Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА
Навчально-науковий інститут енергетики та комп’ютерних технологій
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни

«Надійність технічних пристроїв»

для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Харків 2020

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Навчально-науковий інститут енергетики та комп'ютерних технологій

Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

Методичні вказівки
для виконання практичних робіт
з дисципліни

«Надійність технічних пристроїв»

для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Затверджено рішенням
Науково-методичної ради
ННІ ЕКТ ХНТУСГ
Протокол № 5
від 31.01.2020 р.

Харків 2020

УДК 372.862

Схвалено
на засіданні кафедри
електропостачання та енергетичного менеджменту
Протокол № 6 від 31.01.2020 р.

Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни «Надійність технічних пристроїв» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; упоряд.: І. М. Трунова. - Харків : [б. в.], 2020.-32 с.

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

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання, спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Рецензенти:
О. Д. Черенков, д-р техн. наук, проф. кафедри біомедичної інженерії та теоретичної електротехніки Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;
С. О. Тимчук, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;

Відповідальний за випуск (зав. каф.): О. О. Мірошник, д-р техн. наук, проф.

Зміст

Стор.

Кількість балів за правильні відповіді задач для самостійного рішення (максимальна кількість балів 60)

№ задачі	Бали	№ задачі	Бали	№ задачі	Бали	№ задачі	Бали	№ задачі	Бали
1	1	6	1	11	1	16	2	21	3
2	1	7	1	12	1	17	9	22	3
3	1	8	1	13	1	18	3	23	3
4	1	9	1	14	5	19	3	24	3
5	1	10	1	15	3	20	3	25	7

Тема 1.
Поняття «ймовірність події».
Основні теореми теорії ймовірності

Задача 1. У ящику 10 автоматичних вимикачів і 6 пристроїв захисного відмикання (ПЗВ). При монтажу схеми навмання виймають два апарата. Яка ймовірність того, що вони будуть однаковими?

Розв'язання. Випробування – витягування з ящика двох апаратів. Подія А – апарати будуть однаковими; подія A_1 – будуть автоматичні вимикачі, подія A_2 – будуть вийняті ПЗВ.

Очевидно $A=A_1+A_2$, і події A_1 і A_2 несумісні. Спочатку обчислимо $P(A_1)$ та $P(A_2)$.

Число способів взяти 2 апарати з 16 дорівнює C_{16}^2. Число випадків, сприятливих для події A_1 дорівнює C_{10}^2, сприятливих для події A_2 дорівнює C_6^2.

Так як
$$C_n^m = \left(\frac{n!}{(n-m)!\cdot m!}\right)$$

одержимо,

$$P(A_1) = \frac{C_{10}^2}{C_{16}^2} = \frac{10\cdot 9}{1\cdot 2}\cdot\frac{1\cdot 2}{16\cdot 15} = \frac{3}{8};$$

$$P(A_2) = \frac{C_6^2}{C_{16}^2} = \frac{6\cdot 5}{1\cdot 2}\cdot\frac{1\cdot 2}{16\cdot 15} = \frac{1}{8}.$$

Отже,
$$P(A) = \frac{3}{8} + \frac{1}{8} = \frac{1}{2}.$$

Відповідь. 1/2.

Задача 2. Ймовірність виготовлення якісної деталі на першому верстаті дорівнює 0,95 (95%), на другому верстаті - 0,9 (90%). На першому верстаті виготовлено 3 деталі, на другому - 2 деталі. З якою ймовірністю можна стверджувати, що всі деталі якісні?

Розв'язання.

Введемо позначення:

A_i - деталь, виготовлена на першому верстаті, виявилась якісною (i =1; 2; 3),

B_i - деталь, виготовлена на другому верстаті, виявилась якісною (i =1; 2).

З умови задачі $P(A_i)=0,95$; $P(B_i)=0,9$.

Подію, ймовірність якої необхідно обчислити, позначимо через С.

Тоді $C=A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot B_1 \cdot B_2$

З незалежності множників отримаємо

$P(C)=P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot P(A_3) \cdot P(B_1) \cdot P(B_2)=0,95^3 \cdot 0,9^2=0,69$.

Відповідь. 0,69.

Задача 3. Студент шукає потрібну йому формулу у трьох довідниках. Ймовірність того, що формула знаходиться у першому дорівнює 0,6, а у другому – 0,7, у третьому – 0,6. Знайти ймовірність того, що формула міститься в трьох довідниках.

Розв'язання. Випробування – студент шукає формулу у трьох довідниках.

Подія A_1 – формула знаходиться у першому довіднику.

Подія A_2 – формула знаходиться у другому довіднику.

Подія A_3 – формула знаходиться у третьому довіднику.

Оскільки існування формули в довіднику не залежить від ймовірності існування формули у інших довідниках, то події A_1, A_2, A_3 – незалежні. Тому для розв'язання задачі скористаємося формулою (10) для випадку третьої незалежних подій .

Маємо $P(A_1,A_2,A_3) = 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,6=0,252$.

Відповідь: 0,252.

Задача 4. Студент прийшов на екзамен, знаючи лише 20 з 25 екзаменаційних питань. Яка ймовірність того, що він знає відповіді на всі три запитання білета?

Розв'язання Випробування – студент отримає три запитання.

Подія A_1 – студент знає відповідь на перше запитання.

Подія A_2 – студент знає відповідь на друге запитання.

Подія A_3 –студент знає відповідь на третє запитання.

Оскільки студент знає відповіді лише на 20 запитань із 25, то події A_1, A_2, A_3 – залежні. Тому для розв'язання задачі скористаємося формулою (11) для випадку трьох залежних подій

$$P(A_1, A_2, A_3) = P(A_1) \cdot P(A_2 / A_1) \cdot P(A_3 / A_2, A_1).$$

$$P(A_1, A_2, A_3) = \frac{20}{25} \cdot \frac{19}{24} \cdot \frac{18}{23} = \frac{6840}{13800} \approx 0.49.$$

Відповідь: 0,49.

Задача 5. Людина може захворіти на грип при попаданні в організм однієї вірусної клітини. Знайти ймовірність того, що людина захворіє на грип, якщо в її оточенні існує чотири види різних штамів грипу з ймовірністю потрапити в організм людини однієї вірусної клітини відповідно 0,3; 0,4; 0,6; 0,8.

