

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ. КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря
Сікорського як навчальний посібник для студентів,
які навчаються за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»*

Київ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

2022

Основи надійності складних систем та систем автоматизації. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А. О. Абрамова. – Електронні текстові данні (1 файл: 1,72 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 61 с.

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 3 від 01.12.2022 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 9 від 26.09.2022р.)

Електронне мережне навчальне видання

ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ТА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ. КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРАКТИКУМ

Укладачі: *Абрамова Алла Олександрівна, канд. техн. наук, доц.*

Відповідальний редактор *Жученко Анатолій Іванович док. техн. наук, проф.*

Рецензенти: *Джигирей І. М. канд. техн. наук, доц.*

Навчальний посібник розроблено відповідно до програми підготовки бакалаврів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Навчальний посібник призначений для виконання практичних робіт з дисципліни «Основи надійності складних систем та систем автоматизації», що викладається згідно з учбовим планом бакалаврської підготовки інженерно-хімічного факультету. Дана дисципліна призначена для ознайомлення майбутніх фахівців із забезпеченням необхідного рівня надійності технічних засобів, що потребує вирішення спеціального комплексу інженерних задач. Представлені матеріали мають за мету закріплення знань та набуття вміння користування необхідними базовими навичками у рішенні проблеми забезпечення заданого рівня надійності технічних засобів, та які вони зможуть використовувати в подальшому процесі навчання.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

Зміст

Вступ.....	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1	6
ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ І ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТА МАШИНИ.....	6
1.1 МЕТА РОБОТИ.....	6
1.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	6
1.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	13
1.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	14
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2	15
РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ ПРИ РІЗНИХ ЗАКОНАХ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ	15
2.1 МЕТА РОБОТИ.....	15
2.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	15
2.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	19
2.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	19
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3.....	20
ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ З РЕЗЕРВУВАННЯМ	20
3.1 МЕТА РОБОТИ.....	20
3.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	20
3.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	26
3.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	26
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4.....	27
РОЗРАХУНОК МОДЕЛІ БЕЗВІДМОВНОСТІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ	27
4.1 МЕТА РОБОТИ.....	27
4.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	27
4.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	32
4.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	33
ПРАКТИЧНА РОБОТА 5.....	34
ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ.....	34
5.1 МЕТА РОБОТИ.....	34
5.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	34
5.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	39

5.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ.....	39
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6.....	40
ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА ОСНОВІ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПРО ВІДМОВУ ВИРОБІВ (ОБ'ЄКТІВ).	40
6.1 МЕТА РОБОТИ.....	40
6.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	40
6.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	41
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7.....	43
ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА ОСНОВІ ВІДОМОГО АНАЛІТИЧНОГО ВИРАЗУ (ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ) ЯКОЇСЬ ОДНІЄЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	43
7.1 МЕТА РОБОТИ.....	43
7.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ	43
7.3 ЗМІСТ ЗВІТУ	44
Додаток А.....	45
Додаток Б	47
Додаток В.....	51
Додаток Г	53
Додаток Д.....	55
Додаток Е	58
Література	60

Вступ

Враховуючи значимість сучасних технічних засобів (ТЗ) в людській діяльності, вимоги до їх надійності постійно підвищуються. Це пов'язано з тим, що від правильної роботи ТЗ залежать хід виконання технологічних процесів, достовірність отримання результатів вимірювань і обробки даних, і т.п. Питанням підвищення надійності ТЗ на всіх етапах їх проектування та виробництва приділяється найбільша увага. Проблема забезпечення заданого рівня надійності ТЗ залежить не тільки від того наскільки глибоко розроблена теорія надійності та інженерні методи, але і від того, наскільки вдало вирішені питання організації робіт із забезпечення надійності. Забезпечення необхідного рівня надійності ТЗ потребує вирішення спеціального комплексу інженерних задач. Цим питанням і присвячена дана дисципліна.

Метою даної дисципліни є вироблення у студентів знань та навичок у теорії надійності, вивченню питань надійності складних систем та систем автоматизації.

Предметом вивчення дисципліни є закони розподілу, показники надійності систем, структурні схеми надійності систем, методи підвищення надійності.

У процесі вивчення дисципліни студент оволодіє методами та підходами до вивчення надійності різних систем.

Дисципліна «Основи надійності складних систем та систем автоматизації» викладається згідно з учбовим планом бакалаврської підготовки інженерно-хімічного факультету.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСУ І ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТА МАШИНИ

1.1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є ознайомлення з методикою підбору закону розподілу ресурсу, набуття практичних навичок у визначенні параметрів закону розподілу і розрахунку показників надійності елемента.

1.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Існуюче розсіювання основних параметрів надійності елементів визначає необхідність розглядати їх чисельні значення в ймовірнісному аспекті. Характеристикою надійності елемента є закон розподілу їх ресурсів. Якщо відомий вид закону і його параметри, то легко можна визначити цікаву для нас характеристику надійності.

Найбільш поширеними законами розподілу ресурсів елементів є експоненціальний і нормальний. Тому при визначенні закону розподілу рекомендується апроксимувати експериментальні характеристики ресурсів в першу чергу цими законами.

Експоненціальний розподіл характерний для раптових відмов елементів. Ці відмови викликаються несприятливим збігом деяких обставин і тому мають постійну інтенсивність λ в часі t :

$$\lambda(t) = \lambda = \frac{1}{T_p} = \text{const}, \quad (1.1)$$

де T_p – середній ресурс.

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_{p_i}}{n} \quad (1.2)$$

де T_{p_i} – ресурс i однотипного елемента;

n – кількість однотипних елементів.

Функція щільності ймовірності при експоненціальному законі розподілу задається рівнянням:

$$f(t) = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1.3)$$

а ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda dt\right) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (1.4)$$

Встановлений ресурс T_{py} елемента експоненціальному законі розподілу і довірчої ймовірності $\alpha=0,95$:

$$T_{py} = \frac{0,05}{\lambda} = 0,05 \cdot T_p \quad (1.5)$$

Нормальний закон розподілу досить добре описує розподіл ресурсів елементів при поступових відмовах. Щільність ймовірності нормального розподілу описується рівнянням:

$$f(t) = \frac{1}{S \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(t-T_p)^2}{2 \cdot S^2}} \quad (1.6)$$

де середній ресурс T_p визначається за виразом (1.2), а середнє квадратичне відхилення S за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_p - T_{p_i})^2}{n-1}} \quad (1.7)$$

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ для нормального закону розподілу визначається з виразу:

$$P(t) = \Phi\left(\frac{t - T_p}{S}\right) = \Phi(U_p), \quad (1.8)$$

де Φ – функція Лапласа;

U_p – квантіль нормального розподілу.

Встановлений ресурс елемента T_{py} при нормальному законі розподілу і довірчої ймовірності $\alpha=0,95$:

$$T_{py} = T_p - 1,645 \cdot S \quad (1.9)$$

Перевірка допустимості прийнятого закону розподілу ресурсів елемента здійснюється за критерієм згоди. Найбільш вживаним критерієм є критерій χ^2 Пірсона.

Розрахункове значення критерію Пірсона визначається за формулою:

$$\chi_p^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(m_j - n \cdot p_j)^2}{n \cdot p_j}, \quad (1.10)$$

де m_j – кількість значень ресурсу, що потрапили в j інтервал;

p_j – ймовірність потрапляння значень ресурсу в j інтервал;

n – загальне число значень ресурсу.

Отримане розрахункове значення χ_p^2 порівнюють з табличним χ_m^2 (Додаток А, додаток Б), що визначається за числом ступенів свободи K , і рівнем значимості E .

Якщо $\chi_p^2 < \chi_m^2$, то гіпотеза про прийнятий закон розподілення ресурсів вірна. У протилежному випадку слід приймати гіпотезу про інший закон розподілу і виконати необхідні розрахунки.

Визначення закону розподілу ресурсу і розрахунок показників надійності елемента може бути виконаний за алгоритмом, блок-схема якого представлена на рис.1.1. У блок 1 з клавіатури вводяться чисельні значення ресурсу однотипного елемента і число інтервалів, на які розбивається гістограма в блоці 2. За видом гістограми можна попередньо оцінити вид закону розподілу. За вихідними даними в блоках 3, 4 розраховуються такі показники, як середні і встановлені ресурси, критерій χ_p^2 Пірсона для кожного закону розподілу відповідно. Крім того, в блоці 3 розраховується інтенсивність відмов для експоненціального закону, в блоці 4 - середньоквадратичне відхилення ресурсу для нормального закону. Висновок даних розрахунку по кожному закону забезпечується блоками 5, 6, після чого в блоці 7 вибирається теоретично закон розподілу за критерієм χ_p^2 і на дисплей виводиться назва рекомендованого закону (блок 8).

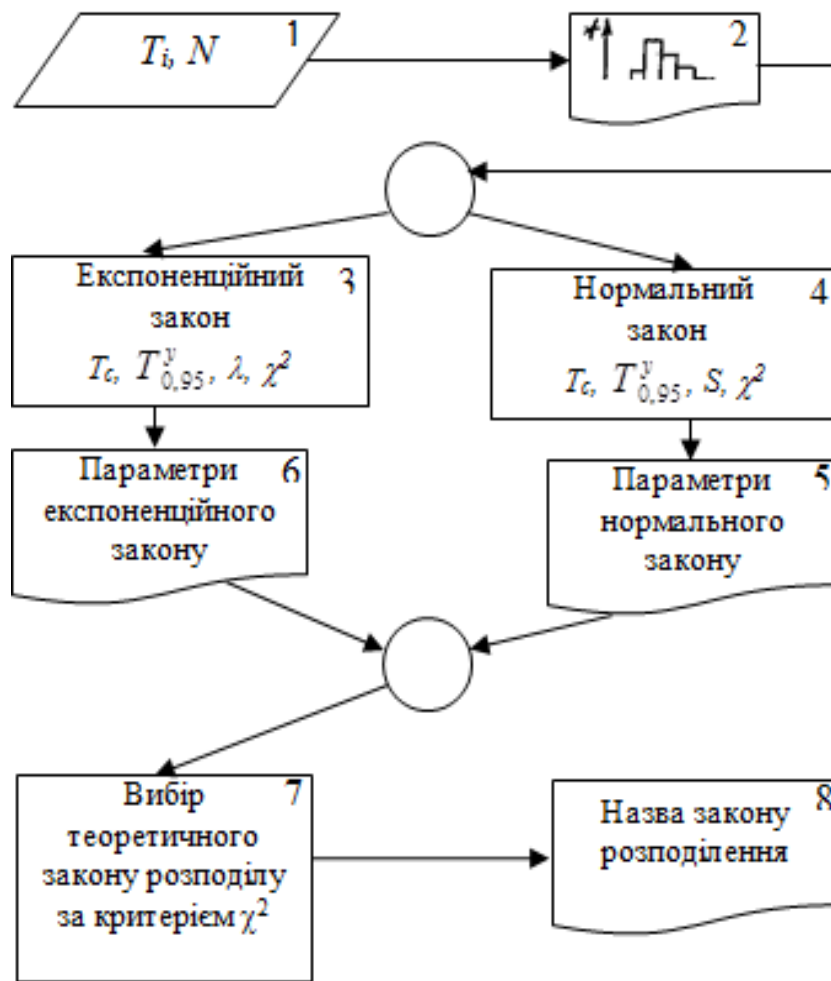


Рис. 1.1. Алгоритм вибору теоретичного закону розподілу

Відповідно до варіанту індивідуального завдання було обрано вихідні дані у вигляді ряду чисельних значень ресурсів однотипних елементів в порядку зростання ресурсу:

Tr =	800	880	960	1050	1090	1130	1280	1390	1520	1740	1840	2000
------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Задаємо число інтервалів ($K = 6$) і величину інтервалу ($W = 200$ год). Визначаємо межі інтервалів, середні значення ресурсу на інтервалі і кількість значень ресурсів, що потрапили в кожен інтервал. Результати представляють у табличній формі. Для нашого випадку складена табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Вихідні дані для визначення закону розподілу ресурсів і показників
надійності елементів

Варіант	Значення ресурсів однотипних елементів											
1	120	180	200	260	290	340	410	490	530	610	650	690
2	50	100	140	190	280	370	450	510	630	770	860	900
3	800	880	960	1050	1090	1130	1280	1390	1520	1740	1840	2000
4	400	570	690	850	970	1140	1250	1380	1410	1520	1530	1600
5	1030	1080	1170	1240	1270	1420	1610	1720	1810	1900	1980	2000
6	250	380	490	560	680	800	880	930	1000	1250	1500	1600
7	500	510	580	600	650	700	740	780	820	840	860	900
8	200	240	300	320	380	400	480	590	710	880	920	980
9	600	680	750	810	900	980	1100	1180	1250	1340	1410	1500
10	100	170	280	430	600	700	820	900	950	1100	1200	1350
11	20	40	80	150	190	210	280	360	480	550	600	700
12	300	380	410	500	570	620	700	750	810	880	920	1000
13	300	380	410	500	570	620	700	750	810	880	920	1000
14	200	220	280	300	380	450	500	600	750	800	880	950
15	500	570	630	710	760	840	910	1000	1080	1150	1200	1300

