



Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій

**Кафедра електропостачання
та енергетичного менеджменту**

**Методичні вказівки
для виконання практичних робіт
з дисципліни
«Основи надійності та діагностування
систем автоматизації»**

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»**

Харків 2024

**Міністерство освіти і науки України
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет енергетики, робототехніки
та комп'ютерних технологій
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту**

**Методичні вказівки
для виконання практичних робіт
з дисципліни
«Основи надійності та діагностування
систем автоматизації»**

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»**

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
факультету енергетики,
робототехніки та
комп'ютерних технологій
Протокол № 1
від 30.09.2024 р.

Харків 2024

УДК 621.3.019.3: 658.588.2

T77

Схвалено
на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного менеджменту
протокол № 1 від 30 серпня 2024 р.

Рецензенти:

Н. Г. Косулїна, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету;

М. Л. Лисиченко, д-р техн. наук, проф. Державного біотехнологічного університету

T77

Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни «Основи надійності та діагностування систем автоматизації» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка; Держ. біотехнол. ун.-т; уклад.: І. М. Трунова. - Харків: [б. в.], 2024.- 20 с.

Методичні вказівки містять приклади рішення задач з надійності технічних пристроїв та задачі для самостійного рішення, рекомендовану літературу.

Видання призначене студентам першого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання, спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 621.3.019.3: 658.588.2

Відповідальний за випуск: О. О. Мірошник, д-р техн. наук, проф.

© Трунова І. М., 2024

© ДБТУ, 2024

Зміст

	Стор.
Тема 1. Розрахунок показників надійності за експоненціальним розподілом відмов.....	5
Тема 2. Розрахунок показників надійності системи з послідовним з'єднанням елементів.....	7
Тема 3. Розрахунок показників надійності системи з паралельним з'єднанням елементів у системі.....	10
Тема 4. Розрахунок показників надійності системи зі змішаним з'єднанням елементів у системі.....	11
Тема 5. Прогнозування технічного стану ізоляції електротехнічних виробів в експлуатації шляхом комп'ютерного моделювання.....	15
Тема 6. Автоматизація керування технічною експлуатацією обладнання РЕС.....	18
Список використаних джерел.....	19

Тема 1
Розрахунок показників надійності
енергетичного обладнання
за експоненціальним розподілом відмов

Задача 1. На випробування направлено 1000 технічних пристроїв (ТП). За 3000 год. відмовило 80 ТП, а за інтервал часу 3000 ÷ 4000 год. відмовило ще 50 ТП. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови протягом 3000 год., та інтенсивність відмови у проміжку часу 3000 ÷ 4000 год.

Розв'язання:

$$\hat{P}(0,3000) = 1 - \frac{80}{1000} = 0,92.$$

$$\hat{Q}(0,3000) = \frac{80}{1000} = 0,08 \quad \text{або} \quad \hat{Q}(0,3000) = 1 - 0,92 = 0,08$$

$$\lambda(3500) = \frac{50}{((920 + 870) / 2) \cdot 1000} = 5,59 \cdot 10^{-5}$$

Задача 2. Протягом деякого періоду часу проводилося спостереження за роботою одного відновлюваного ТП. За весь період спостереження було зареєстровано 15 відмов. До початку спостереження ТП проробив 258 год., до кінця спостереження напрацювання ТП склало 1233 год. Потрібно визначити середнє напрацювання до відмови.

Розв'язання:

Напрацювання ТП за період, що спостерігається, дорівнює

$$t = t_2 - t_1 = 1233 - 258 = 975 \text{ год.}$$

Приймаємо $\sum_{i=1}^{m(t_1, t_2)} t_{oi} = 975 \text{ год.}$

Знаходимо середнє напрацювання до відмови:

$$\hat{T}_O = \frac{975}{15} = 65 \text{ год.}$$

Задача 3. Проводилося спостереження за роботою трьох однакових відновлюваних ТП. За період спостереження було зафіксовано по першому ТП 5 відмов, по другому – 10 відмов і по третьому – 6 відмов.

Напрацювання першого ТП склало 111 год., другого – 319 год. і третього – 145 год. Потрібно визначити середнє напрацювання ТП до відмови.