Розв'язання. За умовою задачі, людина захворіє на грип при попаданні в організм принаймні однієї з чотирьох вірусних клітин. Це дає підстави для використання формули (14). Відомі ймовірності потрапляння в організм людини вірусних клітин, а саме: $p_1 = 0{,}3$, $p_2 = 0{,}4$, $p_3 = 0{,}6$, $p_4 = 0{,}8$ відповідно $q_1 = 1 - 0{,}3 = 0{,}7$, $q_2 = 1 - 0{,}4 = 0{,}6$, $q_3 = 1 - 0{,}6 = 0{,}4$, $q_4 = 1 - 0{,}8 = 0{,}2$. Отже, підставивши знайдені значення у формулу $P(A) = 1 - q_1 \cdot q_2 \cdot \ldots \cdot q_n$, маємо: P(A)=1-0,7·0,6·0,4·0,2=0,9664

Відповідь: 0,9664.

Задача 6. Визначити ймовірність виникнення максимального навантаження в системі при роботі електростанції за графіком навантаження, коли максимальне навантаження було досягнуто два рази на 2 та 4 години відповідно.

$$P(A) = K_{max} = \sum_{i=1}^{I} T_{max\,i} / 24,$$

де $\sum_{i=1}^{I} T_{max\,i}$ - число годин максимального навантаження за добу.

Якщо враховувати, що максимальне навантаження було досягнуте два рази на дві та чотири години відповідно, то

$$P(A) = (2+4)/24 = 0{,}25.$$

Задача 7. Знайти ймовірність відмови парогенератора $P_{ПГ}$, якщо відомо, що ймовірність безвідмовної роботи становить $R_{ПГ}$= 0,97.

Приймаються позначення $P(A)=R_{ПГ}$; $P(\overline{A})=P_{ПГ}$.

Ймовірність відмови гідрогенератора визначається з виразу $P_{ПГ}=1-R_{ПГ}=1-0,97=0,03$.

Задача 8. На електростанції працюють три турбогенератори, ймовірність безвідмовної роботи кожного з них $R_{ТГ}=0,98$, ймовірність відмови $P_{ТГ}= 0,02$. Визначити ймовірність відмови одночасно двох турбогенераторів

Формула біноміального розподілу $P_n^m = C_n^m \cdot R_{ПГ}^{n-m} \cdot P_{ПГ}^m$

$$P_3^2 = C_3^2 \cdot R_{ТГ}^1 \cdot P_{ТГ}^2 = \left(\frac{3!}{(3-2)!\cdot 2!}\right) \cdot 0,98 \cdot 0,02^2 = 0,0012$$

Задача 9. Визначити ймовірність відмови блоку ТЕС, якщо відомо, що ймовірність відмови генератора $P_Г$ =0,004, трансформатора - $P_Т$ = 0,0003.

$$P(A+B) = P(A)+ P(B) - P(A)\cdot P(B),$$

де $P(A)=P_Г$; $P(B)=P_Т$.

$$P(A+B) = 0,004 + 0,0003 - 0,004\cdot 0,0003 = 0,43\cdot 10^{-3}$$

Задача 10. Відомо, що схема РУ електростанції перебуває в нормальному режимі з ймовірністю $P_н$=0,92. Визначити ймовірність ремонтного стану схеми $P_р$

$$P_н=P(A);\quad P_Р =(\overline{A});\quad P_Р=1-0,92=0,08.$$

Задача 11. Ймовірність відмови блоку на ТЕС становить $P_б$=0,001. Визначити ймовірність відмови блоку в період максимального навантаження в системі. Ймовірність максимуму в системі протягом доби становить $P_{max}=K_{max}$=0,8.

Введемо позначення

$P(A) = P_б$, $P(B) = K_{max}$,

тоді $P(AB)= P_б\cdot Kmax=0.001\cdot 0,8=0,0008$.

Задача 12. Для власних потреб електростанція живиться від двох трансформаторів. Ймовірність відмови кожного з них становить P_T = 0,001. Визначити ймовірність одночасної відмови обох трансформаторів: $P(A) = P_{T1}$ та $P(B)=P_{T2}$

$$P(AB)= P_{T1}\cdot P_{T2}=0{,}001\cdot 0{,}001=0{,}000001.$$

Задача 13. Секція 6 кВ власних потреб ТЕС нормально живиться від робочого трансформатора, ймовірність відмови якого становить $P_{НТ}=0{,}01$. У випадку його відмови включається резервний за допомогою дії АВР. Імовірності відмов: резервного трансформатора $P_{РТ}=0{,}004$; автоматичного включення резерву $P_{АВР}=0{,}001$. Визначити ймовірність відмови секції 6 кВ власних потреб.

$P(A)=P_{РТ}$; $P(B)=P_{АВР}$; $P(C)=P_{НТ}$;

$P(A+B) = P_{РТ} + P_{АВР} = 0{,}004+0{,}001=0{,}005$;

$P((A+B)\cdot C)=P(A+B)\cdot P(C) =0{,}005\cdot 0{,}01=0{,}00005$.

Задача для самостійного рішення 1. У ящику 15 автоматичних вимикачів і 10 пристроїв захисного відмикання (ПЗВ). При монтажу схеми навмання виймають три апарата. Яка ймовірність того, що вони будуть однаковими?

Задача для самостійного рішення 2. Ймовірність виготовлення якісної деталі на першому верстаті дорівнює 0,98 (98%), на другому верстаті - 0,95 (95%), на третьому верстаті – 0,94 (94%). На першому верстаті виготовлено 4 деталі, на другому - 3 деталі, на третьому - 2. З якою ймовірністю можна стверджувати, що всі деталі якісні?

Задача для самостійного рішення 3. Студент шукає потрібну йому формулу у двох довідниках. Ймовірність того, що формула знаходиться у першому дорівнює 0,8, а у другому – 0,9. Знайти ймовірність того, що формула міститься в двох довідниках.

Задача для самостійного рішення 4. Студент прийшов на екзамен, знаючи лише 90 з 100 екзаменаційних питань. Яка ймовірність того, що він знає відповіді на всі три запитання білета?

Задача для самостійного рішення 5. Людина може захворіти на грип при попаданні в організм однієї вірусної клітини. Знайти ймовірність того, що людина захворіє на грип, якщо в її оточенні існує три види різних штамів грипу з ймовірністю потрапити в організм людини однієї вірусної клітини відповідно 0,2; 0,1; 0,5.

Задача для самостійного рішення 6. Визначити ймовірність виникнення максимального навантаження в системі при роботі електростанції за графіком навантаження, коли максимальне навантаження було досягнуто три рази на 1 та 2 та 3 години відповідно.

