

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторно-практичних занять  
з дисципліни “Надійність технічних систем” на тему  
“З’єднання елементів технічних систем”  
для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування  
освітня програма «Підйомно-транспортні, дорожні,  
будівельні, меліоративні машини і обладнання»**

**2019**

Методичні вказівки до лабораторно-практичних занять з дисципліни “Надійність технічних систем” на тему “З’єднання елементів технічних систем” для студентів спеціальності 133 Галузеве машинобудування освітня програма «Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання» /Укл.: М.І. Носенко, Н.О. Задоя – Запоріжжя. ЗНТУ, 2019. – 34 с.

Укладачі: М.І. Носенко, доцент, к.т.н.,  
Н.О. Задоя, доцент, к.т.н.

Рецензент: Г.П. Волков, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск:

Л.М. Мартовицький, доцент, к.т.н., зав.каф. ДМ і ПТМ

Затверджено  
на засіданні кафедри  
“Деталі машин і ПТМ”  
Протокол № 4  
від 23 січня 2019 р.

**Рекомендовано**  
до видання  
НМК М-факультета  
Протокол № 5  
Від 21 лютого 2019 р.

**ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	<b>4</b>
<b>1 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПРИ ОСНОВНОМУ (ПОСЛІДОВНОМУ) З'ЄДНАННІ ЕЛЕМЕНТІВ</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Теоретичні відомості</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Завдання</b>	<b>8</b>
<b>2 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4 РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПРИ ПОСТІЙНОМУ З'ЄДНАННІ (ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ) ЕЛЕМЕНТІВ</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Теоретичні відомості</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Завдання</b>	<b>16</b>
<b>3 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ</b>	<b>21</b>
<b>4 ЛІТЕРАТУРА</b>	<b>22</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>23</b>

## ВСТУП

Неперервне удосконалення і розвиток всіх галузей техніки характеризується широким використанням різноманітних технічних систем у всіх сферах керування і промислового виробництва. Функції, які виконуються сучасними технічними системами, надто складні, а задачі, які вирішуються надзвичайно відповідальні. Тому необхідність визначення, забезпечення і підвищення надійності технічних систем є однією із головних проблем отримання потрібного рівня якості продукції, окремо в галузі машинобудування.

Надійність – це внутрішня властивість системи. Рівень надійності встановлюється на етапі проектування. На наступних етапах виготовлення, складання і проведення випробувань підвищити цей закладений рівень надійності неможливо без внесення змін в основну конструкцію. На етапі проектування визначається структура системи, котра також впливає на рівень надійності і визначає витрати, необхідні для забезпечення цього рівня. Тому важливо, щоб конструктор і технолог мали змогу зробити оцінку надійності і вартості різних проектних рішень перед прийняттям остаточного варіанту розробляемої технічної системи.

В запропонованих лабораторно-практичних роботах наведено теоретичні положення науки про надійність технічних систем, яка базується на основі теорії ймовірностей випадкових величин і математичної статистики. Засвоєння і вміння оперувати цими знаннями необхідні для розв'язання поставлених задач, пов'язаних з вирішенням питань по визначенню показників і забезпеченню надійності систем при послідовному і паралельному з'єднанні елементів.

# 1 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

## РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ПРИ ОСНОВНОМУ (ПОСЛІДОВНОМУ) З'ЄДНАННІ ЕЛЕМЕНТІВ

### 1.1 Теоретичні відомості

З'єднання елементів називається послідовним, коли відмова хоча б одного елементу призводить до відмови всієї системи. Система послідовно з'єднаних елементів роботоздатна тоді, коли роботоздатні всі її елементи (рис. 1.1).

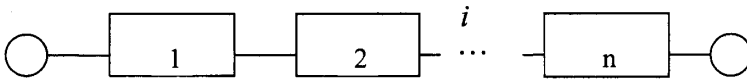


Рисунок 1.1 – Структурна схема системи із  $n$  - послідовно з'єднаних елементів

Ймовірність безвідмовної роботи системи за час  $t$  визначається залежністю

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t),$$

де  $P_i(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елементу системи за час  $t$ ;

$N$  – число елементів системи.