Розв'язання:

Сумарне напрацювання трьох ТП визначається так:

$$\sum_{i=1}^{m(t_1, t_2)} t_{oi} = 111 + 319 + 145 = 575 \text{ год.}$$

Сумарна кількість відмов: $5 + 10 + 6 = 21$ відмова.

Середнє напрацювання до відмови

$$\hat{T}_O = \frac{575}{21} = 27,4 \text{ год.}$$

Задача 4. Відомо, що інтенсивність відмов ТП $\lambda = 0,01$ 1/год, а середній час відновлення $t_v = 12$ год. Потрібно визначити коефіцієнт готовності ТП.

Розв'язання:

Середнє напрацювання до першої відмови буде дорівнювати:

$$T_O = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ год.}$$

Коефіцієнт готовності $K_r = 100 / (100 + 12) = 0,89$

Задача для самостійного рішення 1. На випробування направлено 2000 ТП. За 4000 год. відмовило 20 ТП, а за інтервал часу $4000 \div 6000$ год. відмовило ще 50 ТП. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови протягом 4000 год., та інтенсивність відмови у проміжку часу $4000 \div 6000$ год.

Задача для самостійного рішення 2. Протягом деякого періоду часу проводилося спостереження за роботою одного відновлюваного ТП. За весь період спостереження було зареєстровано 10 відмов. До початку спостереження ТП проробив 212 год., до кінця спостереження напрацювання ТП склало 2123 год. Потрібно визначити середнє напрацювання до відмови.

Задача для самостійного рішення 3. Проводилося спостереження за роботою трьох однакових відновлюваних ТП. За період спостереження було зафіксовано по першому ТП 6 відмов, по другому – 11 відмов і по третьому – 8 відмов.

Напрацювання першого ТП склало 181 год., другого – 329 год. і третього – 245 год. Потрібно визначити середнє напрацювання ТП до відмови.

Задача для самостійного рішення 4. Відомо, що інтенсивність відмов ТП $\lambda=0,02$ 1/год, а середній час відновлення $t_v=10$ год. Потрібно визначити коефіцієнт готовності ТП.

Тема 2

Розрахунок показників надійності системи з послідовним з'єднанням елементів

Задача 5. Необхідно визначити показники надійності системи, що складається з п'яти послідовно з'єднаних елементів (див. рисунок 1) за вихідними даними, що приведені в таблиці 1.

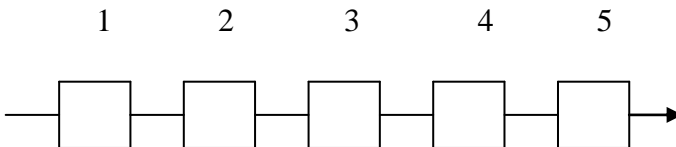


Рисунок 1 – Нерезервована ССН з п'ятьма послідовно з'єднаними елементами

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності за СНН, що приведена на рисунку 1

Частота відмов і-го елемента, ω_i , 1/рік	Середній час відновлення і-го елемента, τ_i , год
0,7	12
0,34	18
0,13	2
0,24	4
0,008	5

Розв'язання.

Частота відмов системи (параметр потоку відмов) з 5 послідовно з'єднаних елементів буде

$$\omega_c = \sum_{i=1}^5 \omega_i = 0,7 + 0,34 + 0,13 + 0,24 + 0,008 = 1,418 \text{ 1/рік.}$$

Середній час відновлення цієї системи (год):

$$\tau_c = \frac{1}{\omega_c} \sum_{i=1}^5 \omega_i \cdot \tau_i = \frac{1}{1,418} (0,7 \cdot 12 + 0,34 \cdot 18 + 0,13 \cdot 2 + 0,24 \cdot 4 + 0,008 \cdot 5) = 11,13$$

Середній час безвідмовної роботи:

$$T_c = \frac{1}{\omega_c} = \frac{1}{1,418} = 0,71 \text{ років,}$$

або

$$T_c = 0,71 \cdot 8760 = 6178 \text{ год.,}$$

де 8760 – число годин роботи системи на рік.