Задача для самостійного рішення 7. Знайти ймовірність відмови парогенератора $P_{ПГ}$, якщо відомо, що ймовірність безвідмовної роботи становить $R_{ПГ}$= 0,99.

Задача для самостійного рішення 8. На електростанції працюють чотири турбогенератори, ймовірність безвідмовної роботи кожного з них $R_{ТГ}$=0,99. Визначити ймовірність відмови одночасно трьох турбогенераторів.

Задача для самостійного рішення 9. Визначити ймовірність відмови блоку ТЕС, якщо відомо, що ймовірність відмови генератора РГ =0,002, трансформатора - РТ = 0,0001.

Задача для самостійного рішення 10. Відомо, що схема РУ електростанції перебуває в нормальному режимі з ймовірністю $P_н$=0,9. Визначити ймовірність ремонтного стану схеми $P_р$

Задача для самостійного рішення 11. Ймовірність відмови блоку на ТЕС становить $P_б$=0,002. Визначити ймовірність відмови блоку в період максимального навантаження в системі. Ймовірність максимуму в системі протягом доби становить P_{max}=K_{max}=0,9.

Задача для самостійного рішення 12. Для власних потреб електростанція живиться від двох трансформаторів. Ймовірність відмови кожного з них становить $P_Т$ = 0,002. Визначити ймовірність одночасної відмови обох трансформаторів: Р(А) = $P_{Т1}$ та Р(В)=$P_{Т2}$

Задача для самостійного рішення 13. Секція 6 кВ власних потреб ТЕС нормально живиться від робочого трансформатора, ймовірність відмови якого становить $P_{НТ}$=0,01. У випадку його відмови включається резервний за допомогою дії АВР. Імовірності відмов: резервного трансформатора $P_{РТ}$=0,005; автоматичного включення резерву $P_{АВР}$=0,001. Визначити ймовірність відмови секції 6 кВ власних потреб.

Тема 2.
Формула повної ймовірності.
Теорема гіпотез (формула Бейеса)

Задача 14. Досліджуються результати екзамену з у двох групах. У першій групі з 28 студентів 10 отримали оцінку „відмінно”, а в другій – з 22 студентів 7 студентів отримали оцінку „відмінно”. Яка ймовірність того, що навмання вибраний студент отримав на екзамені оцінку „відмінно”?

Розв'язання. Випробування – навмання обираємо одного студента із двох груп. Подія А – навмання вибраний студент на екзамені отримав оцінку „відмінно”. Це може статися, якщо студента вибрали з першої групи (гіпотеза H_1), або з другої (гіпотеза H_2). За статистичним означенням ймовірності маємо:

$$P(H_1) = \frac{28}{50},$$
$$P(H_2) = \frac{22}{50}.$$

Схематично задача представлена на рис. 1.

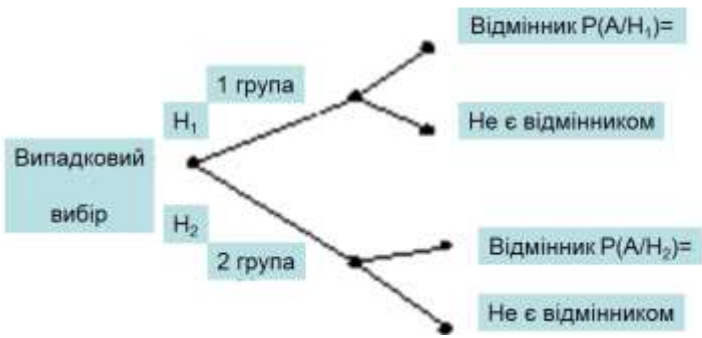

Рисунок 1

Застосуємо формулу повної ймовірності у випадку двох гіпотез

$$P(A)=P(H_1)\cdot P(A/H_1)+P(H_2)\cdot P(A/H_2).$$

Підставивши числові значення, маємо

$$P(A)=\frac{28}{50}\cdot\frac{10}{28}+\frac{22}{50}\cdot\frac{7}{22}=\frac{17}{50}\approx 0{,}34.$$

Відповідь: 0,34.

Задача 15. Робота генератора контролюється двома регуляторами. Розглядається певний період часу t, протягом якого бажано забезпечити безвідмовну роботу генератора. При наявності обох регуляторів генератор відмовляє з імовірністю $q_{1,2}$, при роботі тільки першого з них – з імовірністю q_1, при роботі тільки другого – з імовірністю q_2, при відмові обох регуляторів – з імовірністю q_0. Перший з регуляторів має надійність p_1, другий – p_2. Всі елементи виходять з ладу незалежно один від одного. Знайти повну надійність (ймовірність безвідмовної роботи) генератора.

Розв'язання. Розглянемо гіпотези:

$H_{1,2}$ - працюють обидва регулятори;

H_1 - працює тільки перший регулятор (другий вийшов з ладу);

H_2 - працює тільки другий регулятор (перший вийшов з ладу);

H_0 – обидва регулятори вийшли з ладу.

Подія:

A – безвідмовна робота генератора.

Імовірності гіпотез дорівнюють:

$P(H_{1,2})=p_1\cdot p_2$;

$P(H_1)=p_1\cdot(1-p_2)$;

$P(H_2)=p_2\cdot(1-p_1)$;

$P(H_0)=(1-p_1)\cdot(1-p_2)$.

Умовні ймовірності події A за цими гіпотезами дорівнюють

$P(A/H_{1,2})=1-q_{1,2}$;

$P(A/H_1)=1-q_1$;

$P(A/H_2)=1-q_2$;

$P(A/H_0)=1-q_0$.

За формулою повної імовірності одержимо

$P(A)=p_1\cdot p_2\cdot(1-\ q_{1,2})+p_1\cdot(1-p_2)\cdot(1-\ q_1)+\ p_2\cdot(1-p_1)\cdot(1-\ q_2)+\ (1-p_1)\cdot(1-p_2)\cdot(1-q_0)$.

Задача 16. У першому ящику маємо 8 стандартних і 2 браковані деталі, а у другому – 5 стандартних і 5 бракованих. З обраного ящика навмання взято дві деталі, які виявилися стандартними. Яка ймовірність того, що їх взяли з другого ящика?

Розв'язання. Випробування – з обраного ящика навмання взято дві деталі. Введемо позначення: подія А – взято дві стандартні деталі; гіпотеза H_1 – навмання взяті дві стандартні деталі з першого ящика; гіпотеза H_2 – навмання взяті дві стандартні деталі з другого ящика.