Якщо елементи системи рівнонадійні, то

$$P_i(t) = P(t) \quad \text{і} \quad P_c(t) = P^N(t).$$

Через інтенсивність відмов  $\lambda_i(t)$  елементів системи ймовірність безвідмовної роботи системи визначається

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

або

$$P_c(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda_c(t) \cdot dt\right),$$

де

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i(t).$$

Тут  $\lambda_i(t)$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента;

$\lambda_c(t)$  – інтенсивність відмов системи.

Ймовірність відмов системи в інтервалі часу  $(0, t)$  дорівнює

$$Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^N \lambda_i(t).$$

Частота відмов системи  $f_c(t)$  визначається співвідношенням

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

Інтенсивність відмов системи

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)}.$$

Середній час безвідмовної роботи системи

$$T_{cp.c} = \int_0^{\infty} P_c(t) dt .$$

У випадку експоненційного закону надійності всіх елементів системи отримують

$$\lambda_i(t) = \lambda_i = const ;$$

$$\lambda_c(t) = \sum_{i=1}^N \lambda_i = \lambda_c ;$$

$$P_i(t) = \exp(-\lambda \cdot t) ;$$

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

$$f_c(t) = \lambda_c \cdot e^{-\lambda_c \cdot t} ;$$

$$Q_c(t) = 1 - e^{-\lambda_c \cdot t} ;$$

$$T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i} ;$$

$$T_{cp.i} = \frac{1}{\lambda_i}, \Rightarrow \lambda_i = \frac{1}{T_{cp.i}},$$

де  $T_{cp.i}$  – середній час безвідмовної роботи  $i$ -го елементу.

При розрахунку надійності систем часто доводиться перемножувати ймовірності безвідмовної роботи окремих елементів розрахунку, возводити їх у ступінь та добувати корені. Для значень  $P(t)$ , наближених до одиниці, ці розрахунки можна із достатньою для практики точністю виконувати за наступними наближеними формулами:

$$P_1(t) \cdot P_2(t) \dots P_N(t) \cong \sum_{i=1}^N Q_i(t);$$

$$P_i^N(t) = 1 - N \cdot Q_i(t);$$

$$\sqrt[N]{P_i(t)} = 1 - \frac{Q_i(t)}{N},$$

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

Ймовірність безвідмовної роботи системи із послідовно з'єднаними елементами:

- зменшується зі збільшенням кількості послідовно з'єднаних елементів;
- завжди менше ймовірності безвідмовної роботи найменш надійного елемента.

При розробці системи із послідовно з'єднаними елементами слід надавати перевагу більш надійним системам з мінімальною кількістю високонадійних елементів.

## 1.2 Завдання

### Завдання 1.2.1

Система складається із трьох пристроїв. Інтенсивність відмов першого пристрою дорівнює  $\lambda_1 = const$ . Інтенсивність відмов двох других пристроїв  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  лінійно залежить від часу  $t$ .

Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу  $t$ .

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.1.

Рішення

$$\begin{aligned}
 P_c(t) &= \exp\left(-\sum_{i=1}^N \int_0^t \lambda_i(t) dt\right) = \\
 &= \exp\left(-\left(\int_0^t \lambda_1 dt + \int_0^t \lambda_2 dt + \int_0^t \lambda_3 dt\right)\right) = \exp(-x) = e^{-x}.
 \end{aligned}$$

### Завдання 1.2.2

Система складається із трьох елементів. Середній час безвідмовної роботи кожного елемента дорівнює  $T_{cp.i}$ . Робота елементів системи підпорядкована експоненційному закону розподілу випадкової величини.

Визначити середній час безвідмовної роботи системи.

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.2.

Рішення

$$\lambda_i = \frac{1}{T_{cp.i}}; \quad \lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i; \quad T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda_c}, \text{ год.}$$

**Завдання 1.2.3**

Система складається із  $N$  – елементів. Середня інтенсивність відмов елементів  $\lambda_{cp}$ . Робота елементів системи підпорядкована експоненційному закону розподілу випадкової величини.

Для роботи системи протягом часу  $t$  визначити:

- ймовірність безвідмовної роботи системи  $P_c(t)$ ;
- ймовірність відмов системи  $Q_c(t)$ ;
- частоту відмов системи (щільність ймовірності розподілу часу  $t$  безвідмовної роботи)  $f_c(t)$ ;
- середній час безвідмовної роботи системи  $T_{cp.c}$ .

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.3.