Ймовірність безвідмовної роботи системи за $t=1$ рік

$$P_c(1) = e^{-\omega t} = e^{-1,418 \cdot 1} = 0,242.$$

Ймовірність відмови системи за $t=1$ рік

$$Q_c(1) = 1 - e^{-\omega t} = 1 - e^{-1,418 \cdot 1} = 1 - 0,242 = 0,758.$$

Задача для самостійного рішення 5. Необхідно визначити показники надійності технічної системи з трьома послідовно з'єднаними елементами

Таблиця 2 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності

Елемент схеми	ω_i , 1/рік	τ_i , год
Лінійний роз'єднувач, QS	0,08	3,5
Трансформаторна підстанція 10/0,4 кВ (ТП)	0,18	2,75
Лінія 0, 38 кВ	0,315	4,1

Таблиця 3 – Результати розрахунку за вихідними даними табл.3

Показники надійності системи електропостачання		
Частота відмов системи (параметр потоку відмов), ω_c (1/рік)	?	
Середній час відновлення системи, τ_c (год):	?	
Середній час безвідмовної роботи, T_c (роки/години)	?	?
Ймовірність безвідмовної роботи системи за $t=1$ рік, $P_c(t)$?	
Ймовірність відмови системи за $t=1$ рік, $Q_c(t)$?	

Тема 3
Розрахунок показників надійності системи
з паралельним з'єднанням елементів у системі

Задача 6. Необхідно визначити показники надійності системи, структурна схема надійності якої приведена на рисунку 2.

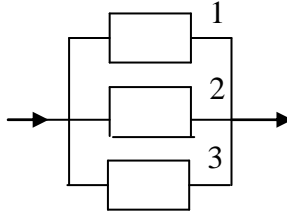


Рисунок 2 – Нерезервована ССН з трьома паралельно з'єднаними елементами

Таблиця 4 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності за ССН, що приведена на рисунку 4

Номер елемента схеми	Частота відмов елемента, 1/рік	Середній час відновлення елемента, год
1	1,2	16
2	2,7	6
3	5,2	24

Розв'язання.

Частота відмов (параметр потоку відмов)

$$\omega_c = 8760^{1-3} \omega_1 \tau_1 \omega_2 \tau_2 \omega_3 \tau_3 \left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3} \right) = 1.37 \cdot 10^{-4} \text{ 1/рік.}$$

Середній час відновлення

$$\tau_c = \frac{1}{\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_2} + \frac{1}{\tau_3}} = 3.69 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи системи за $t=1$ рік

$$P_c(1) = e^{-\omega t} = e^{-0,000137 \cdot 1} = 0,999863.$$

Ймовірність відмови системи за $t=1$ рік

$$Q_c = 1 - e^{-0,000137 \cdot 1} = 0,000137.$$

Задача для самостійного рішення 6. Необхідно визначити показники надійності системи з 4-ма паралельно з'єднаними елементами.

Таблиця 5 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності системи з 4-ма паралельно з'єднаними елементами

Номер елемента схеми	Частота відмов елемента, 1/рік	Середній час відновлення елемента, год
1	1,2	16
2	2,7	6
3	5,2	24
4	2,3	17

Тема 4

Розрахунок показників надійності системи зі змішаним з'єднанням елементів у системі

Задача 7. Необхідно визначити показники надійності технічної системи електропостачання за структурною схемою, що приведена на рисунку 3.

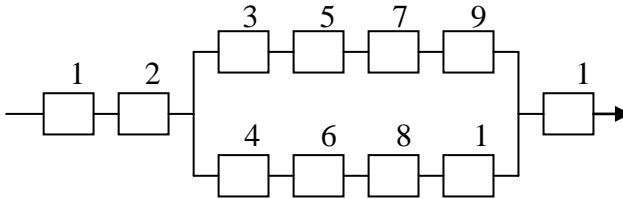


Рисунок 3

Таблиця 6 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності схеми, що приведена на рисунку 6

№	Частота відмов ω , 1/рік	Середній час відновл., год.
1	0.02	5.5
2	0.002	8
3,4	0.005	4.5
7,8	0.03	30
9,10	0.002	4
11	0.002	7
5,6	0.8	8

Розв'язання.