Таблиця 1.2

Результати

№ інтервалу	Межі інтервалу	Середнє значення на інтервалі	Кількість значень m_i
1	800 - 1000	900	3
2	1000 - 1200	1000	3
3	1200 - 1400	1300	2
4	1400 - 1600	1500	1
5	1600 - 1800	1700	1
6	1800-2000	1900	2

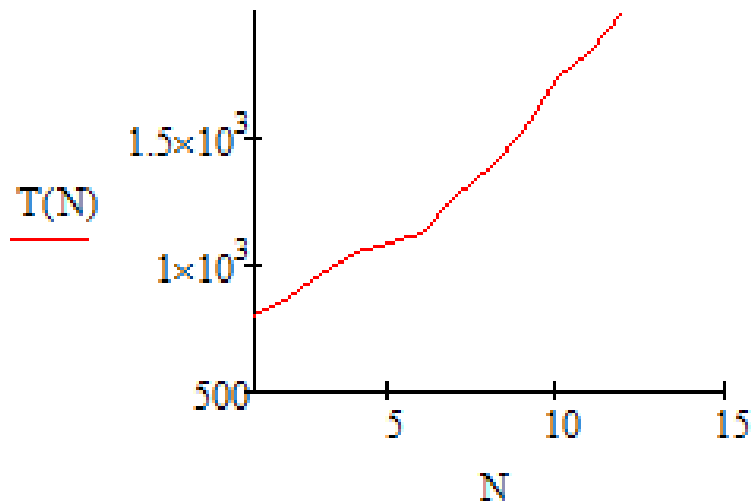


Рис. 1.2. Гістограма ресурсів однотипних елементів

За кількістю значень ресурсів, які потрапили в кожен j інтервал, можна попередньо оцінити вид закону розподілу і виконати перевірку в першу чергу саме за цим законом.

Наприклад, перевірка гіпотези про експоненціальний закон розподілу ресурсів виконується в наступній послідовності (реалізація в середовищі Mathcad):

Середній ресурс:

$$T_p := \frac{(800 + 880 + 960 + 1050 + 1090 + 1130 + 1280 + 1390 + 1520 + 1740 + 1840 + 2000)}{12} = 1.307 \times 10^3$$

Інтенсивність відмов:

$$\lambda := \frac{1}{T_p} = 7.653 \times 10^{-4}$$

Теоретична ймовірність p_j потрапляння в кожний з шости інтервалів:

$$P1 := e^{-\lambda \cdot 800} - e^{-\lambda \cdot 1000} = 0.077$$

$$P2 := e^{-\lambda \cdot 1000} - e^{-\lambda \cdot 1200} = 0.066$$

$$P3 := e^{-\lambda \cdot 1200} - e^{-\lambda \cdot 1400} = 0.057$$

$$P4 := e^{-\lambda \cdot 1400} - e^{-\lambda \cdot 1600} = 0.049$$

$$P5 := e^{-\lambda \cdot 1600} - e^{-\lambda \cdot 1800} = 0.042$$

$$P6 := e^{-\lambda \cdot 1800} - e^{-\lambda \cdot 2000} = 0.036$$

Встановлений ресурс елементу при експоненційному законі розподілу і довірній ймовірності 0,95:

$$T_{py} := \frac{0.05}{\lambda} = 65.333$$

Табличний критерій Пірсона обираємо при $E=0.01$, $K=12$. ($\chi^2_m=26.2$). Додаток А.

Розрахункове значення критерію Пірсона:

$$\chi_{p2} := \frac{(3 - 12 \cdot P_1)^2}{12 \cdot P_1} + \frac{(3 - 12 \cdot P_2)^2}{12 \cdot P_2} + \frac{(2 - 12 \cdot P_3)^2}{12 \cdot P_3} + \frac{(1 - 12 \cdot P_4)^2}{12 \cdot P_4} + \frac{(1 - 12 \cdot P_5)^2}{12 \cdot P_5} + \frac{(2 - 12 \cdot P_6)^2}{12 \cdot P_6}$$

$$\chi_{p2} = 20.008$$

$$\chi_{m2} := 26.2$$

Оскільки $\chi_{p2} < \chi_{m2}$, визначеному при кількості степенів свободи 12 і рівні значимості 0.01, гіпотеза про експоненціальний закон розподілу отримує підтвердження.

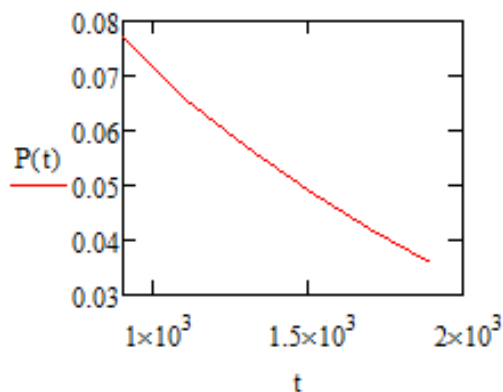
Розрахункове значення критерію Пірсона:

$$\chi_{p2} := \frac{(3 - 12 \cdot P_1)^2}{12 \cdot P_1} + \frac{(3 - 12 \cdot P_2)^2}{12 \cdot P_2} + \frac{(2 - 12 \cdot P_3)^2}{12 \cdot P_3} + \frac{(1 - 12 \cdot P_4)^2}{12 \cdot P_4} + \frac{(1 - 12 \cdot P_5)^2}{12 \cdot P_6} + \frac{(2 - 12 \cdot P_6)^2}{12 \cdot P_6}$$

$$\chi_{p2} = 20.008$$

$$\chi_{m2} := 26.2$$

Оскільки $\chi_{p2} < \chi_{m2}$, визначеному при кількості степенів свободи 12 і рівні значимості 0.01, гіпотеза про експоненціальний закон розподілу отримує підтвердження.



Зміна ймовірності безвідмовної роботи P від напрацювання t

Перевіримо гіпотезу про нормальний закон розподілу ресурсів:

Середній ресурс:

$$T_p := \frac{(800 + 880 + 960 + 1050 + 1090 + 1130 + 1280 + 1390 + 1520 + 1740 + 1840 + 2000)}{12} = 1.307 \times 10^3$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$S_m = \sqrt{\frac{(T_p - 800)^2 + (T_p - 880)^2 + (T_p - 960)^2 + (T_p - 1050)^2 + (T_p - 1090)^2 + (T_p - 1130)^2 + (T_p - 1280)^2 + (T_p - 1390)^2 + (T_p - 1520)^2 + (T_p - 1740)^2 + (T_p - 1840)^2 + (T_p - 2000)^2}{12 - 1}}$$

$$S_m = 394.17$$

Встановлений ресурс елементу при нормальному законі розподілу і довірній ймовірності 0,95:

$$T_{py} := T_p - 1.645 \cdot S = 658.258 \quad +$$

Ймовірність безвідмовної відмови для нормального закону розподілу:

$$P1 := \frac{(900 - T_p)}{S} = -1.032$$

$$P2 := \frac{1100 - T_p}{S} = -0.524$$

$$P3 := \frac{1300 - T_p}{S} = -0.017$$

$$P4 := \frac{1500 - T_p}{S} = 0.49$$

$$P5 := \frac{1700 - T_p}{S} = 0.998$$

$$P6 := \frac{1900 - T_p}{S} = 1.505$$

Значення за квантилем:

$$P1 := 0.85 \quad P2 := 0.7 \quad P3 := 0.5 \quad P4 := 0.37 \quad P5 := 0.68 \quad P6 := 0.86$$

Значення критерію Пірсона:

$$\chi_{p12} := \frac{(3 - 12 \cdot P1)^2}{12 \cdot P1} + \frac{(3 - 12 \cdot P2)^2}{12 \cdot P2} + \frac{(2 - 12 \cdot P3)^2}{12 \cdot P3} + \frac{(1 - 12 \cdot P4)^2}{12 \cdot P4} + \frac{(1 - 12 \cdot P5)^2}{12 \cdot P5} + \frac{(2 - 12 \cdot P6)^2}{12 \cdot P6}$$

$$\chi_{p12} = 25.561$$

$$\chi_{m2} := 26.2$$

Оскільки $\chi_{p12} > \chi_{m2}$, визначеному при кількості степенів свободи 12 і рівні значимості 0.01, гіпотеза про нормальний закон розподілу не підтверджується.

Приклад виконання практичної роботи 1 представлено у додатку Б.

1.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Порядок визначення закону розподілу ресурсу і розрахунку показників надійності елемента. Всі розрахунки здійснюються в середовищі Mathcad.
3. Встановлений за індивідуальним завданням закон розподілу ресурсу і розрахунок показників надійності елемента. Графік залежності $P = f(t)$.
4. Визначення закону розподілу ресурсу та порівняння отриманих результатів.

1.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1) Що таке «елемент складної системи»?
- 2) Які закони розподілу ресурсу Ви знаєте?
- 3) Сформулюйте поняття середнього ресурсу, встановленого ресурсу, імовірності безвідмовної роботи.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ ПРИ РІЗНИХ ЗАКОНАХ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1 МЕТА РОБОТИ

Освоєння методики і набуття практичних навичок в розрахунках схемної надійності складної системи з послідовно-паралельним з'єднанням елементів за даними про закони і параметри розподілу ресурсу окремих елементів.

2.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Завдання розрахунку надійності складної системи вирішується, виходячи з таких передумов: система складається з елементів, по-різному з'єднаних, послідовно або паралельно. Відомі закони розподілу ресурсу і його параметри для кожного елемента (табл. 2.1). Структурні схеми складної системи задані у вигляді структурної формули (табл. 2.2).

Імовірність безвідмовної роботи групи елементів з послідовним з'єднанням елементів:

$$P_{\text{сист}}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (2.1)$$

Імовірність безвідмовної роботи групи елементів з паралельним з'єднанням:

$$P_i^{\circ}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)] \quad (2.2)$$

Виконувати розрахунок надійності складної системи необхідно в такій послідовності:

- 1) Відповідно до варіанту індивідуального завдання по структурній формулі побудувати структурну схему системи;
- 2) По заданих параметрах законів розподілу визначити ймовірність безвідмовної роботи $P_i(t)$ для кожного i -го елемента системи;
- 3) Визначити ймовірність безвідмовної роботи $P_i^{\circ}(t)$ групи елементів;

- 4) Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи $P_{сист}(t)$ системи елементів як добуток ймовірностей безвідмовної роботи послідовно з'єднаних елементів і груп елементів;
- 5) Визначити метод підвищення надійності системи.

Таблиця 2.1

Вихідні дані для розрахунку надійності

№ елементу	Закон розподілу	Тр	S	a	b
1	2	3	4	5	6
1	Е	800	-	-	-
2	Н	1200	400	-	-
3	В	-	-	700	2,5
4	Е	400	-	-	-
5	В	-	-	500	1,5
6	Н	1000	350	-	-
7	Н	2000	400	-	-
8	Е	1100	-	-	-
9	В	-	-	680	2,0
10	Е	700	-	-	-
11	Н	1200	300	-	-
12	В	-	-	300	1,5
13	Е	440	-	-	-
14	Е	500	-	-	-
15	Н	600	200	-	-
16	В	-	-	550	1,5
17	Е	750	-	-	-
18	Н	1400	350	-	-
19	В	-	-	1000	3,0
20	Н	1500	440	-	-
21	В	-	-	800	2,0
22	Е	600	-	-	-

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
23	E	850	-	-	-
24	H	1800	200	-	-
25	B	-	-	780	1,8
26	B	-	-	640	2,0
27	H	1700	400	-	-
28	E	900	-	-	-
29	E	650	-	-	-
30	H	900	200	-	-
31	H	1100	2500	-	-
32	B	-	-	550	2,0
33	E	950	-	-	-
34	H	800	240	-	-
35	B	-	-	750	1,7
36	E	1000	-	-	-
37	H	2200	350	-	-
38	H	2000	300	-	-
39	B	-	-	400	1,6
40	E	540	-	-	-

Примітки: T_r – середній ресурс, S – середньо квадратичне відхилення, a – параметр масштабу, b – параметр форми, E – експонентний закон розподілення, H – нормальний закон розподілу, B – закон Вейбула.

Приклад виконання практичної роботи 2 представлено у додатку В.