Обчислимо ймовірності цих подій

$$P(H_1)=\frac{1}{2},$$

$$P(H_2)=\frac{1}{2}$$

$$P(A/H_1)=\frac{C_8^2}{C_{10}^2}=\frac{28}{45},$$

$$P(A/H_2)=\frac{C_5^2}{C_{10}^2}=\frac{10}{45}.$$

Для переоцінки ймовірності H_2 використаємо формулу Бейєса:

$$P(H_2/A)=\frac{P(H_2)\cdot P(A/H_2)}{P(H_1)P(A/H_1)+P(H_2)P(A/H_2)}=\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{10}{45}}{\frac{1}{2}\cdot\frac{28}{45}+\frac{1}{2}\cdot\frac{10}{45}}=\frac{5}{19}$$

.

Відповідь: $\frac{5}{19}$.

Задача 17. На підстанції ведуть спостереження за режимом роботи трансформатора за допомогою двох приладів. Трансформатор може перебувати в двох різних режимах – в номінальному S_2 та в режимі перевантаження S_1, випадково переходячи з одного в іншій. Довгостроковою практикою встановлено, що приблизно 30% часу він перебуває в режимі S_1, а 70% - в режимі S_2. Вимірювальний прилад 1 подає помилкову інформацію приблизно в 2% всіх випадків, а вимірювальний прилад 2 – в 8%. В якийсь момент часу показання приладу 1 відповідали режиму S_1, а приладу 2 - режиму S_2. Визначити, в якому з режимів перебуває трансформатор з більшою ймовірністю.

Розв'язання. Природно вірити показанням приладу, для якого більша ймовірність того, що вони відповідають істині. Застосовують формулу Бейеса. Для цього використовують гіпотези про стан об'єкта:

H_1 - об'єкт перебуває в стані S_1;

H_2 - об'єкт перебуває в стані S_2.

Спостережена подія А полягає в наступному: прилад 1 показав, що трансформатор перебуває в стані S_1 , а прилад 2 – в стані S_2. Ймовірність гіпотез до експерименту $P(H_1)=0,3$; $P(H_2)=0,7$.

Знаходять умовні ймовірності спостереженої події А за цих гіпотезах. За гіпотези H_1 , щоб відбулася подія А, потрібно, щоб перший прилад дав вірну інформацію, а другий – помилкову

$$P(A/H_1)=(1-0,02)\cdot 0,08=0,0784.$$

Аналогічно

$$P(A/H_2)=(1-0,08)\cdot 0,02=0,0184.$$

Застосовуючи формулу Бейеса, знайдемо ймовірність того, що істинний режим трансформатора – S_1

$$P(H/A)=(0,3\cdot 0,0784)/(0,0784+0,7\cdot 0,0184)=0,645.$$

Таким чином, з показань двох приладів більш правдоподібним є показання 1-го приладу.

Задача для самостійного рішення14. Скласти комп'ютерні програми розрахунків в електронних таблицях Microsoft Excel за прикладами рішення задач 15 та 16.

Тема 3.
Випадкова величина та її характеристики.
Побудова гістограми розподілу випадкової величини

Задача 18. Студент N то приходить на заняття, то не приходить. Написати у вигляді таблиці закон розподілу випадкової величини X – кількість появи N на 2-х заняттях поспіль.

Розв'язання. Ймовірність появи N на заняттях в кожному випробуванні p=1/2, отже, ймовірність не появи q=1-1/2=1/2.

На двох заняттях N може з'явитися або 2 раз, або 1 раз, або зовсім не з'явитися. Таким чином, можливі значення X такі: x1=2, x2=1, x3=0. Знайдемо ймовірності цих можливих значень за формулою Бернуллі:

$$P_2(2) = C_2^2 p^2 = (1/2) = 0{,}25,$$
$$P_2(1) = C_2^1 pq = 2 \cdot (1/2) \cdot (1/2) = 0{,}5,$$
$$P(0) = C_2^0 q = (1/2)^2 = 0{,}25.$$

Напишемо шуканий закон розподілу у таблиці 1.

Таблиця 1

X	2	1	0
p	0,25	0,5	0,25

Для перевірки: 0,25+0,5+0,25=1.

Задача для самостійного рішення 15. Студент N то приходить на заняття, то не приходить. Написати у вигляді таблиці закон розподілу випадкової величини X – кількість появи студента N на 3-х заняттях поспіль. Побудувати гістограму розподілу випадкової величини.

Задача для самостійного рішення 16. Використовуючи електронні таблиці Microsoft Excel, визначити математичне сподівання строку служби асинхронних двигунів в умовах тваринницьких приміщень за статистичними даними таблиці 2 (математичним сподіванням дискретної випадкової величини називається сума добутків всіх можливих значень випадкової величини на ймовірності цих значень).

Таблиця 2 – Статистичні дані строку служби асинхронних електродвигунів (роки) в умовах тваринницьких приміщень

Випадкова величина X									
7,81	11,66	7,82	9,11	10,18	11,60	7,01	7,43	9,23	10,78
10,36	10,93	9,42	8,06	11,73	9,13	11,31	11,82	10,50	11,81
10,02	11,14	11,65	9,48	9,00	10,90	7,24	9,25	8,79	10,07
10,19	8,77	9,01	8,06	11,97	8,36	8,25	11,28	9,61	10,06
8,28	8,44	8,73	9,52	9,10	7,46	9,03	11,91	9,87	11,04
8,43	8,98	11,61	8,97	10,32	9,01	7,85	7,24	11,68	10,41
7,75	7,68	10,30	7,43	9,12	11,94	7,34	10,10	8,85	7,77
9,27	8,43	10,75	9,09	10,45	10,12	7,51	8,81	8,72	7,02
10,34	8,81	10,55	10,79	7,11	10,27	10,85	11,10	11,54	11,96
7,88	8,76	9,67	8,70	8,74	8,61	9,53	11,19	10,59	9,87

Тема 4.
Аналіз законів розподілу випадкової величини. Перевірка гіпотези про закон розподілу випадкової величини

Задача 19. 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 20. Протягом деякого періоду часу проводилося спостереження за роботою одного відновлюваного ТП. За весь період спостереження було зареєстровано 15 відмов. До початку спостереження ТП пропрацював 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 $\sum_{i=1}^{m(t_1,t_2)} t_{oi} = 975$ год.

Знаходимо середнє напрацювання до відмови:

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

Задача 21. 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

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

Задача 22. Технічний пристрій має середнє напрацювання до відмови 25 год. і середній час відновлення 1,25 год. Визначить коефіцієнт готовності ТП.