**Рішення**

$$\lambda_c = \lambda_{cp} \cdot N, \frac{1}{\text{год}}; \quad P_c(t) = e^{-\lambda_c t}; \quad Q_c(t) = 1 - P_c(t);$$

$$f_c(t) = \lambda_c \cdot P_c(t), \frac{1}{\text{год}}; \quad T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda_c}, \text{ год.}$$

**Завдання 1.2.4**

Система складається із двох пристроїв. Ймовірність безвідмовної роботи кожного протягом часу  $t$  дорівнює  $P_1(t)$  і  $P_2(t)$ . Робота пристроїв системи підпорядкована експоненційному розподілу випадкової величини.

Визначити середній час безвідмовної роботи системи.

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 1.4.

## Рішення

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t);$$

$$\lambda_c, \frac{1}{\text{год}} \text{ із } P_c(t) = e^{-\lambda_c \cdot t} \text{ (значення } e^{-x} \text{ – додток А);}$$

$$T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda_c}, \text{ год.}$$

**Завдання 1.2.5**

Ймовірність безвідмовної роботи одного елементу системи протягом часу  $t$  дорівнює  $P(t)$ .

Визначити ймовірність безвідмовної роботи системи, яка складається із  $N$  таких же елементів.

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту наведено в таблиці 1.5.

## Рішення

$$P_c(t) = P^N(t); \quad P_c(t) \text{ – близька до одиниці, тому}$$

$$Q(t) = 1 - P(t); \quad P_c(t) = 1 - N \cdot Q(t).$$

**Завдання 1.2.6**

Ймовірність безвідмовної роботи системи протягом часу  $t$  дорівнює  $P_c(t)$ . Система складається із  $N$  – рівнонадійних елементів.

Визначити ймовірність безвідмовної роботи елементу системи.

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в табл. 1.6.

## Рішення

$$P_i(t) = \sqrt[N]{P_c(t)};$$

$$Q_c(t) = 1 - P_c(t), \text{ так як } P(t) \text{ близька до одиниці, то}$$

$$P_i(t) = \sqrt[N]{P_c(t)} \cong 1 - \frac{Q_c(t)}{N}.$$

## 2 ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### Розрахунок надійності систем при постійному з'єднанні (паралельне з'єднання) елементів

#### 2.1 Теоретичні відомості

При постійному резервуванні резервні елементи 1,2... з'єднанні паралельно з основним (робочим) елементом протягом всього періоду роботи системи. Всі елементи з'єднані постійно, перебудова структурної схеми системи при відмовах не відбувається, відмовивший елемент не вимикається і не відокремлюється (рис. 2.1).

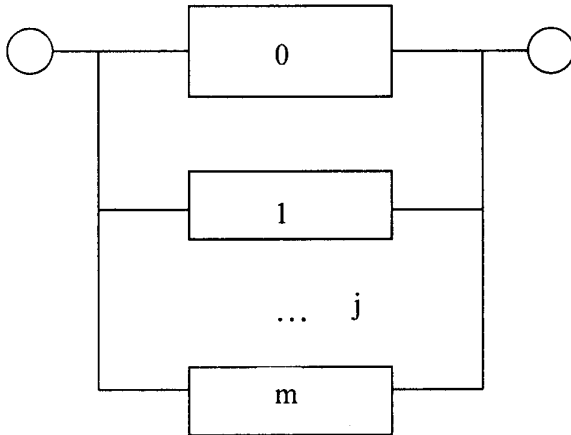


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи із  $m$  – паралельно з'єднаних елементів

Ймовірність відмови системи  $Q_c(t)$  визначається залежністю

$$Q_c(t) = \prod_{j=0}^m Q_j(t),$$

де  $Q_j(t)$  – ймовірність відмови  $j$ -го елемента.

Якщо  $P_j(t) = P(t)$ ,  $j = 0, 1, \dots, m$ ,

то  $Q_c(t) = Q^{m+1}(t)$ ;

$$P_c(t) = 1 - [1 - P(t)]^{m+1}.$$

При експоненційному законі надійності окремих елементів отримують

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

$$Q_c(t) = (1 - e^{-\lambda t})^{m+1};$$

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

$$N_{cp.c} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i}.$$

Резервування називається загальним, якщо резервується вся система, яка складається із послідовного з'єднання  $n$ -елементів. Схема загального резервування наведена на рис.2.2.

