1000} = 0,95.$$

З додатку П. 7.14 [1] отримаємо

$$\lambda_0 \cdot 1000 = 0,051.$$

звідки

$$\lambda_0 = \frac{0,051}{1000} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Тоді з (5.14), маємо

$$P_c(1000) = 0,95(1 + 0,05) = 0,9975.$$

Визначимо m_{tc} по формулі (5.10). Одержимо

$$m_{tc} = \frac{m + 1}{\lambda_0} = \frac{2}{\lambda_0} = \frac{2}{0,5 \cdot 10^{-4}} = 40000 \text{ год.}$$

Відзначимо, що середній час безвідмовної роботи нерезервованої перетворювача дорівнює

$$m_{tc} = \frac{1}{\lambda_0} = 20000 \text{ год.}$$

Визначимо частоту відмов $f_c(t)$ за формулою (5.11). Маємо

$$f_c(t) = \frac{\lambda_0^2}{1!} t e^{-\lambda_0(t)}$$

Визначимо $\lambda_{c(t)}$. Отримаємо

$$\lambda_{c(t)} = \frac{f_c(t)}{p_c(t)} = \frac{\lambda_0^2 t e^{-\lambda_0(t)}}{e^{-\lambda_0(t)}(1 + \lambda_0(t))} = \frac{\lambda_0^2 t}{1 + \lambda_0(t)}$$

Завдання для самостійного рішення.

Завдання 5.4. Система складається з двох однакових елементів. Для підвищення її надійності конструктор запропонував дублювання системи за способом заміщення з ненавантаженим станом резерву (рис.5.1) Інтенсивність відмов елементу дорівнює λ . Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи $p_c(t)$, інтенсивність відмов $\lambda_{c(t)}$.

Завдання 5.5. Схема розрахунку надійності виробу приведена на рис.5.2. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи $p_c(t)$, частоту відмов $f_c(t)$, інтенсивність відмов $\lambda_{c(t)}$ изделия. Знайти $\lambda_{c(t)}$ при $t = 0$.

Завдання 5.6. Схема розрахунку надійності системи наведена на рис.5.3., Де А, Б, В, Г блоки системи. Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи $p_c(t)$

Завдання 5.7. Схема розрахунку надійності системи наведена на рис.5.4. Определіть ймовірність безвідмовної роботи $p_c(t)$ системи.

Завдання 5.8. Передаючий пристрій складається з одного працюючого передавача ($\lambda = 8 \cdot 10^{-3}$ 1/час) і одного передавача в полегшеному резерві ($\lambda_0 = 8 \cdot 10^{-4}$ 1 / год.). Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи пристрою $p_c(t)$, середній час безвідмовної роботи пристрою m_{tc} . Визначити $p_c(t)$ при $t = 20$ год.

Завдання 5.9. В радіопередавальному каналі зв'язкової системи використовуються основний передавач P_1 , два передавачі P_2 і P_3 знаходяться в ненавантаженому резерві. Інтенсивність відмов основного працюючого передавача дорівнює $\lambda_0 = 10^{-3}$ 1/час. З моменту відмови передавача P_1 в роботу включається P_2 , після відмови передавача P_2 включається P_3 . При включенні резервного передавача в роботу його інтенсивність відмов стає рівній λ_0 . Вважаючи перемикач абсолютно надійним, визначити ймовірність безвідмовної роботи $p_c(t)$ радіосигнали каналу, середній час безвідмовної роботи m_{tc} каналу. Визначити також $p_c(t)$ при $t = 100$ год.

Завдання 5.10. Пристрій автоматичного пошуку несправностей складається з двох логічних блоків. Середній час безвідмовної роботи цих блоків однаково і для кожного з них дорівнює $m_1 = 200$ годину. Потрібно визначити середній час безвідмовної роботи пристрою m_{tc} для двох випадків: а) є ненавантажений резерв всього пристрою; б) є ненавантажений резерв кожного блоку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Збірник завдань по теорії надійності / За редакцією А.М. Половко і І.М. Малікова. – М.: Радянське радіо, 1972
2. Ковальчук В.В., Моїсєєв Л.М. Основи наукових досліджень: навчальний посібник. - 2-е видання, перероблене і доповнене. - К.: ВД «Професіонал», 2004, - 208 с.
3. Власенко К. Теорія ймовірності та математична статистика. Навчальний посібник/К. Власенко, Н.Грудкіна, С. Шевцов, О. Чумак.-Краматорськ: ДДМА,2018.- 165с.
4. Канарчук В.Є. Надійність машин.Підручник/В.Є. Конарчук, С.К. Полянський, М.М. Дмирієв.-К.:Либідь,2003,-424с.