Розв'язання: $К_г$=25/(25+1,25)=0,95

Задача 23. Відомо, що інтенсивність відмов ТП λ=0,01 1/год, а середній час відновлення tв=12 год. Потрібно визначити коефіцієнт готовності ТП.

Розв'язання:

Середнє напрацювання до першої відмови буде дорівнювати:

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

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

Задача 24. Час роботи об'єкта до відмови підпорядковане закону Вейбулла з параметрами k=1,5 і λ_0 =1·10-4 1/год. Потрібно обчислити кількісні характеристики надійності об'єкта:

• ймовірність безвідмовної роботи і інтенсивність відмов Для заданого часу t=100 ч;

• середній час безвідмовної роботи Т.

Розв’язання

Обчислимо ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t)= \exp(-1\cdot 10^{-4}\cdot 100^{1,5})=0,905$$

та інтенсивність відмов

$$\lambda(t)= 1\cdot 10^{-4}\cdot 1,5'\cdot 100^{(1,,5-1)}=1,5\cdot 10^{-3}\ 1/\text{год.}$$

Для визначення середнього часу безвідмовної роботи спочатку визначимо за таблицями (або, використовуючи он-лайн калькулятор) гамма-функцію з врахуванням правила $z\cdot\Gamma(z)=\Gamma(1+z)$:

$$\Gamma(1/1,5)=\Gamma(0,666)=\Gamma(1,666)/0,666=$$
$$0,9017/0,666=1,354$$

Звідси час безвідмовної роботи

$$To= 1,354/1,5\cdot(1\cdot 10^{-4})\cdot(1/1,5)=419\ \text{год.}$$

Задача для самостійного рішення 17. Використовуючи електронні таблиці Microsoft Excel, побудувати гістограму розподілу випадкової величини x за даними таблиці 2 попередньої задачі (застосовуйте функції ЧАСТОТА, СОРТИРОВКА, СРЗНАЧ тощо)

Методика побудови гістограми.

Весь діапазон вимірюваних значень величини x ділять на інтервали, кількість яких визначають за формулою

$$S=1+3,3*LOG10(n)$$

Обчислюють величину границь інтервалів, враховуючи x_{max} та x_{min}.

$$x_1 = x_{min} - \frac{1}{2}\cdot\frac{x_{max} - x_{min}}{S-1};$$

$$x_2 = x_{min} + \frac{1}{2}\cdot\frac{x_{max} - x_{min}}{S-1};$$

$$x_3 = x_2 + \frac{x_{max} - x_{min}}{S-1};$$

$$x_i = x_{i-1} + \frac{x_{max} - x_{min}}{S-1};$$

$$x_{S+1} = x_S + \frac{x_{max} - x_{min}}{S-1}.$$

Підраховують кількість m_i, що дорівнює кількості значень величини x, які потрапили в i-й інтервал. Це число поділяють на загальне число вимірів n і знаходять частоту, що відповідає даному інтервалу $p_i=m_i/n$.

Сума частот усіх інтервалів повинна дорівнювати одиниці.

Будують статистичний ряд, в якому наведені інтервали в порядку їхнього розташування уздовж осі абсцис і відповідні частоти та оформлюють його в вигляді таблиці 3.

Таблиця 3.

Межі інтер-валів	x1…x2	x2…x3	x3…x4	x4…x5	x5…x6	x6…x7	x7…x8	x8…x9
m								
Pi								
h								

Статистичний ряд креслять графічно у вигляді гістограми. Гістограму будують в такий спосіб. На осі абсцис відкладають інтервали і на кожному з інтервалів будують прямокутник, площа якого дорівнює частоті даного інтервалу. Для побудови гістограми потрібно частоту кожного інтервалу (p_i) поділити на його ширину (наприклад, ширина першого прямокутника $L_1=x_2-x_1$) й отримане число приймають за висоту прямокутника (h_i). За способом побудови гістограми виходить, що повна її площа дорівнює 1. Візуальна оцінка гістограми дозволяє висунути гіпотезу щодо закону розподілу сукупності випадкових чисел x.

Задача для самостійного рішення 18. На випробування направлено 2000 ТП. За 4000 год. відмовило 20 ТП, а за інтервал часу 4000 ÷ 6000 год. відмовило ще 50 ТП. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови протягом 4000 год., та інтенсивність відмови у проміжку часу 4000 ÷ 6000 год.

Задача для самостійного рішення 19. 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 20. 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 21. Технічний пристрій має середнє напрацювання до відмови 65 год. і середній час відновлення 1,25 год. Визначить коефіцієнт готовності ТП.

Задача для самостійного рішення 22. Відомо, що інтенсивність відмов ТП λ=0,02 1/год, а середній час відновлення tв=10 год. Потрібно визначити коефіцієнт готовності ТП.

Задача для самостійного рішення 23. Відомо, що наробіток між відмовами ТП підлягає експонентному розподілу. Визначити ймовірність безвідмовної роботи ТП в інтервалі наробітку, рівному наробітку на відмову То. Вихідні дані обрати самостійно.

Задача для самостійного рішення 24. Час роботи об'єкта до відмови підпорядковане закону Вейбулла з параметрами k=1,3 і λ_0 =1·10-4 1/год. Потрібно обчислити кількісні характеристики надійності об'єкта:

• ймовірність безвідмовної роботи і інтенсивність відмов Для заданого часу t=200 ч;

• середній час безвідмовної роботи T.

Тема 5.
Довірчий інтервал. Довірча ймовірність.
Визначення обсягу спостережень.

Задача 25. Виконані 100 дослідів над величиною x (дані задачі для самостійного рішення 16), результати зведені до таблиці 4.

Знайти оцінку $\tilde{m}$ для математичного очікування m величини x і побудувати довірчий інтервал, відповідний довірчої ймовірності $\beta = 0{,}9$.