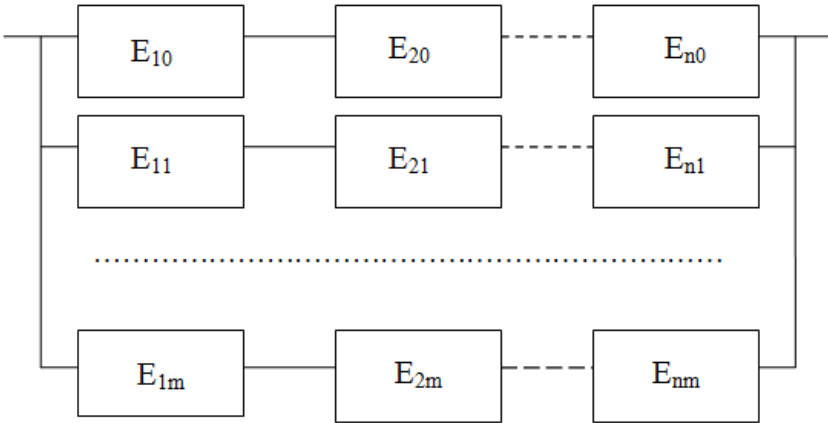


Рисунок 2.2 – Структурна схема загального резервування

Загальний ланцюг складається із  $n$ -елементів. Число резервних ланцюгів дорівнює  $m$ , тобто кратність резервування дорівнює  $m$ .

Кількісні характеристики надійності системи із загальним резервуванням (резервні ланцюги відключені постійно):

- ймовірність безвідмовної роботи  $j$ -го ланцюга

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

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

- ймовірність відмов  $j$ -го ланцюга

$$Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_{ij}(t)$$

- ймовірність відмов системи із загальним резервуванням

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

- ймовірність безвідмовної роботи системи із загальним резервуванням

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

Окремий випадок: основний і резервні ланцюги мають однакову надійність, тобто

$$P_{ij}(t) = P_i(t).$$

Тоді

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

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

Для експоненційного закону надійності

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i \cdot t}.$$

Формули для ймовірності відмов і безвідмовної роботи мають вигляд

$$Q_c(t) = \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1},$$

$$P_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1},$$

де  $\lambda_0$  – інтенсивність відмов ланцюга, який складається із  $n$  – елементів

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Частота відмов системи із загальним резервуванням

$$f_c(t) = -\frac{dp_c(t)}{dt} = \lambda_0 \cdot (m+1) \cdot e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^m.$$

Інтенсивність відмов системи із загальним резервуванням

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)} = \frac{\lambda_0(m+1) \cdot e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^m}{1 - \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1}}.$$

Середній час безвідмовної роботи резервованої системи

$$T_{cp.c} = T_0 \cdot \sum_{j=0}^m \frac{1}{1+j},$$

де  $T_0 = \frac{1}{\lambda_0}$  – середній час безвідмовної роботи нерезерованої

системи.

Ймовірність безвідмовної роботи системи із паралельно з'єднаними елементами суттєво збільшуються із зростанням їх кількості при умові одночасної роботи всіх елементів.

## 2.2 Завдання

### Завдання 2.2.1

Система складається із  $N$  рівнонадійних елементів. Середній час безвідмовної роботи елемента  $T_{cp.i}$ . Робота елементів системи підпорядкована експоненційному закону розподілу випадкової величини. Основна і резервна системи рівнонадійні.

В момент часу  $t$  визначити:

- середній час безвідмовної роботи системи  $T_{cp.c}$ , год.;

- частоту відмов системи (щільність ймовірності розподілу часу  $t$  безвідмовної роботи)  $f_c(t)$ ,  $\frac{1}{\text{ГОД}}$ ;

- інтенсивність відмов системи  $\lambda_c(t)$ ,  $\frac{1}{\text{ГОД}}$

у наступних випадках: а) нерезервованої системи;

б) дубльованої системи при постійно ввімкненому резерві.

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.1.

