## 3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи системи з паралельним з'єднанням елементів

### 3.1. Короткі теоретичні відомості

Системи з точки зору надійності поділяються на: послідовні, паралельні і комбіновані.

До послідовних систем відносять всі системи, в яких відмова елемента призводить до відмови всієї системи. Прикладом послідовної системи є технологічна лінія або конвеєр.

В системі з паралельним з'єднанням елементів важливо знати ймовірність безвідмовної роботи всієї системи, тобто всіх її елементів без одного, без двох і т.д. елементів в межах збереження системою працездатності навіть із значно зниженими показниками. Прикладом паралельної системи є енергетичні системи з електричних машин, що працюють на загальну сітку, багатомоторні літаки, кораблі з двома машинами і резервовані системи.

Приклад комбінованих систем є частково резервовані системи.

### 3.2. Завдання

Визначити ймовірність відмови двигунів верстата за час безперервної роботи *t* при загальній кількості двигунів – 4 та інтенсивності відмов кожного з двигунів $\lambda$.

Варіанти завдань вибирають з табл. 3.1 і 3.2 відповідно до номера своєї залікової книжки.

Таблиця 3.1 – Час безперервної роботи верстата та інтенсивність відмов

| Передостання цифра номера залікової книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *t*, год | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |

Таблиця 3.2 – Інтенсивність відмов кожного з двигунів верстата

| Остання цифра номера залікової книжки | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| λ, год$^{-1}$ | $1\cdot10^{-4}$ | $2\cdot10^{-4}$ | $3\cdot10^{-4}$ | $4\cdot10^{-4}$ | $2\cdot10^{-4}$ | $3\cdot10^{-4}$ | $4\cdot10^{-4}$ | $2\cdot10^{-4}$ | $3\cdot10^{-4}$ | $4\cdot10^{-4}$ |

### 3.3. Приклад виконання завдання

Визначити ймовірність відмови двигунів верстата за час безперервної роботи $t = 10$ год при загальній кількості двигунів – 4 та інтенсивності відмов кожного з двигунів $\lambda = 1\cdot10^{-4}$ год$^{-1}$.

Ймовірність безвідмовної роботи одного двигуна для експоненціального закону формування потоку відмов визначають за формулою

$$P_1 = e^{-\lambda t}. \tag{3.1}$$

Підставивши відповідні значення, отримаємо

$$P_1 = e^{-10^{-3}} = 0{,}999.$$

Тоді ймовірність відмови одного двигуна

$$F_1(t) = 1 - P_1(t); \tag{3.2}$$
$$F_1(t) = 1 - 0{,}999 = 0{,}001.$$

Для аналізу всіх можливих варіантів (перший двигун відмовив, інші працюють, другий двигун відмовив і т.д.) використовують характеристичний поліном, який для чотирьох двигунів має вигляд

$$[P_1(t) + F_1(t)]^4 = P_1^4(t) + 4P_1^3(t)\cdot F_1(t) + 6P_1^2(t)\cdot F_1^2(t) + 4P_1(t)\cdot F_1^3(t) + F_1^4(t) = 1. \tag{3.3}$$

Перший член виражає ймовірність роботи всіх двигунів

$$P_1^4(t) = 0{,}999^4 = 0{,}996.$$

Другий – ймовірність роботи трьох двигунів при відмові одного

$$4P_1^3(t) \cdot F_1(t) = 4 \cdot 0{,}999^3 \cdot 0{,}001 = 0{,}00399.$$

Третій – ймовірність роботи двох двигунів і відмови двох

$$6P_1^2(t) \cdot F_1^2(t) = 6 \cdot 0{,}999^2 \cdot 0{,}001^2 = 6 \cdot 10^{-6}.$$

Четвертий – ймовірність роботи одного двигуна і відмови трьох

$$4P_1(t) \cdot F_1^3(t) = 4 \cdot 0{,}999 \cdot 0{,}001^3 = 4 \cdot 10^{-9}.$$

П’ятий – ймовірність того, що всі двигуни відмовлять

$$F_1^4(t) = 0{,}001^4 = 10^{-12}.$$

Сума першого і другого членів означає ймовірність відмови не більше одного двигуна (відсутність відмови, або відмову одного двигуна)

$$P_1^4(t) + 4P_1^3(t) \cdot F_1(t) = 0{,}996 + 0{,}00399 = 0{,}99999.$$

Для перевірки правильності отриманих результатів, необхідно додати усі складові характеристичного полінома. Результат повинен дорівнювати одиниці.

$$\left[P_1(t) + F_1(t)\right]^4 = 0{,}996 + 0{,}00399 + 6 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-9} + 10^{-12} = 1.$$