Для послідовно включених елементів 3, 5, 7, 9

$$\omega_{12} = \omega_3 + \omega_5 + \omega_7 + \omega_9 = 0.005 + 0.8 + 0.03 + 0.002 = 0.837 \frac{1}{\text{год}}$$

$$\tau_{12} = \frac{1}{0.837} (0.005 \cdot 4.5 + 0.8 \cdot 8 + 0.03 \cdot 30 + 0.002 \cdot 4) = 8.75 \text{ год.}$$

Для резервованої частини кола

$$\omega_{13} = 8760^{-1} \cdot \omega_{12} \cdot \omega_{12} \cdot \tau_{12} \cdot \tau_{12} \cdot \left(\frac{1}{\tau_{12}} + \frac{1}{\tau_{12}} \right) =$$

$$= \frac{\omega_{12}^2 \cdot 2 \cdot \tau_{12}}{8760} = 1.4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/рік}$$

$$\tau_{13} = \frac{1}{\frac{1}{\tau_{12}} + \frac{1}{\tau_{12}}} = \frac{\tau_{12}^2}{2\tau_{12}} = \frac{\tau_{12}}{2} = 4.379 \text{ год.}$$

Для послідовно з'єднаних елементів 1, 2, 13, 11 визначаємо частоту відмов

$$\omega_c = \omega_1 + \omega_2 + \omega_{13} + \omega_{11} = 0.0254 \text{ 1/рік,}$$

використовуючи відповідні вирази задачі 5, визначаємо середній час відновлення системи, що приведена на рисунку 6

$$\tau_c = 5.7531 \text{ год.,}$$

середній час безвідмовної роботи

$$T_c = 39,37 \text{ р,}$$

ймовірність безвідмовної роботи системи за $t=1$ рік

$$P_c = 0,9749,$$

ймовірність відмови системи за $t=1$ рік

$$Q_c = 2,51 \cdot 10^{-2}.$$

Задача для самостійного рішення 7. Необхідно визначити показники надійності технічної системи за схемою, що приведена на рисунку 3, але з вихідними даними, що приведені у таблиці 7

Таблиця 7 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності

№	Частота відмов ω , 1/рік	Середній час відновл., год.
1	0.01	5.2
2	0.001	7
3,4	0.004	4.9
7,8	0.02	14
9,10	0.001	2
11	0.01	6
5,6	0.7	4

Тема 5
Прогнозування технічного стану ізоляції
електротехнічних виробів в експлуатації шляхом
комп'ютерного моделювання

Задача для самостійного рішення 9. Надійшло в експлуатацію 7 електротехнічних виробів ($N=7$), що мають початковий опір ізоляції $R_{\text{поч}}=60$ МОм. Після напрацювання t_e годин опір ізоляції кожного виробу наведений у таблиці з вихідними даними для розрахунків.

Таблиця 8 – Вихідні дані для розрахунку

№ вар	t_e	R_i						
1	2100	35	31	33	36	30	32	37
2	2200	37	35	31	33	36	30	32
3	2300	40	37	35	31	33	36	30
4	2400	33	40	37	35	31	33	36
5	2500	31	33	40	37	35	31	33
6	2600	30	31	33	40	37	35	31
7	2700	35	30	31	33	40	37	35
8	2800	29	35	30	31	33	40	37
9	2900	25	29	35	30	31	33	40
10	3000	28	25	29	35	30	31	33
11	3100	24	28	25	29	35	30	31
12	3200	32	24	28	25	29	35	30
13	3300	27	32	24	28	25	29	35
14	3400	22	27	32	24	28	25	29
15	3500	23	22	27	32	24	28	25
16	3600	21	23	22	27	32	24	28
17	3700	25	21	23	22	27	32	24
18	3800	35	25	21	23	22	27	32
19	3900	24	35	25	21	23	22	27
20	4000	31	24	35	25	21	23	22
21	4100	26	31	24	35	25	21	23
22	4200	21	26	31	24	35	25	21
23	4300	20	21	26	31	24	35	25
24	4400	22	20	21	26	31	24	35
25	4500	31	22	20	21	26	31	24
26	4600	29	31	22	20	21	26	31
27	4700	28	29	31	22	20	21	26
28	4800	23	28	29	31	22	20	21
29	4900	26	23	28	29	31	22	20
30	5000	19	26	23	28	29	31	22

Використовуючи α -розподілення, визначити оптимальний час профілактичних заходів технічної експлуатації для підвищення надійності електротехнічних виробів t_n при допустимій ймовірності відмов $Q_{\text{доп}}=0,05$ та мінімальному зменшенні опору ізоляції до $R_{\text{доп}}=0,5$ МОм.