### Рішення

$$\text{а) } \lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i = N \cdot \lambda_i; \quad \lambda_i = \frac{1}{T_{cp.i}}; \quad i = 1, 2, \dots, N; \quad \lambda_i = \lambda;$$

$$\lambda_c = N \cdot \lambda; \quad T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda_c};$$

$$f_c(t) = \lambda_c(t) \cdot P_c(t); \quad P_c(t) = e^{-\lambda_c t};$$

$$f_c(t) = \lambda_c \cdot e^{-\lambda_c t}.$$

$$\text{б) } T_{cp.c} = T_0 \sum_{j=0}^m \frac{1}{1+j}; \quad m=1; \quad T_0 = \frac{1}{\lambda_c};$$

$$P_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^{m+1}; \quad \lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \lambda_c;$$

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = \lambda_0 \cdot (m+1) \cdot e^{-\lambda_0 t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_0 t}\right)^m;$$

$$\lambda_c(t) = \frac{f_c(t)}{P_c(t)}.$$

### Завдання 2.2.2

В системі застосовано дублювання елемента. Інтенсивність відмов елемента  $\lambda$ . Робота підпорядкована експоненційному закону розподілу випадкової величини. Для часу роботи системи  $t$  визначити:

- ймовірність безвідмовної роботи  $P_c(t)$ ;
- середній час безвідмовної роботи  $T_{cp.c}$ , год.;
- частоту відмов (щільність ймовірності розподілу часу  $t$  безвідмовної роботи)  $f_c(t)$ ,  $\frac{1}{\text{ГОД}}$ ;
- інтенсивність відмов системи  $\lambda_c(t)$ ,  $\frac{1}{\text{ГОД}}$ .

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.2.

## Рішення

У даному випадку

$$n = 1; \quad \lambda_i = \lambda; \quad \lambda_0 = n \cdot \lambda = \lambda; \quad m = 1.$$

$n$  – кількість послідовно з'єднаних елементів;

$m$  – кількість паралельно з'єднаних елементів;

$$P_c(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda t}\right)^{m+1};$$

значення  $e^{-x}$  – додаток А;

$$T_{cp.c} = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1+i} = \frac{1}{\lambda} \left(1 + \frac{1}{2}\right);$$

$$f_c(t) = -\frac{dP_c(t)}{dt} = 2\lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot \left(1 - e^{-\lambda t}\right);$$

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

**Завдання 2.2.3**

Нерезервована система складається із  $N$  елементів. Для підвищення надійності системи передбачається провести загальне дублювання елементів. Для наближеної оцінки можливості досягнення заданої ймовірності безвідмовної роботи системи  $P_c(t)$  за

час роботи  $t$ , необхідно визначити середню інтенсивність відмов одного елементу  $\lambda$ ,  $\frac{1}{\text{ГОД}}$  при відсутності післядії відмов.

Вихідні дані до розрахунку, відповідно варіанту, наведено в таблиці 2.3.

### Рішення

При загальному дублюванні і рівнонадійних елементах

$$P_{c(t)} = 1 - \left(1 - e^{-\lambda \cdot N \cdot t}\right)^{m+1} \text{ або } P_{c(t)} = 1 - \left(1 - P_{(t)}^N\right)^2,$$

де  $P_{(t)}$  – ймовірність безвідмовної роботи одного елементу;

$m = 1$  – кількість паралельно з'єднаних елементів.

Повинно бути

$$1 - \left(1 - P_{(t)}^N\right)^2 \geq P_{c(t)}.$$

Після перетворень

$$P_{(t)} \geq \left(1 + \sqrt{P_{c(t)} - 1}\right)^{\frac{1}{N}}.$$

$\left(1 + \sqrt{P_{c(t)} - 1}\right)^{\frac{1}{N}}$  розкладається в ряд за ступенем  $\frac{1}{N}$  і

отримують

$$P_{(t)} \geq \left(1 + \sqrt{P_{c(t)} - 1}\right)^{\frac{1}{N}} \cong 1 + \frac{1}{N} \sqrt{P_{c(t)} - 1}.$$

Враховують  $P_{(t)} = e^{-\lambda \cdot t} \cong 1 - \lambda \cdot t \Rightarrow$