Розв'язання.

$$\tilde{m} = \frac{1}{100} \cdot \sum_{i=1}^{100} x_i = 9{,}54.$$

За формулою для визначення дисперсії розраховують незміщену оцінку $\tilde{D}$:

$$\tilde{D}[x] = \frac{1}{100-1} \cdot \sum_{i=1}^{100} (x_i - m_x)^2 = 1{,}9$$

$$\sigma_{\tilde{m}} = \sqrt{\frac{D}{n}} = 1{,}141.$$

За таблицею знаходять $t_\beta = 1{,}643$.

$$\varepsilon_\beta = \sigma_{\tilde{m}} \cdot t_\beta = 1{,}141 \cdot 1{,}643 = 0{,}231.$$

Довірчі границі:

$$m_1 = \tilde{m} - \varepsilon_\beta = 9{,}54 - 0{,}231 = 9{,}31,$$

$$m_2 = \tilde{m} + \varepsilon_\beta = 9{,}54 + 0{,}231 = 9{,}77.$$

Довірчій інтервал:

$$I_\beta = (9{,}31; 9{,}77)$$

Таблиця 4

i	x	i	x	i	x	i	x	i	x
1	7,81	21	7,82	41	10,18	61	7,01	81	9,23
2	10,36	22	9,42	42	11,73	62	11,31	82	10,50
3	10,02	23	11,65	43	9,00	63	7,24	83	8,79
4	10,19	24	9,01	44	11,97	64	8,25	84	9,61
5	8,28	25	8,73	45	9,10	65	9,03	85	9,87
6	8,43	26	11,61	46	10,32	66	7,85	86	11,68
7	7,75	27	10,30	47	9,12	67	7,34	87	8,85
8	9,27	28	10,75	48	10,45	68	7,51	88	8,72
9	10,34	29	10,55	49	7,11	69	10,85	89	11,54
10	7,88	30	9,67	50	8,74	70	9,53	90	10,59
11	11,66	31	9,11	51	11,60	71	7,43	91	10,78
12	10,93	32	8,06	52	9,13	72	11,82	92	11,81
13	11,14	33	9,48	53	10,90	73	9,25	93	10,07
14	8,77	34	8,06	54	8,36	74	11,28	94	10,06
15	8,44	35	9,52	55	7,46	75	11,91	95	11,04
16	8,98	36	8,97	56	9,01	76	7,24	96	10,41
17	7,68	37	7,43	57	11,94	77	10,10	97	7,77
18	8,43	38	9,09	58	10,12	78	8,81	98	7,02
19	8,81	39	10,79	59	10,27	79	11,10	99	11,96
20	8,76	40	8,70	60	8,61	80	11,19	100	9,87

Тема 6.
Послідовне з'єднання елементів.
Паралельне з'єднання елементів

Задача 26. Необхідно визначити показники надійності системи, що складається з п’яти послідовно з'єднаних елементів (див. рисунок 2) за вихідними даними, що приведені в таблиці 5.

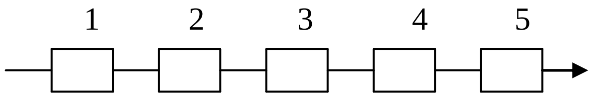

Рисунок 2 – Нерезервована ССН з п’ятьма послідовно з’єднаними елементами

Таблиця 5 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності за СНН, що приведена на рисунку 2

Частота відмов i-го елемента, ω_i,1/рік	Середній час відновлення i-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

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

Середній час відновлення цієї системи (год):

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

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 25. Необхідно визначити показники надійності системи (див. рис.3-4 та табл. 6)

Рисунок 3

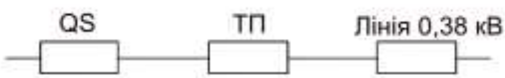

Рисунок 4

Таблиця 6 – 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 7 – Результати розрахунку за вихідними даними табл.6

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, $Q_c(t)$		

Задача 27. Необхідно визначити показники надійності системи, структурна схема надійності якої приведена на рисунку 5.

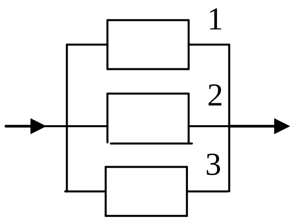

Рисунок 5 – Нерезервована ССН з трьома паралельно з'єднаними елементами

Таблиця 8 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності за СНН, що приведена на рисунку 5

Частота відмов i-го елемента, 1/рік	Середній час відновлення i-го елемента, год
1,2	16
2,7	6
5,2	24

Розв'язання.
Частота відмов (параметр потоку відмов)

$$\omega_c = 8760^{1-3}\omega_1\tau_1\omega_2\tau_2\omega_3\tau_3\left(\frac{1}{\tau_1}+\frac{1}{\tau_2}+\frac{1}{\tau_3}\right) = 1.37\cdot10^{-4}\ \text{1/рік.}$$

Середній час відновлення

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

Ймовірність безвідмовної роботи системи за t=1 рік

$$P_c(1)=e^{-\omega\tau}=e^{-0,000137\cdot1} =0,999863.$$

Ймовірність відмови системи за t=1 рік

$$Q_c=1-e^{-0,000137\cdot1} =0,000137.$$

Тема 7.
Змішане з'єднання елементів

Задача 28. Необхідно визначити показники надійності системи електропостачання за схемою, що приведена на рисунку 6.

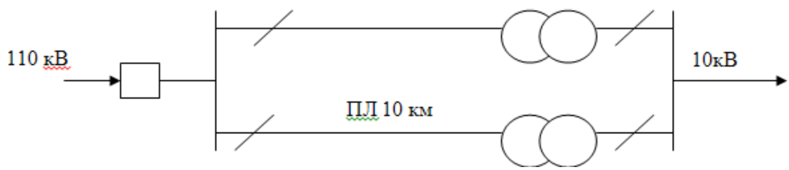

Рисунок 6

ССН для схеми, що приведена на рисунку 6, зображена на рисунку 7.

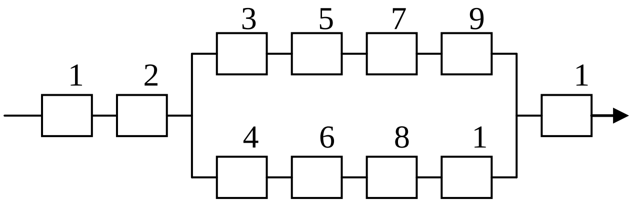

Рисунок 7

Таблиця 9 – Вихідні дані для розрахунку показників надійності схеми, що приведена на рисунку 6

№	Елемент	Умовн. позн.	Частота відмов ω, 1/рік	Середній час відновл.,год.
1	Осередок вимикача 110 кВ	В110	0.02	5.5
2	Шини ВРП 110 кВ	Ш110	0.002	8
3,4	Осередок роз'єд. ВРП 110 кВ	Р110	0.005	4.5
7,8	Трансформатор 110/10 кВ	Т110	0.03	30
9,10	Осередок роз'єд.10 кВ	РВ10	0.002	4
11	Шини РП 10 кВ	Ш10	0.02	7
5,6	ПЛ на 1км	Л110	0.8	8

Розв'язання.