Скласти комп'ютерну програму та виконати розрахунки за допомогою ПК з шагом ітерацій $\Delta t = 10$ годин.

Алгоритм розрахунків

1. Математичне сподівання опору ізоляції в момент вимірювання розрахувати за виразом

$$m_e = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i, \text{ МОм} \quad (5)$$

2. Середнє квадратичне відхилення опору ізоляції в момент вимірювання розрахувати за виразом

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - m_e)^2}, \text{ МОм} \quad (6)$$

3. Математичне сподівання швидкості зміни опору розрахувати за виразом

$$m_R = \frac{|m_e - R_{\text{ноч}}|}{t_e}, \text{ МОм/год.} \quad (7)$$

4. Середнє квадратичне відхилення швидкості зміни опору розрахувати за виразом

$$\sigma_R = \frac{\sigma_e}{t_e}, \text{ МОм/год.} \quad (8)$$

5. Параметри α -розподілення розрахувати за виразами

$$\alpha = \frac{m_R}{\sigma_R}; \quad \beta = \frac{R_{noc} - R_{\partial on}}{\sigma_R} \quad (9)$$

6. Визначити періодичність профілактичних випробувань із виразу:

$$Q_{\partial on} \leq \int_0^{t_n} \frac{\beta}{t^2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\beta}{t} - \alpha \right)^2} \cdot dt = \sum_{i=1}^{N=\frac{t_n}{\Delta t}} f(t + \Delta t) \cdot \Delta t \quad (10)$$

Тема 6
Автоматизація керування технічною експлуатацією
обладнання РЕС

Завдання: скласти комп'ютерну програму оцінки технічного стану обладнання РЕС, використовуючи методику з Практикуму з обліку та аналізу технічного стану розподільних мереж напругою 0,38-20 кВ з повітряними лініями електропередачі: навч. посіб. для студентів вищ. навч. закл. /І. М. Трунова, О. А. Савченко, В. Г. Пазій. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/14377/1/Pr_obliku_%20analizu_16.pdf

Список використаних джерел

1. Лут М. Т. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК/ М. Т. Лут, О. В. Мірошник, І. М. Трунова. - Харків: Факт, 2008. – 438 с. – Бібліогр.: с. 431-437.
2. Козирський В. В. Методи та моделі розрахунку надійності систем електропостачання: монографія/ В. В. Козирський, О. В. Гай - К.: Гнозіс, 2013.
3. Журахівський А.В. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. – Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452.
4. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Надійність електричних мереж» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання спец. 7.090603 - “Електротехнічні системи електроспоживання”, спец. 8.090603 - “Електротехнічні системи електроспоживання”, спец. 7.050701 - “Електротехніка та електротехнології” та спец. 8.050701 - “Електротехніка та електротехнології”) Укл.: Рожков П.П., Рожкова С.Е – Харків: ХНАМГ, 2008. – 40 с.
5. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів : [навчальний посібник] / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. - Вінниця : ВНТУ, 2012. – 160 с.
6. Вплив якості електроенергії на технічні показники електроустановок та на ефективність агропромислового виробництва: метод. вказівки до виконання практичної роботи з дисц. «Організація технічної експлуатації енергетичного обладнання технологічних систем АПВ» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 208 Агроінженерія/ Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; упоряд.: І. М. Трунова, Д. В. Бондаренко.- Харків : [б. в.], 2020.- 20 с.
6. Надійність машин [Текст] : практикум / О. С. Гринченко [та ін.] ; за ред.: О. С. Гринченка, В. Г. Кухтова ; Харків. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка. - Харків : Планета-Прінт, 2018. - 140 с. - Бібліогр.: с. 136-137.

Навчальне видання

**Методичні вказівки
для виконання практичних робіт
з дисципліни
«Основи надійності та діагностування
енергетичного обладнання»**

**для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

**Упорядник:
ТРУНОВА Ірина Михайлівна**

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. 1,16.
Наклад ___пр.
Державний біотехнологічний університет
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44