$$1 - \lambda \cdot t \geq 1 + \frac{1}{N} \cdot \sqrt{P_{c(t)} - 1}.$$

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Визначення і структурна схема системи із послідовним з'єднанням елементів.
2. Визначення ймовірності безвідмовної роботи системи із послідовним з'єднанням елементів різної надійності.
3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи системи із послідовним з'єднанням елементів однакової надійності.
4. Визначення ймовірності безвідмовної роботи системи через інтенсивність відмов елементів.
5. Визначення ймовірності відмов системи із послідовним з'єднанням елементів.
6. Визначення частоти відмов системи із послідовним з'єднанням елементів.
7. Визначення інтенсивності відмов системи із послідовним з'єднанням елементів.
8. Визначення середнього часу безвідмовної роботи системи із послідовним з'єднанням елементів.
9. Визначення показників надійності системи із послідовним з'єднанням при застосуванні експоненційного закону розподілу ймовірності безвідмовної роботи елементів.
10. Визначення і структурна схема системи із паралельним з'єднанням елементів.
11. Визначення показників надійності системи із паралельним з'єднанням елементів.
12. Визначення показників надійності системи із паралельним з'єднанням при експоненційному законі розподілу ймовірності безвідмовної роботи елементів.
13. Визначення і структурна схема системи елементів загального резервування.
14. Визначення показників надійності системи елементів загального резервування.
15. Визначення показників надійності системи загального резервування при експоненційному законі розподілу ймовірності безвідмовної роботи елементів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин: Підручник. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.
2. Труханов В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения. М.: Маш-е, 1995. – 304 с.
3. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.
4. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 224 с.
5. Надежность изделий машиностроения. Теория и практика. Учебник для вузов/В.М. Труханов. – М.: Машиностроение, 2006. – 336 с.
6. Рыжкин А.А., Слюсарь Б.Н., Шучев К.Г. Основы теории надежности: Уч. Пос. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2002.

## ДОДАТКИ

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до завдання 1.2.1

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , год.	100	120	140	80	90	130	110	80	90	100
$\lambda_1 \cdot 10^{-3}$ , 1/год	0.16	0.18	0.20	0.14	0.19	0.15	0.17	0.20	0.18	0.14
$\lambda_2 \cdot 10^{-4} \cdot t$ , 1/год	0.23	0.21	0.19	0.25	0.27	0.22	0.20	0.24	0.26	0.23
$\lambda_3 \cdot 10^{-6} \cdot t^a$ , 1/год	0.06	0.08	0.04	0.07	0.09	0.05	0.07	0.08	0.04	0.09
$a$	2.6	2.8	3.0	2.4	2.2	2.7	2.9	2.5	2.3	3.0
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t$ , год.	140	120	90	80	130	110	140	120	100	80
$\lambda_1 \cdot 10^{-3}$ , 1/год	0.19	0.14	0.15	0.17	0.20	0.19	0.16	0.15	0.20	0.19
$\lambda_2 \cdot 10^{-4} \cdot t$ , 1/год	0.27	0.22	0.20	0.24	0.26	0.21	0.19	0.25	0.27	0.22
$\lambda_3 \cdot 10^{-6} \cdot t^a$ , 1/год	0.07	0.04	0.08	0.06	0.07	0.09	0.05	0.04	0.08	0.08
$a$	2.2	2.7	2.9	2.5	2.3	3.0	2.6	2.8	3.0	2.4

Таблиця 1.2 – Вихідні дані до завдання 1.2.2

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{cp1}$ , год.	160	170	180	150	140	180	140	160	150	170
$T_{cp2}$ , год	320	300	280	340	360	320	300	280	340	360
$T_{cp3}$ , год	600	650	700	550	500	650	600	700	550	500
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_{cp1}$ , год.	140	160	150	170	160	180	150	170	140	180
$T_{cp2}$ , год	280	340	360	320	300	280	340	360	320	300
$T_{cp3}$ , год	700	600	650	500	550	700	650	600	500	550

Таблиця 1.3 – Вихідні дані до завдання 1.2.3

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N$	1260	1280	1300	1240	1220	1260	1280	1300	1240	1220
$\lambda_{cp} \cdot 10^{-6}$ , 1/год.	0.32	0.30	0.28	0.34	0.36	0.36	0.34	0.32	0.30	0.28
$t$ , год.	50	45	40	55	60	40	55	60	50	45
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$N$	1220	1240	1300	1280	1260	1220	1240	1300	1280	1260
$\lambda_{cp} \cdot 10^{-6}$ , 1/год.	0.32	0.30	0.34	0.28	0.36	0.30	0.34	0.28	0.30	0.36
$t$ , год.	45	50	60	55	40	60	55	40	45	50