Для послідовно включених елементів 3, 5, 7, 9

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

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

Для резервованої частини кола

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

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

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

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 20, 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

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

Тема 8.
Містковa схема.
Еквівалентні схеми.
Алгоритм пошуку мінімальних перетинів.

Задача 29. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи пристрою, структурна схема якого приведена на рисунку. Відомо, що ймовірності безвідмовної роботи кожного з елементів схеми рівні 0,9, а ймовірності відмов рівні 0,1.

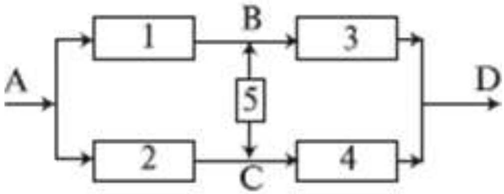

Рисунок 8

Розв'язання.

1. Перетворимо з'єднання елементів 1,2,5 в трикутник (рис. 9, а), в зірку (рис. 9, б).

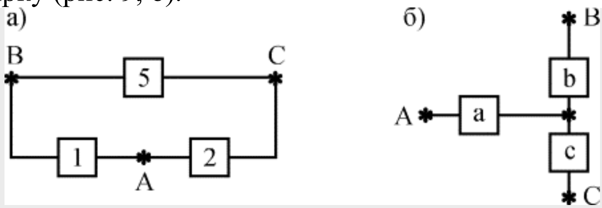

Рисунок 9

2. Визначимо еквівалентні значення ймовірності відмов для нових елементів *a, b, c*

$$q_a = q_1 q_2 = 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}01;$$
$$q_b = q_1 q_5 = 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}01;$$
$$q_c = q_2 q_5 = 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}01.$$

3. Визначимо ймовірність безвідмовного стану елементів еквівалентної схеми (рис. 9,б)

$$p_a = p_b = p_c = 0{,}99.$$

4. Визначимо ймовірність безвідмовної роботи еквівалентного пристрою (рис. 10):

$$P=p_a(p_bp_3+p_cp_4-p_bp_3p_cp_4)=0{,}99\cdot(0{,}99\cdot0{,}9+0{,}99\cdot0{,}9-0{,}99\cdot0{,}9\cdot0{,}99\cdot0{,}9)=0{,}978.$$

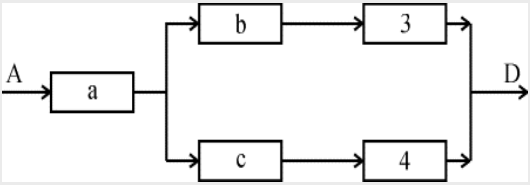

Рисунок 10 - Перетворена структура

Задача 30. Вирішити попередню задачу методом розкладання складної структури.

Розв'язання.

1. В якості базового елементу приймемо елемент 5 (рис. 8).

2. Закорочуємо базовий елемент, тобто зробимо допущення про абсолютну його провідність. Приєднаємо до отриманої структурі послідовно базовий елемент з характеристикою його надійності p5. В результаті замість вихідної структури отримаємо нову структуру (рис. 11, а).

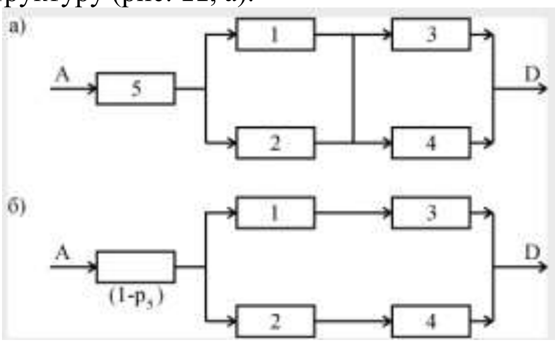

Рисунок 11 - Приклад розкладання місткової структури по базовому елементу

3. Зробимо обрив базового елементу, тобто зробимо припущення щодо його абсолютної ненадійності (непровідності).

До отриманої структурі приєднаємо послідовно базовий елемент з характеристикою його ненадійності (1-P5). В результаті отримаємо структуру (рис. 11, б).

4. Шукана ймовірність дорівнює сумі ймовірностей структур (рис. 11, а, б), кожна з яких паралельно-послідовна. Тому

$$P = p_5[(p_1+p_2-p_1p_2)(p_3+p_4-p_3p_4)] + (1-p_5)[p_1p_3+p_2p_4-p_1p_3p_2p_4]=$$
$$= 0{,}9[(0{,}9+0{,}9 - 0{,}9\cdot0{,}9) \cdot(0{,}9+0{,}9 - 0{,}9\cdot0{,}9)] +$$
$$+ (1-0{,}9) \cdot[0{,}9\cdot0{,}9 + 0{,}9\cdot0{,}9 - 0{,}9\cdot0{,}9\cdot0{,}9\cdot0{,}9]=0{,}978.$$

Імовірність безвідмовної роботи місткової схеми, що складається з п'яти неоднакових і незалежних елементів, можна визначити за формулою:

$$P=2p_1p_2p_3p_4p_5-p_2p_3p_4p_5-p_1p_3p_4p_5-p_1p_2p_4p_5-p_1p_2p_3p_5-$$
$$-p_1p_2p_3p_4+p_1p_3p_5+p_2p_3p_4+p_1p_4+p_2p_5.$$

У разі ідентичних елементів ця формула набирає вигляду

$$P = 2p^5-5p^4 + 2p^3 + 2p^2. \quad (4.5.18)$$

Тоді в разі використання елементів з постійною інтенсивністю відмов (експоненціальному законі розподілу відмов)

$$P(t) = 2\exp(-5\lambda t)-5\exp(-4\lambda t)+2\exp(-3\lambda t)+2\exp(-2\lambda t).$$

Середній час безвідмовної роботи системи T_o знаходимо, шляхом інтегрування попереднього рівняння в інтервалі [0, ∞]:

$$T_o = \int_0^{\infty} 2\exp(-5\lambda t) -5\exp(-4\lambda t) + 2\exp(-3\lambda t) + 2\exp(-2\lambda t)\, dt =$$
$$= (49/60)\cdot(1/\lambda).$$

Задача 31. Визначити ймовірність безвідмовної роботи пристрою, структурна схема якого зображена на рис. 8, б, якщо відомо, що ймовірності безвідмовної роботи кожного з елементів схеми рівні 0,9.