Структурні формули з'єднання елементів

Варіант завдання	Структурні формули з'єднання елементів
1	1- (6-16) / (6-16) -23-30 / 30-9-10
2	2-12 / 12 / 12-15- (29-40) - (29-40) -14-37
3	3-13 / 13-37 / 37-11- (22-10) / (22-10) -5
4	4- (9-15) / (9-15) -20-36 / 36 / 36-13-2
5	5-7 / 7 / 7-17-38 / 38-33-12-23 / 23-1
6	8- (14-24) / (14-24) -26-31 / 31-9-5
7	10-18 / 18-19-33 / 33 / 33-27-29-3
8	13- (21-28) / (21-28) -34-38 / 38 / 38-4
9	25-13 / 13-7- (15-29) / (15-29) 7-40
10	12-11 / 11 / 11-33- (15-28) / (15-28) -14-5
11	17- (26-30) / (26-30) -14-38 / 38 / 38-9
12	15-29 / 29-3-6 / 6-14- (17-7) / (17-7)
13	29-26 / 26 / 26-2-16 / 16-33-10 / 10/10
14	14- (20-12) / (20-12) -33-37 / 37-8-40
15	40-21 / 21-38-29 / 29 / 29-6- (14-2) / (14-2)
16	9- (18-15) / (18-15) -17-10 / 10 / 10-15
17	31- (9-23) / (9-23) -31-8 / 8 / 8-12-5
18	36-26 / 26 / 26-11-21 / 21-2-13 / 13-1
19	7- (24-12) / (24-12) -25-17 / 17 / 17-10-39
20	26-1 / 1 / 1-14-5 / 5-37-6-17 / 17
21	20-40 / 40-8- (16-27) / (16-27) -10-2
22	30- (13-26) / (13-26) -15-7 / 7 / 7-8-10
23	24-12 / 12 / 12-4- (33-18) / (33-18) -3
24	11-29 / 29-12-33 / 33 / 33-15-26
25	9- (7-35) / (7-35) -20-33 / 33-8

2.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Структурна схема системи відповідно до індивідуального завдання.
3. Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи кожного елемента, групи елементів і всієї системи. Всі розрахунки здійснюються в середовищі Mathcad.
4. Висновки.

2.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1) Сформулюйте поняття моделі безвідмовності складної системи.
- 2) Дайте визначення ймовірності безвідмовної роботи.
- 3) Які показники безвідмовності Ви знаєте?
- 4) Сформулюйте пропозиції щодо підвищення надійності розглянутої в роботі системи.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3
ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ З
РЕЗЕРВУВАННЯМ

3.1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є освоєння методики та набуття практичних навичок у розрахунку схемної надійності складного виробу з паралельно-послідовним з'єднанням елементів, підвищення надійності виробу шляхом резервування елементів з оцінкою ефективності резервування.

3.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Визначення надійності складної системи виконується в наступній послідовності:

- 1) Відповідно до варіанту індивідуального завдання за таблицям 3.1 та 3.2 визначити вихідні дані для розрахунку – структурну формулу системи, середній наробіток на відмову T_i та математичне очікування часу ремонту M_i ($\tau_{рем}$) для кожного i -го елемента системи, закон розподілу ймовірності безвідмовної роботи прийняти експоненціальним $P(t) = e^{-\lambda \cdot t}$, заданий період часу експлуатації прийняти постійним $t = 8$ годин.
- 2) За структурною формулою побудувати структурну схему системи з паралельно-послідовним з'єднанням елементів.
- 3) За відомими з умови значенням напрацювання на відмову T_i та періоду експлуатації t розрахувати інтенсивність відмов $\lambda_i = T_i^{-1}$, та ймовірність безвідмовної роботи $P_i(t)$ для кожного i -го елемента системи.
- 4) Визначити ймовірність безвідмовної роботи $P_i^c(t)$ групи елементів з постійним резервуванням.
- 5) Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ системи елементів як добуток ймовірностей безвідмовної роботи послідовно з'єднаних елементів та групи елементів.
- 6) Виявити елемент, що лімітує надійність системи.
- 7) Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ системи елементів при постійному (навантаженому) резервуванні ненадійного елемента.

- 8) Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ системи елементів при ненавантаженому резервуванні ненадійного елемента.
- 9) Порівняти отримані результати розрахунку і сформулювати висновки по роботі.

Розрахунок може бути виконаний за алгоритмом, блок-схема якого представлена на рисунку 3.1. У блок 1 з клавіатури вводиться формула структурної схеми C_i та період часу експлуатації t . У цьому ж блоці розміщується масив даних, з якого обирають дані про середнє напрацювання на відмову T_i та математичне сподівання часу ремонту M_i для кожного елемента структурної формули. У блоці 2 по середньому наробітку на відмову розраховується інтенсивність відмов для кожного елемента системи, блок 3 обчислює ймовірність безвідмовної роботи за час експлуатації $t = 8$ годин. Після цього розраховується ймовірність безвідмовної роботи групи елементів з постійним резервуванням (блок 4) і всієї системи (блок 5). Процес обчислення ітеративний, при цьому число ітерацій дорівнює числу елементів i системи (блок 6); умовою закінчення є перебір всіх елементів (блок 7). У блоці 8 запитується номер зарезервованого елемента з найменшою ймовірністю безвідмовної роботи й далі обчислюються ймовірності безвідмовної роботи системи при постійному (ненавантаженому) резервуванні (блок 9) та дублюванні з відновленням (блок 10). Вивід результатів розрахунку здійснюється блоком 11.

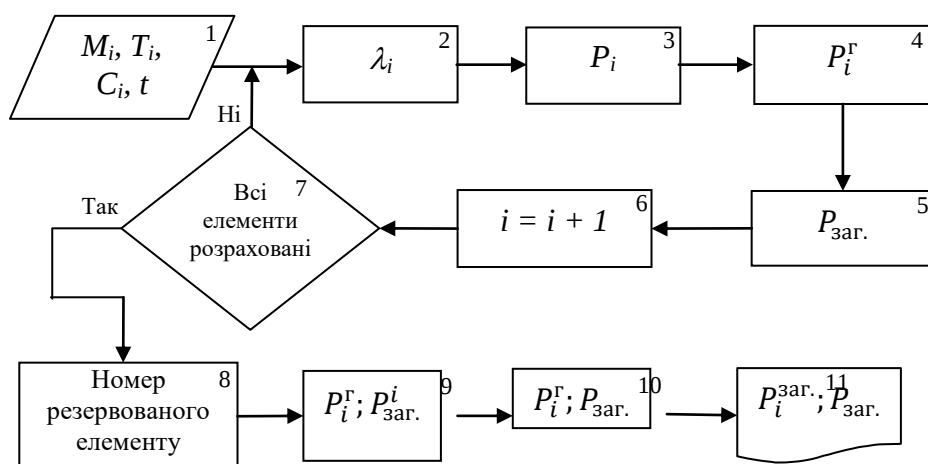


Рис. 3.1.Схема алгоритму розрахунку надійності складних систем

Формули структурних схем для розрахунку надійності складних систем

Варіант завдання	Формули структурних схем складних систем
1	1/1/1-25-36/36-51-58-34/34
2	48-57-7/7/7-28-31/31/44
3	30/30-10/10/10-50-23/23-45-6
4	24/24-2/2/2-4-54-56-49
5	3/3-26-32/32-35/35-60-49
6	59-37/37-38/38-14/14/14-12-48
7	57-38/38-9/9/9-6-47-43
8	46-48-29/29-8-51-3/3/3
9	35/35-15/15-45-5-30-45
10	21/21-15/15/15-55-17-56-60
11	59-58-35/35-29/29-5/5/5-11
12	46-13/13/13-42-6-41/41-43
13	47-43/43-11-15/15/15-39/39-56
14	18/18-16-29/29-49-19/19/19-60
15	19/19/19-8-20/20-54-43-23/23
16	41-42-31/31-10/10/10-4-52
17	55-48-33/33-2-9/9/9-58
18	47-26/26-6/6/6-14-33/33-57
19	1-5/5/5-27/27-54-41-38/38
20	48-50/50-31/31-12/12/12-10-55

Вихідні дані для розрахунку надійності за елементами систем

Номер елемента	T_i , год.	M_i , ($\tau_{рем}$), год.	Номер елемента	T_i , год.	M_i , ($\tau_{рем}$), год.
1	18	0,2	31	65	1,0
2	24	0,3	32	75	1,1
3	23	0,4	33	85	1,2
4	17	0,5	34	62	1,3
5	19	0,6	35	54	1,4
6	22	0,7	36	58	1,5
7	26	0,8	37	96	1,6
8	30	0,9	38	72	1,7
9	28	0,8	39	78	1,8
10	29	0,7	40	110	1,9
11	34	0,6	41	300	2,0
12	32	0,4	42	600	3,1
13	19	0,5	43	400	2,2
14	21	0,3	44	450	2,3
15	27	0,2	45	550	2,4
16	36	0,3	46	500	2,5
17	33	0,4	47	850	2,6
18	19	0,5	48	620	2,7
19	16	0,6	49	580	2,8
20	18	0,7	50	540	2,9
21	40	2,0	51	330	2,0
22	45	2,1	52	280	2,1
23	48	1,2	53	580	2,2
24	52	1,3	54	470	2,3
25	50	1,4	55	420	2,4
26	100	1,5	56	670	2,5
27	90	1,6	57	720	2,6
28	80	1,7	58	760	2,7
29	70	1,8	59	220	2,8
30	60	1,9	60	860	2,9

Приклад визначення надійності складної системи

Варіанти індивідуальних завдань включають структурні формули складних систем (табл. 3.1) і дані по середньому наробітку на відмову T_i та середньому часу відновлення працездатності M_i ($\tau_{рем}$) елементів систем при ремонті (табл. 3.2).

Припустимо, формула структурної схеми системи:

$$19/19/19-14-38/38-59-44-60.$$

Середнє напрацювання елементів на відмову T_i , годин:

$$T_{19} = 16; T_{14} = 21; T_{38} = 72; T_{59} = 220; T_{44} = 450; T_{60} = 860.$$

Заданий період часу експлуатації $t = 8$ годин (для всіх варіантів).

Закон розподілу ймовірності безвідмовної роботи – експоненціальний:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t}.$$

1) За наведеною формулою будуємо структурну схему системи елементів (рис. 3.2 а).

2) За середнім наробітком на відмову T_i розраховуємо інтенсивність відмов λ_i для кожного елемента системи:

$$\lambda_{19} = (T_{19})^{-1} = 0.0625; \lambda_{59} = (T_{59})^{-1} = 0.0045; \lambda_{14} = (T_{14})^{-1} = 0.0476;$$

$$\lambda_{44} = (T_{44})^{-1} = 0.0022; \lambda_{38} = (T_{38})^{-1} = 0.0139; \lambda_{60} = (T_{60})^{-1} = 0.0012.$$

3) Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи $P_i(t)$ для кожного елемента системи при напрацюванні $t = 8$ годин:

$$P_{19}(8) = e^{-\lambda_{19} \cdot t} = e^{-0.0625 \cdot 8} = 0,6065;$$

$$P_{59}(8) = 0,9646;$$

$$P_{14}(8) = 0,6833;$$

$$P_{44}(8) = 0,9826;$$

$$P_{38}(8) = 0,8948;$$

$$P_{60}(8) = 0,9904.$$

4) Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи $P^z(t)$ групи елементів з постійним резервуванням:

$$P_{19}^z = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_{19}) = 1 - 0,0609 = 0,9391;$$

$$P_{38}^c = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - P_{38}) = 1 - 0,0111 = 0,9889.$$

5) Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ системи як добуток ймовірностей безвідмовної роботи послідовно з'єднаних елементів і групи елементів (рис.3.2 б):

$$P(8) = P_{19}^c \cdot P_{14} \cdot P_{38}^c \cdot P_{59} \cdot P_{44} \cdot P_{60} = 0,9391 \cdot 0,6833 \cdot 0,9889 \cdot 0,9646 \cdot 0,9826 \cdot 0,9904 = 0,5957.$$

Очевидно, що надійність системи невисока і підвищити її можна за рахунок дублювання елемента 14.

б) При постійному (навантаженому) резервуванні елемента 14 другим однотипним елементом, який приєднано паралельно (рис. 3.2 в), ймовірність безвідмовної роботи групи елементів 14 складатиме:

$$P_{14}^c = 1 - (1 - P_{14})^2 = 1 - (1 - 0,0609)^2 = 0,8997.$$

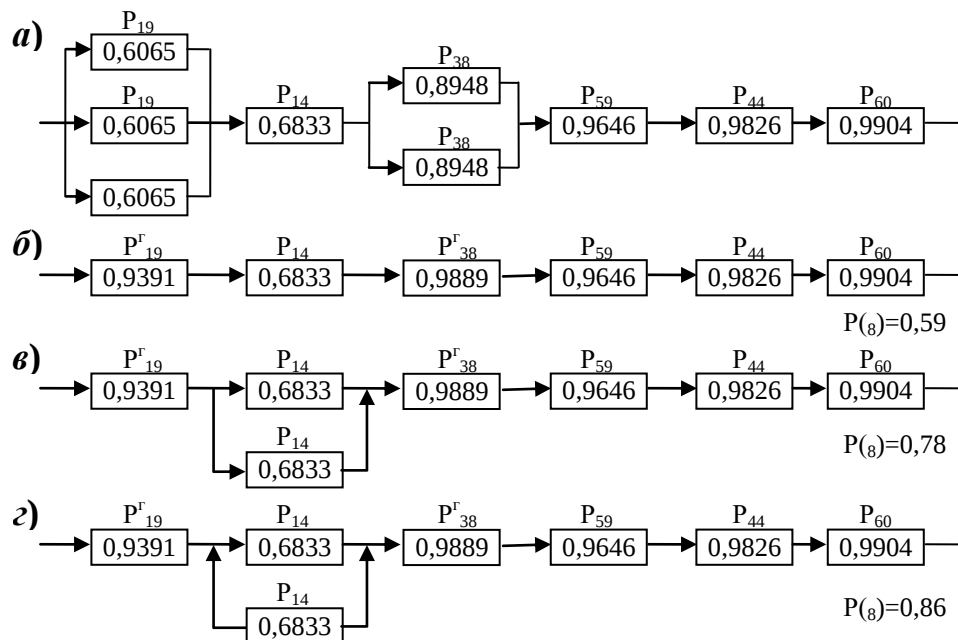


Рисунок 3.2. Приклад розрахунку складної системи з резервуванням

7) При використанні ненавантаженого резервного елемента 14 (дублювання з відновленням) (рис. 3.2 г), ймовірність безвідмовної роботи групи елементів 14 визначається із співвідношень:

$$\alpha = \lambda_{14} \cdot M_{14} = 0,0476 \cdot 0,3 = 0,0143;$$

$$T_o = \frac{1}{\lambda_{14}} + \frac{0,5}{\lambda_{14} \cdot \alpha} = \frac{1}{0,0476} + \frac{0,5}{0,0476 \cdot 0,0143} = 756;$$

$$P_{14}^z(8) = e^{-\frac{t}{T_o}} = e^{-\frac{8}{756}} = 0,9895.$$

$P(t)$ системи в цьому випадку складатиме 0,8624.

Приклад виконання практичної роботи 3 представлено у додатку Г.

3.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Структурна схема системи елементів відповідно до індивідуального завданням.
3. Розрахунок ймовірностей безвідмовної роботи системи елементів при навантаженому і ненавантаженому резервуванні. Всі розрахунки здійснюються в середовищі Mathcad.
4. Висновки по роботі.

3.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1) Дати визначення надійності та її властивостей: безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності.
- 2) Які показники характеризують надійність виробу та його елементів?
- 3) Що розуміють під визначеннями «складна система елементів» та «елемент системи»? Навести приклади.
- 4) Як побудувати структурну схему складної системи з урахуванням особливостей відмов її елементів?
- 5) Що розуміється під ймовірністю безвідмовної роботи системи та елемента?
- 6) У чому полягає сутність постійного і ненавантаженого резервування? Переваги і недоліки.
- 7) В яких випадках ненавантажене резервування стає ефективним?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

РОЗРАХУНОК МОДЕЛІ БЕЗВІДМОВНОСТІ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ

4.1 МЕТА РОБОТИ

Засвоєння методики і придбання практичних навичок в розрахунку моделі безвідмовної складної системи з послідовним з'єднанням елементів і складанням диференційного плану ремонтно-профілактичних заходів, уточнення комплекту запасних частин.

4.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Задача розрахунку моделі безвідмовної складної системи вирішується виходячи з наступних припущень:

1. Модель безвідмовності показує характер зміни ймовірності безвідмовності роботи складної системи машин;
2. Система складається з послідовно з'єднаних n елементів, ресурс кожного описує один із трьох законів розподілу – експоненціальний, нормальний, Вейбула;
3. Ймовірність безвідмовної роботи системи визначається як добуток ймовірностей безвідмовної роботи елементів;
4. На початку експлуатації вірогідність безвідмовної роботи системи близька до 1 [$P_c(t) = 1, t = 0$], після цього її значення знижується до граничної. Відмова деревообробного обладнання зазвичай не приводять до ситуації, небезпечним для життя людей, тому немає сенсу назначати високий рівень безвідмовності. За звичай для механічних систем технологічного обладнання призначають величину $P_{c_{\min}}(t) = 0,5 \dots 0,8$.

Розглянемо послідовний розрахунок моделі безвідмовної складної системи відповідно до алгоритму наданого на рис. 4.1.

Прийнято припущення про те, що ймовірність безвідмовної роботи елементів системи визначається одним з трьох законів розподілу: експоненціальним, нормальним або законом Вейбула, параметри яких вводяться (блок 1, рис. 4.1).

При експоненціальному законі розподілу необхідно знайти середній ресурс T_p , при нормальному – середній ресурс T_p і його середньоквадратичну похибку S , при законі Вейбула – параметри форми A і масштаб B .

Крім того, необхідно задати число елементів в систему n ($n=5$) і тривалість експлуатації в годинах T ($T=4500$ годин).

Далі розраховуємо вірогідність безвідмовної роботи кожного елементу (блок 3) при початку експлуатації $t = 0$ (блок 2); при цьому враховуємо закон розподілу кожного з елементів.

Так як система послідовна, але розрахунок ймовірності її безвідмовної роботи $P_c(t)$ в поточний час розрахунок виконується в блоці 4 за відповідним.

Якщо виконується логічна умова (блок 5) на друк виводиться значення вірогідності безвідмовної роботи системи і всі її елементів (блок 7). При виконанні логічної умови в блоці 6 знаходяться елементи з найменшим рівнем вірогідності безвідмовної роботи і «відновлюється», тобто його вірогідність безвідмовної роботи підвищується до 1 і знову відбувається розрахунок надійності системи в блоці 4.

Після цього, як поточний час програми перевищить задану тривалість експлуатації (блок 8) розрахунок закінчується і виводиться графік, на якому показується залежність вірогідності безвідмовної роботи системи від часу експлуатації з кроком квантування $\tau = 150$ годин.

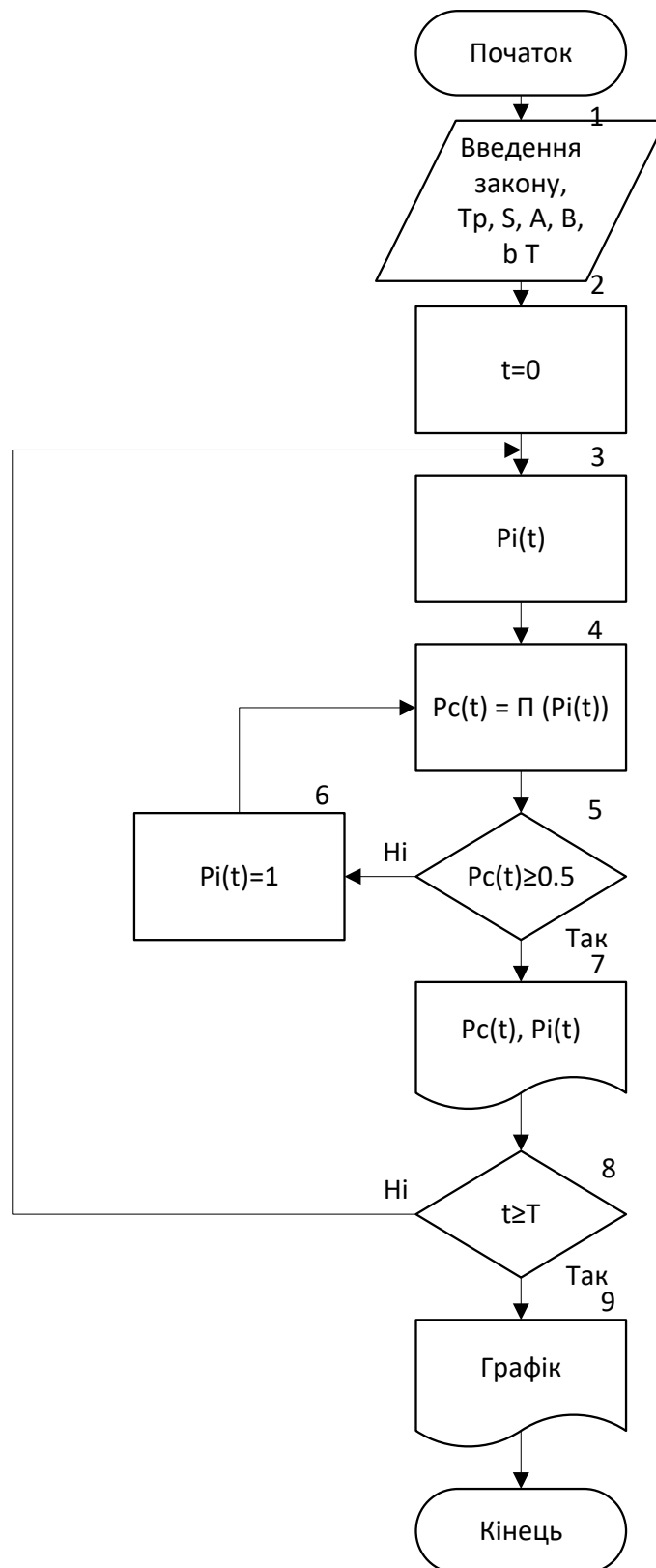


Рис. 4.1. Алгоритм розрахунку моделі безвідмовності

Вихідні дані по варіантам (табл. 4.1, 4.2). Формула структурної системи:

3 – 17 – 22 -28 – 40.

- 1) Задаємо період часу, на якому розглядається надійність складної системи;
 $0 < T < 4500$ (год.).
- 2) Приймаємо часовий інтервал $T = 150$ ч.

Таблиця 4.1

Закони та інтервали законів розподілу вірогідності безвідмовної роботи елементів

№ елементу	Закони розподілу			Параметри законів розподілу			
	Експон.	Норм.	Вейбула	T_p	S	A	B
3	E	-	-	3000	-	-	-
17	-	H	-	4000	1250	-	-
22	-	-	B	-	-	5000	3
28	E	-	-	2600	-	-	-
40	-	H	-	3500	560	-	-

- 3) Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи для елементів в порядку збільшення номера:

$$\text{№3} \quad P_3(t) = e^{-\left(\frac{t}{3000}\right)};$$

$$\text{№17} \quad P_{17}(t) = \Phi\left(\frac{(4000-t)}{1250}\right);$$

$$\text{№22} \quad P_{22}(t) = e^{-\left(\frac{t}{5000}\right)^3};$$

$$\text{№28} \quad P_{28}(t) = e^{-\left(\frac{t}{2600}\right)};$$

$$\text{№40} \quad P_{40}(t) = \Phi\left(\frac{(3500-t)}{560}\right);$$

при $t = 0, 150, 300, \dots, 4500$

- 4) Результати розрахунку друкуємо в колонку 1-5 табл. 4.2. Розраховуємо вірогідність безвідмовної роботи складної системи з послідовним з'єднанням

елементів як добуток ймовірностей безвідмовної роботи окремих елементів.

Результати розрахунку друкуємо в колонку «ЗАГ.ЙМОВІР»

5) По даним таблиці 4.1 будуємо графік функції для кожного i -го елементу i для системи $P_c(t)$.

6) Визначаємо елемент (елементи) лімітуючої надійності:

- Елемент №3 – ремонт при 2100 год, 4350 год, необхідно два запасних елемента №3 на весь час експлуатації;
- Елемент № 17– ремонт при 3450 год, необхідно один запасний елемент № 17 на весь час експлуатації;
- Елемент № 22 – ремонт не потрібен;
- Елемент № 28 – ремонт при 1950 год, 4050 год, необхідно два запасних елемента № 28 на весь час експлуатації;
- Елемента № 40 – ремонт при 3300 год, необхідно один запасний елемент № 40.

Таблиця 4.2

Приклад представлення результатів розрахунку моделі безвідмовної складної системи

T_0	ЗАГ. ЙМОВІР.	Імовірність кожного апарату				
		1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6	7
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
150	0.898	0.951	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
300	0.806	0.905	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
450	0.723	0.861	1,0000	0.999	0.999	1,0000
600	0.649	0.819	1,0000	0.998	0.998	1,0000
750	0.582	0.779	1,0000	0.997	0.997	1,0000
900	0.521	0.741	1,0000	0.994	0.994	1,0000
1050	0.466	0.705	0.999	0.991	0.991	1,0000
1200	0.416	0.67	0.998	0.986	0.986	1,0000

1	2	3	4	5	6	7
1350	0.371	0.638	0.997	0.981	0.981	1,0000
1500	0.33	0.607	0.995	0.973	0.973	1,0000
1650	0.293	0.577	0.992	0.965	0.965	1,0000
1800	0.259	0.549	0.987	0.954	0.954	1,0000
1950	0.228	0.522	0.98	0.942	0.942	1,0000
2100	0.447	0.497	0.968	0.929	0.929	1,0000
2250	0.821	1,0000	0.952	0.913	0.913	1,0000
2400	0.705	0.951	0.93	0.895	0.895	0.999
2550	0.597	0.905	0.899	0.876	0.876	0.997
2700	0.494	0.861	0.859	0.854	0.854	0.986
2850	0.393	0.819	0.807	0.831	0.831	0.954
3000	0.288	0.779	0.742	0.806	0.806	0.876
3150	0.184	0.741	0.664	0.779	0.779	0.718
3300	0.088	0.705	0.572	0.75	0.75	0.461
3450	0.134	0.67	0.466	0.72	0.72	1,0000
3600	0.247	0.638	1,0000	0.688	0.688	1,0000
3750	0.211	0.607	1,0000	0.656	0.656	1,0000
3900	0.18	0.577	1,0000	0.622	0.622	1,0000
4050	0.152	0.549	1	0.588	0.588	1
4200	0.289	0.522	1	0.553	0.553	1
4350	0.243	0.497	1	0.518	0.518	1
4500	0.43	1	1	0.482	0.482	1

Приклад виконання практичної роботи 4 представлено у додатку Д.

4.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Структурна схема системи у відповідності до вашого індивідуального завдання

3. Розрахунок вірогідності безвідмовної роботи елементів при різних значеннях часу. Всі розрахунки здійснюються в середовищі Mathcad.
4. Таблиці значень $P(t)$
5. Графіки $P(t)$ для кожного елемента і всієї системи.
6. Висновки.

4.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1) Сформулюйте поняття моделі безвідмовної складної системи.
- 2) Дайте визначення вірогідної безвідмовної роботи.
- 3) Які показники безвідмовності ви знаєте?
- 4) Сформулюйте пропозиції по графікам ремонту.
- 5) Сформулюйте пропозиції по підвищенню надійності розглянутої в роботі системи.

ПРАКТИЧНА РОБОТА 5

ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ НАДІЙНОСТІ

5.1 МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є освоєння методики і набуття практичних навичок у визначенні моделі параметричної надійності, що дозволяє визначити і прогнозувати періодичність роботи по технічному обслуговуванню і ремонту деревообробних машин з метою підвищення їх надійності.

5.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Задача визначення математичної моделі параметричної надійності вирішується виходячи з таких передумов:

- параметр машини $a(t)$ в процесі експлуатації змінюється в межах допуску від величини a_0 до a (рис.5.1);

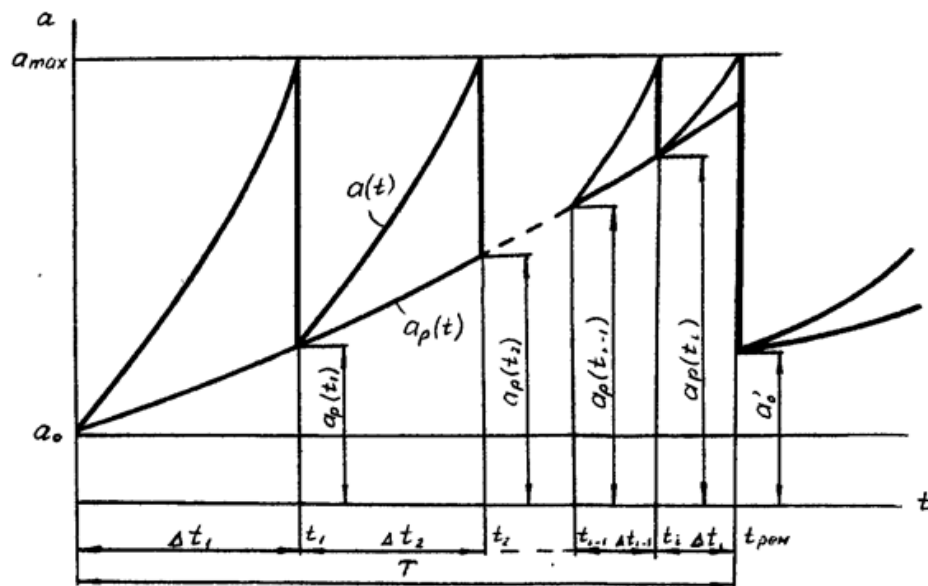


Рис. 5.1. Графічна інтерпретація математичної моделі параметричної надійності

- в моменти часу $t_1, t_2, \dots, t_i$ параметр $a(t)$ досягає верхнього допустимого рівня $a_{\max}$ і машина піддається регулюванню, що знижує параметр до значень $a_p(t_1), a_p(t_2), \dots, a_p(t_i)$;

- величина $a(t) - a_p(t)$ лінійно залежить від тривалості між регульованого періоду Δt_i з постійним кутовим коефіцієнтом K ;

- в кожен момент часу швидкість зміни величини $[a(t) - a_p(t)]$ характеризує ступінь зносу, пропорційна $a(t)$ з коефіцієнтом пропорційності λ .

Визначення математичної моделі параметричної надійності проводиться в такій послідовності:

1. Відповідно до варіанта індивідуального завдання по таблиці 1 визначити вихідні дані для розрахунку – початковий параметр машини a_0 (мм), параметр машини до моменту регулювання $a(t)$ (мм), напрацювання машини до регулювання t (тис.годин), граничне значення параметра $a_{\max}$ (мм);
2. Розрахувати значення коефіцієнтів K і λ ;
3. Визначити тривалість 1, 2, 3 міжрегулюючих інтервалів і значення функції $a_p(t_0)$ в кінці кожного з них;
4. За результатами розрахунку побудувати графік моделі параметричної надійності;
5. Сформулювати висновки і рекомендації по періодичності робіт з технічного обслуговування і ремонту машин з метою підвищення їх надійності.

Приклад визначення моделі параметричної надійності

1) Вихідні дані за варіантом (табл. 5.2):

- початковий параметр a_0 , мм – 0,45
- параметр машини до моменту регулювання $a(t)$, мм – 0,56
- параметр машини після регулювання $a_p(t)$, мм – 0,48
- напрацювання машини до регулювання Δt , тис.годин – 0,44
- граничне значення параметра $a_{\max}$, мм – 1,00.

2) Розраховуємо значення коефіцієнтів K і λ :

$$K = \frac{a(t_n) - a_p(t_n)}{\Delta t} = \frac{0.56 - 0.48}{0.44} = 0.1818$$

$$\lambda = \frac{2}{\Delta t} \cdot \frac{a_p(t_n) - a_n(t_{n-1})}{a_p(t_n) + a_n(t_{n-1})} = \frac{2}{0.44} \cdot \frac{0.48 - 0.45}{0.48 + 0.45} = 0.1466$$

3) Розраховуємо похідну $\lambda \cdot \Delta t_o$ з виразу:

$$\lambda \cdot \Delta t_o = \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K} - \frac{\lambda \cdot a_o}{K} = \frac{0.1466 \cdot 1.0}{0.1818} - \frac{0.1466 \cdot 0.45}{0.1818} =$$

$$= 0.8064 - 0.3629 = 0.4435$$

Таблиця 5.2

Варіанти індивідуальних завдань з розрахунку математичної моделі
параметричної надійності

№ варіанту	a_o , мм	$a(t)$, мм	$a_p(t)$, мм	$a_{\max}$, мм	Δt , тис. год
1	2	3	4	5	6
1	0,10	0,30	0,15	1,0	0,30
2	0,10	0,34	0,15	1,1	0,35
3	0,10	0,27	0,13	0,9	0,25
4	0,12	0,33	0,19	1,0	0,35
5	0,30	0,42	0,34	1,0	0,25
6	0,40	0,56	0,43	1,2	0,52
7	0,20	0,33	0,24	1,0	0,28
8	0,15	0,35	0,18	0,9	0,55
9	0,25	0,63	0,29	1,1	0,65
10	0,20	0,34	0,22	0,8	0,35
11	0,22	0,40	0,26	1,1	0,35
12	0,25	0,53	0,29	1,2	0,55
13	0,30	0,48	0,32	1,1	0,60

1	2	3	4	5	6
14	0,12	0,30	0,15	0,7	0,55
15	0,15	0,35	0,17	0,7	0,65
16	0,17	0,30	0,19	0,6	0,50
17	0,40	0,58	0,43	1,3	0,61
18	0,30	0,48	0,33	1,2	0,53
19	0,25	0,43	0,29	1,3	0,40
20	0,20	0,44	0,23	1,1	0,48

4) Визначаємо тривалість першого міжрегулюючого проміжку:

$$\begin{aligned}
 \lambda \cdot \Delta t_1 &= -\ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot \Delta t_o}{1 + \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K}} \right) = -\ln \left(1 - \frac{0.4435}{1 + \frac{0.1466 \cdot 1.0}{0.1818}} \right) = \\
 &= -\ln \left(1 - \frac{0.4435}{1.8064} \right) = -\ln(0.7545) = 0.2817 \\
 \Delta t_1 &= \frac{0.2817}{\lambda} = \frac{0.2817}{0.1466} = 1.92
 \end{aligned}$$

5) Значення функції $ap(t_1)$ в кінці першого інтервалу:

$$a_p(t_1) = a_{\max} - K \cdot \Delta t_1 = 1.0 - 0.1818 \cdot 1.92 = 0.6509$$

6) Визначаємо тривалість другого міжрегулюючого проміжку:

$$\lambda \cdot \Delta t_2 = -\ln \left(1 - \frac{\lambda \cdot \Delta t_1}{1 + \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K}} \right) = -\ln \left(1 - \frac{0.2817}{1.8064} \right) = 0.1695$$

$$\Delta t_2 = \frac{0.1695}{\lambda} = \frac{0.1695}{0.1466} = 1.16 (\text{мис.год}).$$

7) Значення функцій $a_p(t_2)$ в кінці другого інтервалу:

$$a_p(t_2) = a_{\max} - K \cdot \Delta t_2 = 1.0 - 0.1818 \cdot 1.16 = 0.7891$$

8) Аналогічно розраховуємо значення Δt_3 і $a_p(t_3)$ для третього інтервалу:

$$\Delta t_3 = 0.67;$$

$$a_p(t_3) = 0.8781.$$

9) По результатам розрахунків будуюмо графік моделі параметричної надійності (рис. 5.2).

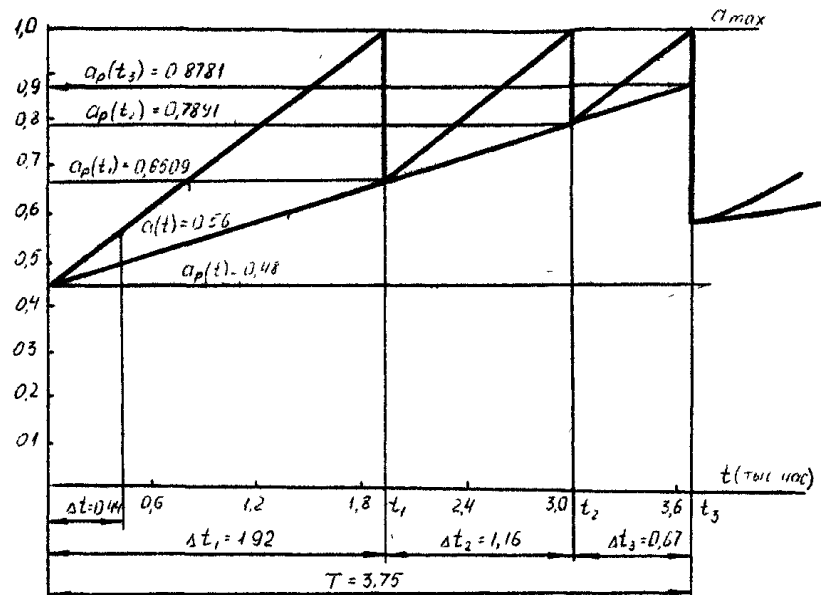


Рис.5.2. Розрахунковий графік моделі параметричної надійності

Приклад виконання практичної роботи 5 представлено у додатку Е.

5.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Розрахунки, необхідні для побудови графіка моделі параметричної надійності.
3. Графік моделі параметричної надійності.
4. Висновки по роботі.

5.4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

- 1) Вкажіть причини зміни технічного стану машини в експлуатації.
- 2) Поясніть поняття регулювання.
- 3) Сутність коефіцієнтів K і λ .
- 4) Опис моделі параметричної надійності.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6
ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА ОСНОВІ
СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ ПРО ВІДМОВУ ВИРОБІВ (ОБ'ЄКТІВ).

6.1 МЕТА РОБОТИ

Метою практичної роботи є проведення розрахунку кількісних показників надійності на основі статистичних даних про відмову виробів.

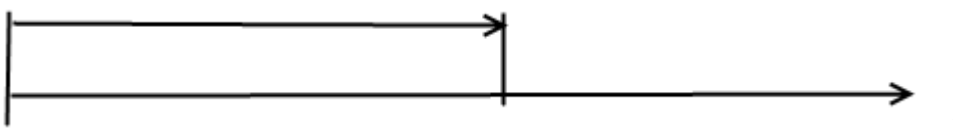
6.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Виконати розрахунок усіх задач, наведених у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1

Задачі

Номер задачі	Зміст
1	2
1	На випробовування поставлено 1000 однотипних електронних ламп. За 3000 годин відмовило 80 ламп. Визначити ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ та ймовірність відмови $Q(t)$ на протязі 3000 годин.
2	На випробовування поставлено 1000 однотипних електронних ламп. За перші 3000 годин відмовило 80 ламп, а за наступний інтервал часу 3000 - 4000 годин відмовило ще 50 ламп. Визначити щільність $f(\Delta t)$ та інтенсивність $\lambda(\Delta t)$ відмов електронних ламп в інтервалі часу $\Delta t = 3000 - 4000$ годин.

1	2
3	На випробовування поставлено $N_0=400$ виробів. За час $t=3000$ годин відмовило $n(t)=200$ виробів, за $\Delta t=100$ годин відмовило $n(\Delta t)=100$ виробів. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи за 3000 годин, ймовірність безвідмовної роботи за 3100 годин, ймовірність безвідмовної роботи за 3050 годин, щільність відмов $f(3050)$ та інтенсивність відмов $\lambda(3050)$. Часовий графік: $t=3000$ $\Delta t=100$  $N_0=400$ $n(t)=200$ $n(\Delta t)=200$
4	Протягом деякого часу проводилися спостереження за роботою деякого об'єкта. За весь час зареєстровано $n=15$ відмов. До початку спостережень об'єкт пропрацював 258 годин, а до кінця роботи напрацювання склало 1233 години. Визначити середнє напрацювання на відмову $t_{\text{сер.}}$.
5	Проведені спостереження за роботою трьох однотипних об'єктів. За період спостережень було зафіксовано по першому об'єкту 6 відмов, по другому - 11 відмов і по третьому - 8 відмов. Напрацювання першого об'єкта $t_1 = 6181$ год; другого $t_2 = 329$ год. , третього - $t_3 = 245$ год. Визначити напрацювання об'єктів на відмову

6.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Розрахунки.

3. Висновки по роботі.

Розрахунки оформлюються за наступною схемою.

Задача № ____	
Дано: <i>Вихідні дані для задачі</i> <i>(позначення = значення та</i> <i>одиниці виміру)</i>	Рішення задачі <i>Розрахункова залежність,</i> <i>розрахунок,</i> <i>результат</i>
Знайти: <i>Умовне позначення - ?</i>	

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ НА ОСНОВІ ВІДОМОГО АНАЛІТИЧНОГО ВИРАЗУ (ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ) ЯКОЇСЬ ОДНІЄЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

7.1 МЕТА РОБОТИ

Метою практичної роботи є проведення розрахунку кількісних показників надійності на основі відомого аналітичного виразу однієї характеристики.

7.2 ВКАЗІВКИ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Виконати розрахунок усіх задач, наведених у таблиці 7.1.

Таблиця 7.1

Задачі

Номер задачі	Зміст
1	Відомо, що час роботи елемента до відмови підпорядковується експоненціальному закону із $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$, щільність відмов $f(t)$ і середнє напрацювання на відмову $t_{\text{сер.}}$, якщо $t = 500, 1000, 2000$ годин.
2	Час роботи приладу до відмови підпорядковується розподілу Релея. Необхідно визначити кількісні характеристики $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$, $t_{\text{сер.}}$ при $t_1 = 500$ годин; $t_2 = 1000$ годин; $t_3 = 2000$ годин, якщо параметр розподілу $\sigma = 1000$ годин
3	Час безвідмовної роботи приладу підпорядковується закону Вейбула-Гнеденко із параметрами $k = 1,5$; $\lambda_0 = 10^{-4} \text{ год}^{-1}$, а час роботи $t = 100$ годин. Визначити кількісні характеристики надійності такого приладу.

1	2
4	Система складається із 12600 елементів, середня інтенсивність відмов яких $\lambda=0,32 \text{ год}^{-1} * 10^{-6} \text{ год}^{-1}$. Необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи протягом $t=50$ годин.
5	Система складається із трьох пристроїв. Інтенсивність відмови першого пристрою складає $\lambda_1=0,16*10^{-3} \text{ год}^{-1}$ і є постійною. Інтенсивності двох інших пристроїв залежать від часу і визначаються наступними залежностями: $\lambda_2=0,23*10^{-4}*t, \text{ год}^{-1}$ $\lambda_3=0,06*10^{-6}*t^{2,6}, \text{ год}^{-1}$ Необхідно розрахувати ймовірність безвідмовної роботи системи протягом 100 годин.

7.3 ЗМІСТ ЗВІТУ

1. Назва та мета роботи.
2. Розрахунки.
3. Висновки по роботі.

Розрахунки оформлюються за наступною схемою.

Задача № _____	
Дано: <i>Вихідні дані для задачі</i> <i>(позначення=значення одиниці виміру)</i>	Рішення задачі <i>Розрахункова залежність,</i> <i>розрахунок,</i> <i>результат</i>
Знайти: <i>Умовне позначення=?</i>	

Значення безвідмовної роботи $P(t)$ в залежності від квантіля U_p

Квантіль	Ймовірність безвідмовної роботи	Квантіль	Ймовірність безвідмовної роботи	Квантіль	Ймовірність безвідмовної роботи
0,000	0,5000	-1,1	0,8643	-2,326	0,9900
-0,1	0,5398	-1,2	0,8849	-2,4	0,9918
-0,126	0,5500	-1,282	0,9000	-2,409	0,9920
-0,2	0,5793	-1,3	0,9032	-2,5	0,9938
-0,253	0,6000	-1,4	0,9192	-2,576	0,9950
-0,3	0,6179	-1,5	0,9332	-2,6	0,9953
-0,385	0,6500	-1,6	0,9452	-2,652	0,9960
-0,4	0,6554	-1,645	0,9500	-2,7	0,9965
-0,5	0,6915	-1,7	0,9554	-2,748	0,9970
-0,524	0,7000	-1,751	0,9600	-2,8	0,9974
-0,6	0,7257	-1,8	0,9641	-2,878	0,9980
-0,674	0,7500	-1,881	0,9700	-2,9	0,9981
-0,7	0,7580	-2,0	0,9772	-3,0	0,9986
-0,8	0,7881	-2,054	0,9800	-2,090	0,9990
-0,842	0,8000	-2,1	0,9821	-3,291	0,9995
-0,9	0,8159	-2,170	0,9850	-3,5	0,9998
-1,0	0,8413	-2,2	0,9861	-3,719	0,9999
-1,036	0,8500	-2,3	0,9893		

Значення критерію χ^2_m Пірсона при різних умовах значимості Е і числах ступенів свободи К

Критерій Пірсона χ^2

Число ступенів свободи f	Рівень значимості					
	0,01	0,025	0,05	0,95	0,975	0,99
1	6,6	5,0	3,8	0,0039	0,00098	0,00016
2	9,2	7,4	6,0	0,103	0,051	0,020
3	11,3	9,4	7,8	0,352	0,216	0,115
4	13,3	11,1	9,5	0,711	0,484	0,297
5	15,1	12,8	11,1	1,15	0,831	0,554
6	16,8	14,4	12,6	1,64	1,24	0,872
7	18,5	16,0	14,1	2,17	1,69	1,24
8	20,1	17,5	15,5	2,73	2,18	1,65
9	21,7	19,0	16,9	3,33	2,70	2,09
10	23,2	20,5	18,3	3,94	3,25	2,56
11	24,7	21,9	19,7	4,57	3,82	3,05
12	26,2	23,3	21,0	5,23	4,40	3,57
13	27,7	24,7	22,4	5,89	5,01	4,11
14	29,1	26,1	23,7	6,57	5,63	4,66
15	30,6	27,5	25,0	7,26	6,26	5,23
16	32,0	28,8	26,3	7,96	6,91	5,81
17	33,4	30,2	27,6	8,67	7,56	6,41
18	34,8	31,5	28,9	9,39	8,23	7,01
19	36,2	32,9	30,1	10,1	8,91	7,63
20	37,6	34,2	31,4	10,9	9,59	8,26
21	38,9	35,5	32,7	11,6	10,3	8,90
22	40,3	36,8	33,9	12,3	11,0	9,54
23	41,6	38,1	35,2	13,1	11,7	10,2
24	43,0	39,4	36,4	13,8	12,4	10,9
25	44,3	40,6	37,7	14,6	13,1	11,5
26	45,6	41,9	38,9	15,4	13,8	12,2
27	47,0	43,2	40,1	16,2	14,6	12,9
28	48,3	44,5	41,3	16,9	15,3	13,6
29	49,6	45,7	42,6	17,7	16,0	14,3
30	50,9	47,0	43,8	18,5	16,8	15,0

Приклад виконання практичної роботи №1

$$T := \begin{pmatrix} 250 \\ 380 \\ 490 \\ 560 \\ 680 \\ 800 \\ 880 \\ 930 \\ 1000 \\ 1250 \\ 1500 \\ 1600 \end{pmatrix}$$

Середній ресурс: $T_p := \frac{\sum_{i=0}^{11} T_i}{12} = 860$

Інтенсивність відмов: $\lambda := \frac{1}{T_p} = 1.163 \times 10^{-3}$

Межі інтервалу: $S_m := \begin{pmatrix} 325 \\ 475 \\ 625 \\ 775 \\ 925 \\ 1075 \\ 1225 \\ 1375 \\ 1525 \end{pmatrix}$

Середні значення:

$$I := \begin{pmatrix} 250 \\ 400 \\ 550 \\ 700 \\ 850 \\ 1000 \\ 1150 \\ 1300 \\ 1450 \\ 1600 \end{pmatrix}$$

Кількість значень:

$$\underline{m_i} := \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 3 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

$i := 0..8$

Теоретична ймовірність p_i потрапляння в кожний з шести інтервалів:

$$P_i := e^{-\lambda \cdot I_i} - e^{-\lambda \cdot I_{i+1}}$$

$$P^T = (0.12 \ 0.101 \ 0.084 \ 0.071 \ 0.06 \ 0.05 \ 0.042 \ 0.035 \ 0.03)$$

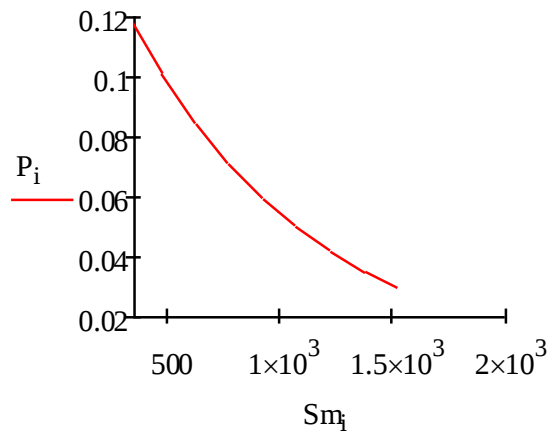
Встановлений ресурс елементу при експоненційному законі розподілу і довірчій ймовірності 0,95

$$T_{py} := \frac{0.05}{\lambda} = 43$$

Розрахункове значення критерію Пірсона:

$$\chi^2_{p2} := \sum_{i=0}^8 \frac{(m_i - 12 \cdot P_i)^2}{12 \cdot P_i} = 17.324$$

$$\chi^2_{m2} := 26.2 \text{ (табличне значення критерію Пірсона)}$$



Оскільки $\chi^2_{p2} < \chi^2_{m2}$, то гіпотеза про експоненціальний закон отримує підтвердження.

Перевіримо гіпотезу про нормальний закон розподілу ресурсів:

Середній ресурс:

$$S := \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{11} (T_p - T_i)^2}{12 - 1}} = 426.359$$

$$T_{py} := T_p - 1.645S = 158.64$$

Ймовірність безвідмовної відмови для нормального закону розподілу:

$$P_i := \frac{(S m_i - T_p)}{S}$$

$$P^T = (-1.255 \ -0.903 \ -0.551 \ -0.199 \ 0.152 \ 0.504 \ 0.856 \ 1.208 \ 1.56)$$

$$P_k := \begin{pmatrix} 0.9 \\ 0.81 \\ 0.71 \\ 0.57 \\ 0.55 \\ 0.69 \\ 0.8 \\ 0.88 \\ 0.94 \end{pmatrix}$$

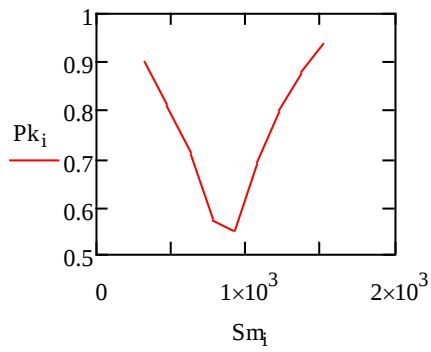
Значення за квантилем

Розрахункове значення критерію Пірсона:

$$\chi^2_p := \sum_{i=0}^8 \frac{(m_i - 12 \cdot P_{k_i})^2}{12 \cdot P_{k_i}}$$

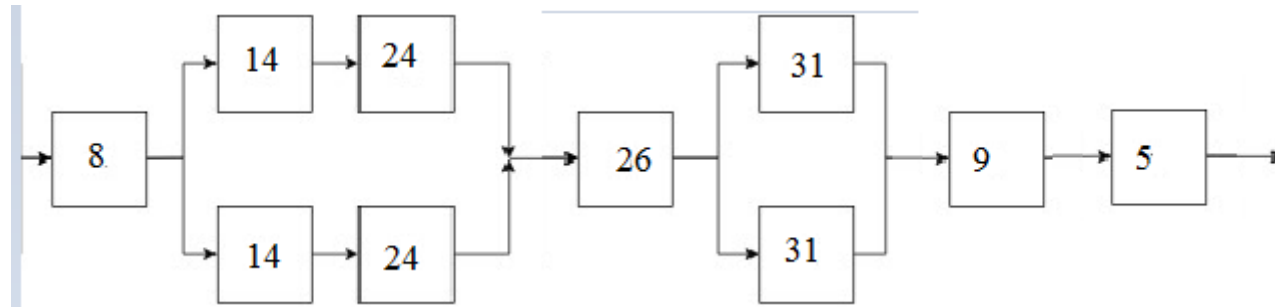
$$\chi^2_p = 59.232$$

$$\chi^2_m := 26.2$$



Оскільки $\chi^2_p > \chi^2_m$ то гіпотеза про нормальний закон не отримує підтвердження

Приклад виконання практичної роботи №2 у програмі MathCAD

 $t := 0, 100..2000$


№ елемента 8

Закон Е

 $Tr8 := 1100$

№ елемента 14

Закон Е

 $Tr14 := 500$

№ елемента 24

Закон Н

 $Tr24 := 1800$ $S24 := 200$

№ елемента 31

Закон Н

 $Tr31 := 1100$ $S31 := 2500$

№ елемента 5

Закон В

 $a5 := 500$ $b5 := 1.5$

№ елемента 9

Закон В

 $a9 := 680$ $b9 := 2.0$

№ елемента 26

Закон В

 $a26 := 640$ $b26 := 2.0$

$$P8(t) := e^{\frac{-t}{Tr8}}$$

 $P8(t) =$

1
0.913
0.834
0.761
0.695
0.635
0.58
0.529
0.483
0.441
0.403
0.368
0.336
...

$$P14(t) := e^{\frac{-t}{Tr14}}$$

 $P14(t) =$

1
0.819
0.67
0.549
0.449
0.368
0.301
0.247
0.202
0.165
0.135
0.111
0.091
...

$$X24 := \frac{2000 - Tr24}{S24}$$

$$P24(t) := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \int_{t-Tr24}^{\infty} \frac{e^{\frac{-X24^2}{2}}}{S24} dX24$$

 $P24(t) =$

1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
1
...

$$X31 := \frac{2000 - Tr31}{S31}$$

$$P31(t) := \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 3.14}} \cdot \int_{t-Tr31}^{\infty} \frac{e^{\frac{-X31^2}{2}}}{S31} dX31$$

 $P31(t) =$

0.67
0.656
0.641
0.626
0.61
0.595
0.579
0.564
0.548
0.532
...

$$P5(t) := e^{-a5 \cdot 10^{-11} \cdot t^{b5}}$$

$$P9(t) := e^{-a9 \cdot 10^{-11} \cdot t^{b9}}$$

$$P26(t) := e^{-a26 \cdot 10^{-11} \cdot t^{b26}}$$

$P5(t) =$	$P9(t) =$	$P26(t) =$	$1 - (1 - P31(t))^2$	$1 - (1 - P14(t) \cdot P24(t))^2$
1	1	1	0.891	1
1	1	1	0.881	0.967
1	1	1	0.871	0.891
1	0.999	0.999	0.86	0.797
1	0.999	0.999	0.848	0.697
1	0.998	0.998	0.836	0.601
1	0.998	0.998	0.823	0.512
...	...	...	...	...

$$P_{\text{сист}}(t) := P8(t) \cdot [1 - (1 - P14(t) \cdot P24(t))^2] \cdot [1 - (1 - P31(t))^2] \cdot P26(t) \cdot P9(t) \cdot P5(t)$$

$$P_{\text{сист}}(t) =$$

0.891
0.778
0.647
0.521
0.41
0.318
0.243
...

+

Приклад виконання практичної роботи №3 у програмі MathCAD

Вихідні дані:

Формула структурної схеми: 59-37/37-38/38-14/14/14-12-48

Середнє напрацювання елементів на відмову:

$$T_{12} := 32$$

$$T_{38} := 72$$

$$T_{14} := 21$$

$$T_{48} := 620$$

$$T_{37} := 96$$

$$T_{59} := 220$$

Період часу експлуатації: $t := 8$ годин

Розрахункова частина:

1) Визначаємо інтенсивність відмов для кожного елемента системи:

$$\lambda_{12} := (T_{12})^{-1} = 0.0313$$

$$\lambda_{38} := (T_{38})^{-1} = 0.0139$$

$$\lambda_{14} := (T_{14})^{-1} = 0.0476$$

$$\lambda_{48} := (T_{48})^{-1} = 0.0016$$

$$\lambda_{37} := (T_{37})^{-1} = 0.0104$$

$$\lambda_{59} := (T_{59})^{-1} = 0.0045$$

2) Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи для кожного елемента

системи:

$$P_{12} := e^{-\lambda_{12} \cdot t} = 0.7788$$

$$P_{38} := e^{-\lambda_{38} \cdot t} = 0.8948$$

$$P_{14} := e^{-\lambda_{14} \cdot t} = 0.6832$$

$$P_{48} := e^{-\lambda_{48} \cdot t} = 0.9872$$

$$P_{37} := e^{-\lambda_{37} \cdot t} = 0.92$$

$$P_{59} := e^{-\lambda_{59} \cdot t} = 0.9643$$

3) Визначаємо ймовірність безвідмовної роботи групи елементів з постійним резервуванням:

$$Pr_{14} := 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_{14}) = 0.9682$$

$$Pr_{37} := 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - P_{37}) = 0.9936$$

$$Pr_{38} := 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - P_{38}) = 0.9889$$

4) Розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P := Pr_{14} \cdot P_{12} \cdot Pr_{37} \cdot Pr_{38} \cdot P_{48} \cdot P_{59} = 0.7053$$

Очевидно, що надійність системи невисока і підвищити її можна за рахунок дублювання елемента 12.

5) При постійному (навантаженому) резервуванні елемента 12 другим однотипним елементом, який приєднано паралельно, ймовірність безвідмовної роботи групи елементів 26 складатиме:

$$Pr_{12} := 1 - (1 - P_{12})^2 = 0.9511$$

6) При цьому ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнюватиме:

$$\underline{P} := Pr_{12} \cdot Pr_{14} \cdot Pr_{37} \cdot Pr_{38} \cdot P_{48} \cdot P_{59} = 0.8613$$

7) При використанні ненавантаженого резервного елемента 12 (дублювання з відновленням), ймовірність безвідмовної роботи групи елементів 12

визначається із співвідношення $M_{12} = 0.0125$

$M_{12} \equiv 0.4$ -- середній час відновлення працездатності елементів систем при ремонті.

$$T_o := \frac{1}{\lambda_{12}} + \frac{0.5}{\lambda_{12} \cdot \alpha} = 1.312 \times 10^3$$

$$\underline{Pr}_{12} := e^{\frac{-t}{T_o}} = 0.9939$$

8) При цьому ймовірність безвідмовної роботи системи дорівнюватиме:

$$\underline{P} := Pr_{12} \cdot Pr_{14} \cdot Pr_{37} \cdot Pr_{38} \cdot P_{48} \cdot P_{59} = 0.9001$$

Приклад виконання практичної роботи № 4 у програмі Mathcad

$t := 4500$	- Період часу
$krok := 10$	- Часовий інтервал
$p3 := 0.5$	- Поріг надійності елементу 3
$p17 := 0.5$	- Поріг надійності елементу 17
$p22 := 0.5$	- Поріг надійності елементу 22
$p28 := 0.5$	- Поріг надійності елементу 28
$p40 := 0.5$	- Поріг надійності елементу 40

Розрахункова частина:

$$kilk := \frac{t}{krok}$$

$$i := 0..kilk$$

$$t1_i := i \cdot krok$$

Розрахунок надійності кожного із елементів:

$$P3(t, krok, kilk, p3) := \begin{array}{|l} j \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..kilk \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow L + krok \\ L \leftarrow 0 \text{ if } k < p3 \\ \quad \quad \quad - \left(\frac{L}{3000} \right) \\ k \leftarrow e \\ z_j \leftarrow k \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ z \end{array}$$

$$P17(t, krok, kilk, p17) := \begin{array}{|l} j \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..kilk \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow L + krok \\ L \leftarrow 0 \text{ if } k < p17 \\ \quad \quad \quad k \leftarrow \operatorname{erf} \left(\frac{4000 - L}{1250} \right) \\ z_j \leftarrow k \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ z \end{array}$$

$$P22(t, krok, kilk, p22) := \begin{array}{|l} j \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..kilk \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow L + krok \\ L \leftarrow 0 \text{ if } k < p22 \\ \quad \quad \quad - \left(\frac{L}{5000} \right)^3 \\ k \leftarrow e \\ z_j \leftarrow k \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ z \end{array}$$

$$P28(t, krok, kilk, p28) := \begin{array}{|l} j \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 0..kilk \\ \quad \left| \begin{array}{l} L \leftarrow L + krok \\ L \leftarrow 0 \text{ if } k < p28 \\ \quad \quad \quad - \left(\frac{L}{2600} \right) \\ k \leftarrow e \\ z_j \leftarrow k \\ j \leftarrow j + 1 \end{array} \right. \\ z \end{array}$$

$P40(t, \text{krok}, \text{kilk}, p40) :=$ $j \leftarrow 0$ for $i \in 0.. \text{kilk}$ $L \leftarrow L + \text{krok}$ $L \leftarrow 0$ if $k < p40$ $k \leftarrow \text{erf}\left(\frac{3500 - L}{460}\right)$ $z_j \leftarrow k$ $j \leftarrow j + 1$
--

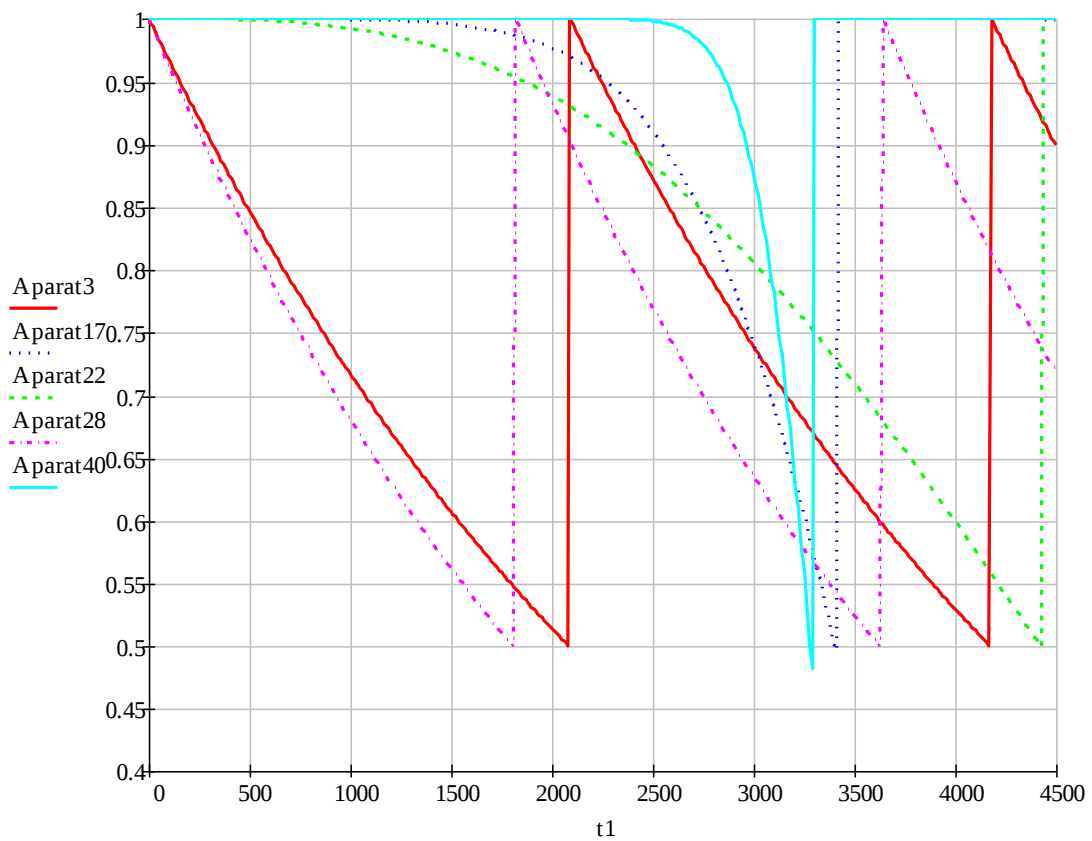


Рис.Д.1. Графік залежності вірогідності безвідмовної роботи від часу

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи складної системи з послідовним з'єднанням елементів:

```

Suma(Aparat3, Aparat17, Aparat22, Aparat28, Aparat40) :=
    j ← 0
    for i ∈ 0..kilk
        z ← Aparat3i · Aparat17i · Aparat22i · Aparat28i · Aparat40i
        kj ← z
        j ← j + 1
    k

```

Zag_virogidnist= Suma(Aparat3, Aparat17, Aparat22, Aparat28, Aparat40)

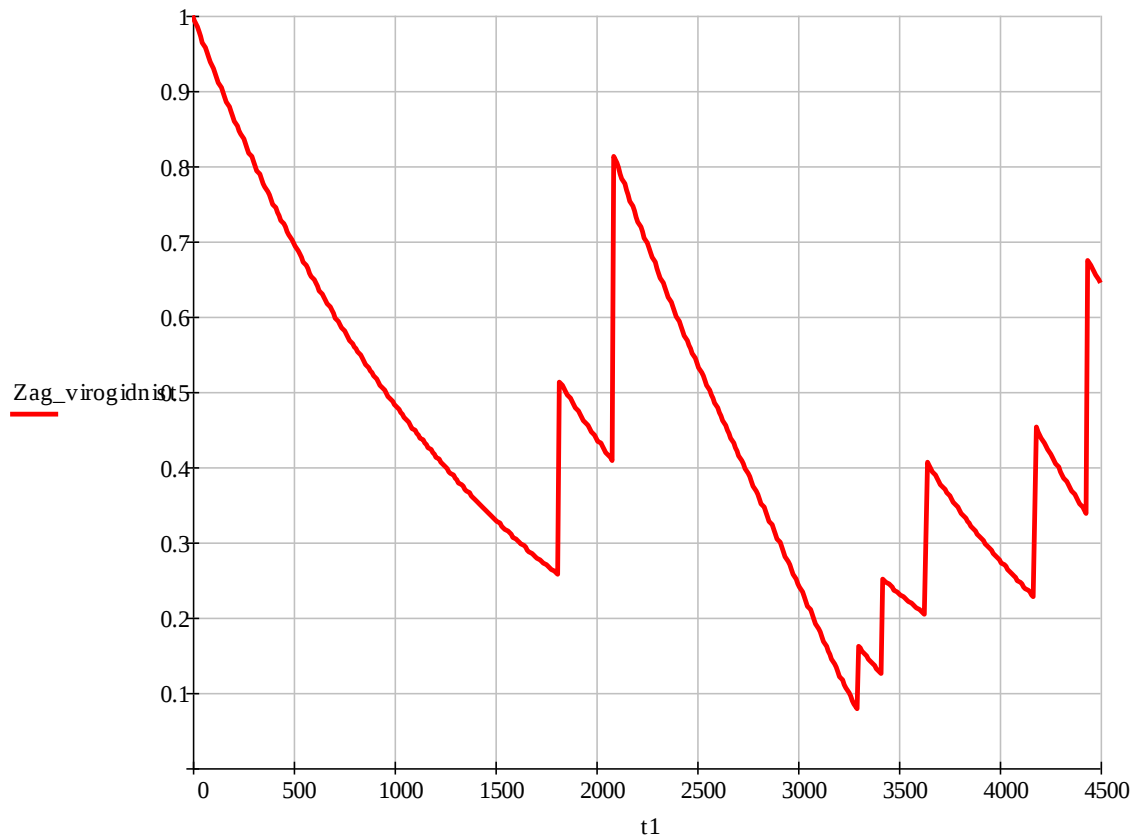


Рис. Д.2. Графік вірогідності безвідмовної роботи складної системи з послідовним з'єднанням елементів

Приклад виконання практичної роботи № 5 у програмі Mathcad

1) Вихідні дані:

початковий параметр a_0 , мм	$a_0 := 0.45$
параметр машини до моменту регулювання $a(t)$, мм	$a_t := 0.56$
параметр машини після регулювання $a_p(t)$, мм	$a_{pt} := 0.48$
напрацювання машини до регулювання t , тис. год	$\Delta t := 0.4$
граничне значення параметра $a_{\max}$, мм	$a_{\max} := 1$

2) Розраховуємо значення коефіцієнтів K і λ :

$$K := \frac{a_t - a_{pt}}{\Delta t} = 0.1818$$

$$\lambda := \frac{2 \cdot a_{pt} - a_0}{\Delta t \cdot a_{pt} + a_0} = 0.1466$$

3) Розраховуємо добуток t_0 і λ :

$$\lambda \Delta t_0 := \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K} - \frac{\lambda \cdot a_0}{K} = 0.4435$$

4) Визначаємо тривалість першого міжрегулювального проміжку:

$$\lambda \Delta t_1 := -\ln \left(1 - \frac{\lambda \Delta t_0}{1 + \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K}} \right) = 0.2817$$

$$\Delta t_1 := \frac{\lambda \Delta t_1}{\lambda} = 1.92$$

5) Визначаємо значення функції $a_p(t_1)$ в кінці першого інтервалу:

$$a_{pt1} := a_{\max} - K \cdot \Delta t_1 = 0.6506$$

6) Визначаємо тривалість другого міжрегулювального проміжку:

$$\lambda \Delta t_2 := -\ln \left(1 - \frac{\lambda \Delta t_1}{1 + \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K}} \right) = 0.1696$$

$$\Delta t_2 := \frac{\lambda \Delta t_2}{\lambda} = 1.16$$

7) Визначаємо значення функції $a_p(t_2)$ в кінці другого інтервалу:

$$a_{pt2} := a_{\max} - K \cdot \Delta t_2 = 0.7897$$

8) Аналогічно розраховуємо значення Δt_3 і $a_p(t_3)$ для третього інтервалу:

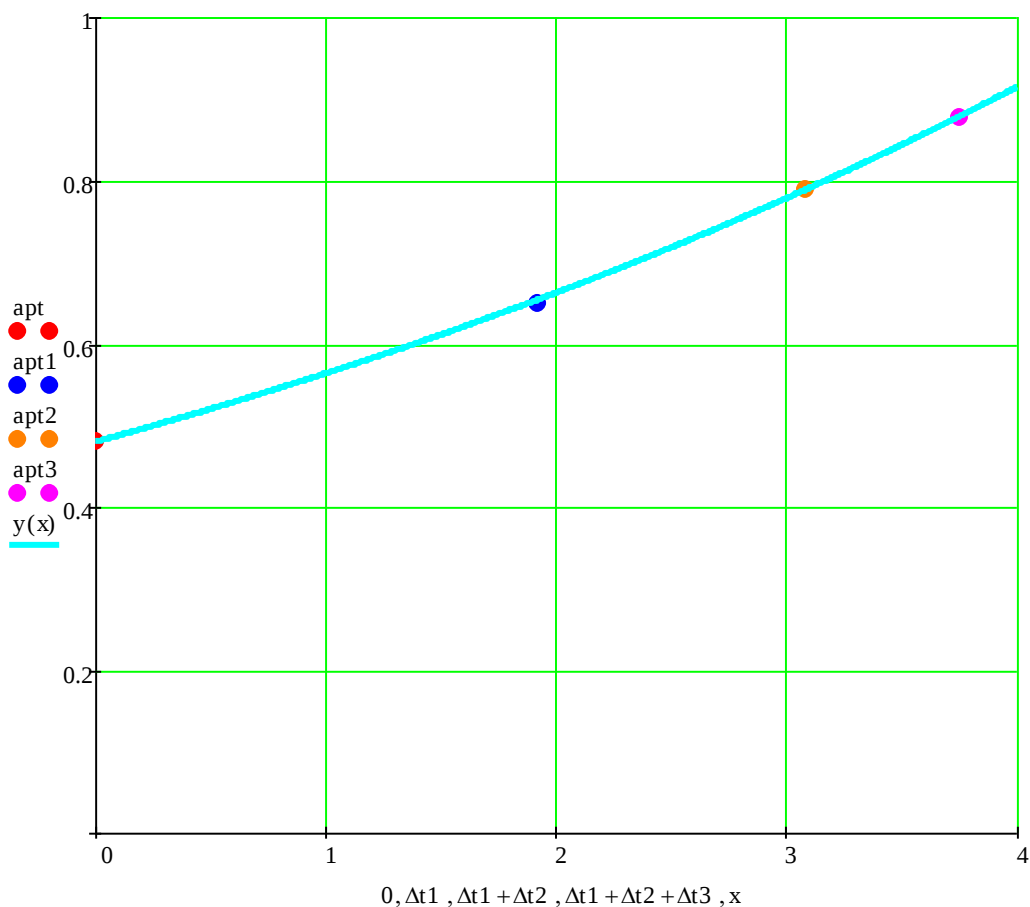
$$\lambda \Delta t_3 := -\ln \left(1 - \frac{\lambda \Delta t_2}{1 + \frac{\lambda \cdot a_{\max}}{K}} \right) = 0.0986$$

$$\Delta t_3 := \frac{\lambda \Delta t_3}{\lambda} = 0.67$$

$$a_{pt3} := a_{\max} - K \cdot \Delta t_3 = 0.878$$

9) За результатами розрахунку будемо графік моделі параметричної надійності:

$$y(x) := 0.4793 e^{0.1615 \cdot x}$$



Література

1. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 129 с.
2. Якість і надійність технологічних систем : посібник для студентів технічних спеціальностей / Г.П. Клименко, Я.В. Васильченко, М.В. Шаповалов ; Міністерство освіти і науки України, Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА). - Краматорськ : ДДМА, 2018. - 199 сторінок : рисунки, таблиці.
3. Березуцький, Вячеслав Володимирович. Небезпечні виробничі ризики та надійність : навчальний посібник для студентів за напрямом підготовки 6.170202-Цивільна безпека, спеціальність-Цивільна безпека, спеціалізація-Охорона праці / В.В. Березуцький, М.І. Адаменко ; Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". - Харків : НТУ "ХПІ", 2016. - 385 с.
4. Дубіненко С. Б. Штовба С. Д. Основи теорії надійності систем управління і автоматики. Навчальний посібник / С. Б. Дубіненко, С. Д. Штовба. – Вінниця: ВДТУ, 2002. – 65 с.
5. Надійність електричних систем і мереж : навчальний посібник / А.В. Журахівський, Б.М. Кінаш, О.Р. Пастух ; Міністерство освіти і науки України, Національний університет "Львівська політехніка". - Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. - 280 с. : іл., табл., схеми.
6. Надежность технических систем / Е. Переверзев, А. Апатов, Ю. Даниев, П. Новак – Днепропетровск: Пороги, 2002. – 396 с.
7. Креденцер, Борис Петрович, 1938- , автор, редактор. Оцінка надійності резервованих систем при обмеженій вихідній інформації : монографія / Б.П. Креденцер, В.В. Вишнівський, М.К. Жердєв, Д.І. Могилевич, Л.С. Стойкова ; під науковою редакцією Б.П. Креденцера ; Національний технічний університет

України "Київський політехнічний інститут". - Київ : Фенікс, 2013. - 334 сторінки : рисунки, таблиці.

8. Креденцер, Борис Петрович, 1938- , автор, редактор. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація / Б.П. Креденцер, О.М. Буточнов, А.І. Міночкін, Д.І. Могилевич ; під науковою редакцією Б.П. Креденцера ; Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут". - Київ : Фенікс, 2013. - 341 сторінка : рисунки.