Таблиця 1.4 – Вихідні дані до завдання 1.2.4

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , год.	100	110	120	130	90	80	70	100	110	120
$P_1(t)$	0.95	0.93	0.91	0.86	0.88	0.93	0.97	0.90	0.93	0.86
$P_2(t)$	0.97	0.86	0.96	0.87	0.95	0.88	0.94	0.89	0.93	0.90
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$t$ , год.	130	70	80	90	100	110	120	130	70	80
$P_1(t)$	0.86	0.88	0.94	0.91	0.92	0.88	0.95	0.91	0.87	0.85
$P_2(t)$	0.95	0.87	0.96	0.86	0.97	0.90	0.93	0.89	0.94	0.88

Таблиця 1.5 – Вихідні дані до завдання 1.2.5

Параметри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P(t) = 0.999\dots$	7	8	6	5	7	8	6	5	7	8
$N$	100	90	80	110	120	100	90	80	110	120
Параметри	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P(t) = 0.999\dots$	6	5	7	8	6	5	7	8	6	5
$N$	110	120	100	90	80	110	120	90	100	110

Таблиця 1.6 – Вихідні дані до завдання 1.2.6

Параметри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_c(t)$	0.95	0.94	0.96	0.97	0.95	0.94	0.96	0.97	0.95	0.94
$N$	120	110	100	130	140	120	110	100	130	140
Параметри	Варіанти									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P_c(t)$	0.97	0.96	0.95	0.94	0.97	0.95	0.94	0.96	0.97	0.95
$N$	120	110	100	130	140	120	110	130	100	110

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до завдання 2.1

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N$	10	12	8	14	16	10	12	8	14	16
$T_{ср.i}$ , год.	1000	1600	1400	1200	800	1200	1400	1600	1000	1200
$t$ , год.	50	80	70	60	40	50	80	70	60	40
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$N$	8	14	16	10	12	10	16	14	8	12
$T_{ср.i}$ , год.	800	1600	1400	800	1200	1400	1600	1000	1200	800
$t$ , год.	60	80	50	70	40	50	80	60	40	60

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до завдання 2.2

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda \cdot 10^{-2}$ , 1/год.	1.0	0.9	0.8	1.1	1.2	1.0	0.9	0.8	1.1	1.2
$t$ , год.	10	11	12	9	8	8	9	10	11	12
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\lambda \cdot 10^{-2}$ , 1/год.	1.1	0.9	0.8	1.0	1.2	1.1	0.9	0.8	1.0	1.2
$t$ , год.	12	10	8	12	10	8	12	9	9	11

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до завдання 2.3

Параметри	В а р і а н т и									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N$	5000	4500	4000	5500	6000	5000	4500	4000	5500	6000
$P_c(t)$ , 1/год.	0.90	0.92	0.94	0.88	0.86	0.94	0.88	0.86	0.92	0.90
$t$ , год.	10	12	8	14	16	12	10	14	16	12
Параметри	В а р і а н т и									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$N$	4000	4500	5000	6000	5500	4500	4000	6000	5000	5500
$P_c(t)$ , 1/год.	0.88	0.86	0.90	0.92	0.94	0.90	0.92	0.88	0.86	0.90
$t$ , год.	10	8	14	16	8	16	12	10	8	12

## ДОДАТОК А

Значення функції  $e^{-x}$

x	x									
	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.00	1.0000	0.9990	0.9980	0.9970	0.9960	0.9950	0.9940	0.9930	0.9920	0.9910
0.01	0.9900	0.9891	0.9881	0.9871	0.9861	0.9851	0.9841	0.9831	0.9822	0.9812
0.02	0.9802	0.9792	0.9782	0.9773	0.9763	0.9753	0.9743	0.9734	0.9724	0.9714
0.03	0.9704	0.9695	0.9685	0.9675	0.9666	0.9656	0.9646	0.9637	0.9627	0.9618
0.04	0.9608	0.9598	0.9588	0.9579	0.9570	0.9560	0.9550	0.9541	0.9531	0.9522
0.05	0.9512	0.9502	0.9493	0.9484	0.9474	0.9465	0.9455	0.9446	0.9436	0.9427
0.06	0.9418	0.9408	0.9399	0.9389	0.9380	0.9371	0.9361	0.9352	0.9343	0.9333
0.07	0.9324	0.9315	0.9305	0.9226	0.9287	0.9277	0.9258	0.9259	0.9250	0.9240
0.08	0.9231	0.9222	0.9213	0.9204	0.9194	0.9185	0.9176	0.9167	0.9158	0.9148
0.09	0.9139	0.9130	0.9121	0.9112	0.9103	0.9094	0.9085	0.9076	0.9066	0.9057
	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.1	0.9048	0.8958	0.8969	0.8781	0.8694	0.8607	0.8521	0.8437	0.8353	0.8270
0.2	0.8187	0.8106	0.8025	0.7945	0.7866	0.7788	0.7711	0.7634	0.7588	0.7483
0.3	0.7408	0.7334	0.7261	0.7189	0.7118	0.7047	0.6977	0.6907	0.6839	0.6771
0.4	0.6703	0.6637	0.6570	0.6505	0.6440	0.6376	0.6313	0.6250	0.6188	0.6126
0.5	0.6065	0.6005	0.5945	0.5886	0.5825	0.5769	0.5712	0.5655	0.5599	0.5543
0.6	0.5488	0.5434	0.5379	0.5326	0.5273	0.5220	0.5169	0.5117	0.5066	0.5016
0.7	0.4966	0.4916	0.4868	0.4819	0.4771	0.4724	0.4677	0.4630	0.4584	0.4538
0.8	0.4493	0.4449	0.4404	0.4360	0.4317	0.4274	0.4232	0.4190	0.4148	0.4107

	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.9	0.4066	0.4025	0.3985	0.3946	0.3906	0.3867	0.3829	0.3791	0.3753	0.3716
1.0	0.3679	0.3642	0.3606	0.3570	0.3535	0.3499	0.3465	0.3430	0.3396	0.3362
1.1	0.3329	0.3296	0.3263	0.3230	0.3198	0.3166	0.3135	0.3104	0.3073	0.3042
1.2	0.3012	0.2982	0.2952	0.2923	0.2894	0.2865	0.2837	0.2808	0.2780	0.2753
1.3	0.2725	0.2698	0.2671	0.2645	0.2618	0.2592	0.2567	0.2541	0.2516	0.2491
1.4	0.2466	0.2441	0.2417	0.2393	0.2369	0.2346	0.2322	0.2299	0.2276	0.2254
1.5	0.2231	0.2209	0.2187	0.2165	0.2144	0.2122	0.2104	0.2080	0.2060	0.2039
1.6	0.2019	0.1999	0.1979	0.1959	0.1940	0.1920	0.1901	0.1882	0.1864	0.1845
1.7	0.1827	0.1809	0.1791	0.1773	0.1755	0.1738	0.1720	0.1703	0.1686	0.1670
1.8	0.1653	0.1637	0.1620	0.1604	0.1588	0.1572	0.1557	0.1541	0.1526	0.1511
1.9	0.1496	0.1481	0.1466	0.1451	0.1437	0.1423	0.1409	0.1395	0.1381	0.1367
2.0	0.1353	0.1340	0.1327	0.1313	0.1300	0.1287	0.1275	0.1262	0.1249	0.1237
2.2	0.1108	0.1097	0.1086	0.1075	0.1065	0.1054	0.1044	0.1033	0.1023	0.1013
2.3	0.1003	0.0993	0.0983	0.0973	0.0963	0.0954	0.0954	0.0935	0.0926	0.0916
2.4	0.907	0.0898	0.0889	0.0880	0.0872	0.0863	0.0854	0.0846	0.0837	0.0829
2.5	0.0821	0.0813	0.0805	0.0797	0.0789	0.0781	0.0773	0.0765	0.0758	0.0750
2.6	0.0743	0.0735	0.0728	0.0721	0.0714	0.0707	0.0699	0.0693	0.0686	0.0679
2.7	0.0672	0.0665	0.0659	0.0652	0.0646	0.0639	0.0633	0.0627	0.0620	0.0614
2.8	0.0608	0.0602	0.0596	0.0590	0.0584	0.0578	0.0573	0.0567	0.0561	0.0556
2.9	0.0550	0.0545	0.0539	0.0534	0.0529	0.0523	0.0518	0.0513	0.0508	0.0503

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
3	0.0498	0.450	0.0408	0.0368	0.0334	0.0302	0.0273	0.0247	0.0224	0.0200
4	0.0183	0.0166	0.0150	0.0136	0.0123	0.0111	0.0101	0.0091	0.0082	0.0074
5	0.0067	0.0061	0.0055	0.0050	0.0045	0.0041	0.0037	0.0033	0.0030	0.0027
6	0.0025	0.0022	0.0020	0.0018	0.0017	0.0015	0.0014	0.0012	0.0011	0.0010
7	0.0009	0.0008	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004
8	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001