Розв'язання.

Так як всі елементи ідентичні, скористаємося формулою п.4 попередньої задачі; з її допомогою отримуємо:

$$P = 2\cdot 0{,}9^5 - 5\cdot 0{,}9^4 + 2\cdot 0{,}9^3 + 2\cdot 0{,}9^2 = 0{,}978.$$

Задача 32. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи і середній наробіток на відмову системи, що складається з п'яти незалежних і однакових елементів, з'єднаних за містковою схемою (рис. 8); вважається, що λ=0,0005 год$^{-1}$, t = 100 год. і всі елементи починають працювати в момент часу t=0.

Розв'язання.

1. За допомогою формули п.4 задачі 27 отримуємо

$$P\ (100) = 2e^{-0,25} - 5e^{-0,2} + 2e^{-0,15} + 2e^{-0,1} = 0{,}9999.$$

2. Знаходимо середнє напрацювання на відмову

$$T_o = 49/(60\cdot 0{,}0005) = 1633{,}4 \text{ год.}$$

Задача 33. Якщо число елементів і їхніх зв'язків буде досить великим, то вибір мінімальних перетинів трудомісткий процес - число можливих сполучень елементів зростає за ступеневою залежністю. Розглянемо один з методів спрямованого вибору мінімальних перетинів, що використовує елементи теорії графів. Структуру подають у вигляді замкнутого графа, що має один вхід A та один вихід E (рис.12, а).

Замкнутим називається граф, що не містить елементи, по яких не проходить жоден шлях, що зв'язує вхід графа з виходом. Ребрами такого графа служать елементи, надійність яких відома.

Нехай є граф, що містить m ребер і M вершин. Розірвемо ребра графа так, щоб частина вершин (N) була приєднана тільки до входу графа, а інші (M-N) вершин - до виходу графа (рис.12, б). Цим самим порушений зв'язок між входом і виходом графа і утворені дві структури, називані деревами: N-дерево (тобто дерево, що містить N вершин) і (M –N) - дерево.

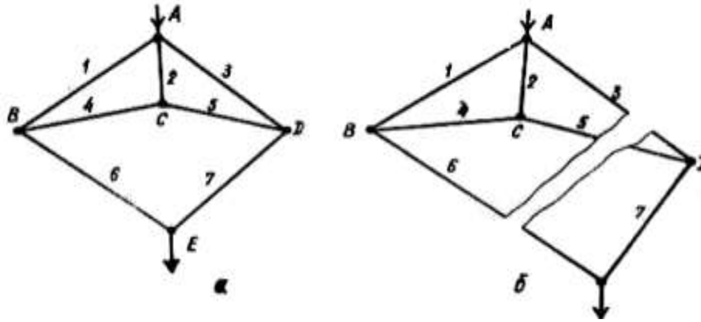

Рисунок 12 - Замкнений граф

При цьому «обірвані» ребра утворять мінімальні перетини. На рис. 12,б мінімальний перетин утворять елементи 3, 5, 6.

Таким чином, задачу пошуку мінімальних перетинів зводять до задачі побудови можливих дерев графа. Для цього до однієї з вершин графа (входу або виходу) послідовно приєднують одну за другою вершини, безпосередньо пов'язані з попереднім деревом.

Алгоритм визначення мінімальних перетинів наступний.

1. Складають матрицю безпосередніх зв'язків вершин - ребер графа.

2. Складають масив N-дерев графа послідовним приєднанням до N_i - дерева вершин, безпосередньо пов'язаних з однієї з вершин, що вже належать N_{i-1} дереву.

3. Для кожного N_i - дерева вибирають перетини.

4. Складають масив перетинів, з якого вибирають мінімальні.

Приклад пошуку мінімальних перетинів у структурі, що представлена на рис. 12, а.

1.Складають матрицю безпосередніх зв'язків вершин і ребер графа. Наприклад, вершина А безпосередньо пов'язана з ребрами 1, 2, 3; вершина В - з ребрами 3, 4, 6 і т.д. Матриця зв'язків для розглянутого графа буде мати вигляд, наведений в табл. 10.

2. Складають масив N-дерев. Перше N_1-дерево - вершина А. Потім до неї безпосередньо приєднують три вершини В, С, D, що є наступними N-деревами АВ, АС, AD. Далі, до дерева АВ приєднують вершину D, оскільки вона пов'язана з однією з вер-

шин N_2-дерева, а саме - А. Тоді одержують N_3-дерево ABD. Крім того, до N_2-дерева приєднують вершину С і так далі, доки не будуть розглянуті всі вершини, за винятком Е – вихід графа (якщо вершину Е приєднати до N-дерева, то утворить зв'язану структуру).

Таблиця 10 - Матриця зв’язків

Вершини	Ребра, що пов'язані з вершиною
A	1, 2, 3
B	1, 4, 6
C	2, 4, 5
D	3, 5, 7
E	6, 4, 7

Таким чином, визначають масив N-дерев графа A, AB, AC, AD, ABC, ABD, ACD, ABCD

3. Для кожного Ni- дерева визначають перетини. За матрицею ребра-вершини в стовпчик виписують всі ребра, безпосередньо пов'язані з вершинами N-дерев (табл. 11).

Ребра, що входять до сукупності ребер Ni-дерева, парне число раз виключають (в таблиці вони перекреслені), а ребра, що залишилися, виписують в нижній рядок табл. 11.

4. Вибирають мінімальні перетини з безлічі отриманих перетинів. Для цього всі перетини представляють в порядку зростання числа елементів і уточнюють, чи не міститься в перетинах з більшим числом елементів перетин з меншим числом елементів. Так, перетин, що утворений деревом ABD = 24567, містить перетин, що утворений деревом ABCD - 67. Тому перетин 24567 виключають. Перетини, що залишилися, є мінімальними. Для наведеного прикладу мінімальні перетини: 67, 123, 147, 356, 1257, 1345, 2346. Інших мінімальних перетинів в графі не міститься.

Таблиця 11 - Перетини графа

N-дерево	A	AB	AC	AD	ABC	ABD	ACD	ABCD
Ребра	123	123 146	123 245	123 357	123 146 245	123 146 357	123 245 357	123 146 245 357
Перетину	123	2346	1345	1257	356	24567	147	67

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. 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

«Надійність технічних пристроїв»

для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти
денної та заочної форми навчання, спеціальності
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Упорядник:
ТРУНОВА Ірина Михайлівна

Формат 60х84х16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризо графічний.
Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 30 прим.
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка