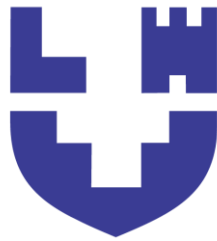


**Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет**



# **НАДІЙНІСТЬ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПЛОТНИМИ АПАРАТАМИ**

Методичні вказівки до виконання курсової роботи  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами»  
галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка  
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2025

**УДК 621.396**  
**НГ40**

До друку

Голова вченої ради факультету комп'ютерних та інформаційних технологій \_\_\_\_\_ І. С. Кондіус

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій ЛНТУ

Директор бібліотеки \_\_\_\_\_ Н. П. Поліщук

Затверджено вченою радою факультету комп'ютерних та інформаційних технологій ЛНТУ, протокол № \_\_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ, протокол № \_ від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року.

Завідувач кафедри АКІТ \_\_\_\_\_ О. Ю. Повстяной

Укладач: \_\_\_\_\_ Л. О. Гуменюк, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ.

Рецензент: \_\_\_\_\_ Р. Г. Редько, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри прикладної механіки та мехароніки ЛНТУ.

Відповідальний за випуск: \_\_\_\_\_ О. Ю. Повстяной, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ЛНТУ.

**Надійність та діагностування систем керування безпілотними апаратами:** Методичні вказівки до виконання курсової роботи для НГ-40 здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка денної та заочної форм навчання / уклад. Л. О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 24 с.

У виданні викладено теорію розрахунків структурної надійності систем та методи підвищення надійності технічних систем. Наведено методичні рекомендації до виконання роботи та приклад розрахунку надійності.

Методичні вказівки укладено в результаті опрацювання опублікованих джерел [1-9].

## ЗМІСТ

МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ) .....	4
СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ) .....	5
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ (КПЗ) ...	6
ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ) .....	8
ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ .....	13
ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ)ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ .....	20
АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ .....	22
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	23

## МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ)

Курсове проектування є завершальним етапом вивчення дисципліни «Надійність та діагностування систем керування безпілотними апаратами» і призначене для систематизації, поглиблення і закріплення знань, отриманих студентами при вивченні даної дисципліни.

Курсова робота – це комплексне практичне індивідуальне завдання (КПЗ) студентів з дисципліни «Надійність та діагностування систем керування безпілотними апаратами». Виконання курсової роботи є одним із обов'язкових складових модулів залікового кредиту, що виконується самостійно кожним студентом.

Мета курсової роботи – закріплення теоретичних знань з дисципліни «Надійність та діагностування систем керування безпілотними апаратами», формування та закріплення умінь і навичок опрацювання технологічних систем, а також розробка самостійних проєктних рішень по реалізації окремих задач на ЕОМ.

Тематика курсової роботи – розрахунок надійності технологічних систем – орієнтована на дослідження і модернізацію технологічних систем.

При виконанні курсової роботи здобувачі вищої освіти повинні показати:

- уміння виконати розрахунок надійності заданої структурної схеми;
- уміння дослідити систему з точки зору підвищення її надійності;
- дати рекомендації по модернізації системи

Завдання курсової роботи полягає в тому, щоб студент міг самостійно обґрунтувати прийняте проєктне рішення. В процесі курсового проектування студент повинен навчитися користуватися спеціальною літературою, типовими проєктними рішеннями, довідниками, стандартами та іншими довідковими матеріалами.

Виконання курсової роботи вдосконалює загальнотеоретичну і спеціальну підготовку студентів і готує їх до виконання наступного етапу навчального процесу – виконання кваліфікаційної роботи бакалавра.

## СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ)

Курсова робота містить текстову частину – пояснювальну записку.

Пояснювальна записка оформлюється українською мовою відповідно до існуючих державних стандартів [1-2] та методичних рекомендацій [3].

Всі дії та використання розрахункових співвідношенні повинні бути пояснені і обґрунтовані. Для цитованої інформації (формули, числові значення констант) необхідно вказати джерело запозичення.

Загальними вимогами до тексту пояснювальної записки є логічна послідовність викладення матеріалу, чіткість і конкретність викладення теоретичних і практичних результатів роботи, суті постановки завдання та мети роботи, методів дослідження, прийнятих рішень, доведеність висновків і обґрунтованість рекомендацій. У тексті пояснювальної записки необхідно дотримуватись єдиної термінології. Вона не повинна бути перевантажена малоінформативним матеріалом, описом загальновідомих даних тощо. Необхідно посилатися на джерела інформації.

Пояснювальна записка повинна містити:

- титульний аркуш пояснювальної записки;
- завдання на курсову роботу;
- розрахункові матеріали;
- структурну схему надійності та її перетворення у процесі згортки;
- графіки залежностей ймовірностей безвідмовної роботи від часу для базової та модернізованих систем;
- висновки;
- перелік використаних джерел.

## МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ (КПЗ)

Завдання на курсову роботу (КР) містить в якості вихідних даних структурну схему надійності технічної системи (ТС) та інтенсивність відмов її елементів. Тобто студент виявляється у ситуації, коли йому слід в першу чергу скласти розрахункові залежності для визначення показників надійності системи для різних значень напрацювання  $t$ , щоб графічно відобразити ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  як функцію напрацювання.

Оскільки задана схема надійності є комбінованою, спочатку слід виконати декомпозицію. Далі, вводячи відповідні квазіелементи, перетворити вихідну схему на простішу і, використовуючи відповідні формули, для ряду значень напрацювання  $t$  в припущенні найпростішого потоку відмов обчислити значення ймовірності безвідмовної роботи елементів, квазіелементів і всієї системи. В пояснювальній записці потрібно привести всі проміжні перетворення вихідної схеми, конкретні робочі розрахункові формули з їх обґрунтуванням, а результати розрахунків представити у вигляді таблиці, в якій по стовпцях змінюється значення напрацювання  $t$ , а по рядках в стовпцях приводяться обчислені значення ймовірностей безвідмовної роботи елементів, квазіелементів і всієї системи, отримані за робочими формулами. При цьому діапазон вимірювань напрацювання  $t$  повинен забезпечити зниження ймовірності безвідмовної роботи системи до рівня 0,1-0,2 і містити не менше 8-10 значень аргумента.

Після цього будується графік залежності  $P(t)$  за результатами розрахунків. По ньому графічно за заданим значенням  $\gamma(P_\gamma)$  визначається  $\gamma$ -процентне напрацювання системи –  $T_\gamma$ .

За умовою необхідно запропонувати способи підвищення  $\gamma$ -процентного напрацювання в 1,5 рази за рахунок підвищення надійності елементів і за рахунок структурного резервування.

Попередньо слід визначити елемент або квазіелемент остаточно перетвореної схеми, підвищення надійності якого дасть максимальний ефект щодо надійності всієї системи. Оскільки аналітично визначити похідні зазвичай не вдається, вибір елемента може бути здійснено за величиною ймовірності безвідмовної роботи.

Для подальших дій необхідно обчислити потрібне покращене значення  $\gamma$ -процентного напрацювання  $T'_\gamma$  елементарним множенням  $T_\gamma$  на 1,5. Отже, щоб задовольнити завдання щодо підвищення надійності системи, необхідно забезпечити ймовірність безвідмовної роботи  $P = P_\gamma$  за час  $t = T'_\gamma = T_\gamma \cdot 1,5$ . Тепер

слід повторити розрахунок надійності елементів, квазіелементів і всієї системи за час  $T'_\gamma$  і доповнити цим стовпцем попередню таблицю.

Знаючи ймовірності безвідмовної роботи всіх елементів перетвореної схеми та потрібне значення  $P_\gamma$ , легко визначити, яку ймовірність безвідмовної роботи  $P'$  за час  $T'_\gamma$  повинен мати квазіелемент, обраний для модернізації.

За першим варіантом модернізації необхідно визначити інтенсивності відмов елементів, що входять в даний квазіелемент, при яких при незмінній структурі квазіелемента забезпечувалося б необхідне значення  $p'(T'_\gamma)$ . Простіше це здійснити графоаналітичним методом, задаючи ряд пропорційно зменшених (у порівнянні з вихідною) інтенсивностей відмов для складових квазіелемента і прораховуючи кожен раз величину  $p'(T'_\gamma)$ . З побудованого за цими даними графіка можна визначити необхідну кратність зниження інтенсивності відмов елементів і самі значення інтенсивності. Для знайденого рішення слід виконати перевірочний розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи за час  $T'_\gamma$ .

За другим методом надійність обраного квазіелемента можна підвищити за рахунок резервування без зміни надійності складових елементів. При цьому, враховуючи структуру модернізованого квазіелемента, потрібно вибрати, які його складові елементи і як слід резервувати для досягнення найбільшого ефекту. Далі залишається визначити необхідну кратність резервування  $\ell$ . Оскільки  $\ell$  є величина дискретна, аналітично її визначити неможливо. Для вирішення задачі потрібно послідовно збільшувати кратність резервування, починаючи з одиниці, кожного разу за відповідними формулами визначаючи величину ймовірності безвідмовної роботи квазіелемента протягом часу  $T'_\gamma$ .

Як тільки необхідне значення  $p'(T'_\gamma)$  буде забезпечено, виявиться реалізованим другий метод підвищення надійності системи. Для знайденого рішення також необхідно провести перевірку ймовірності безвідмовної роботи системи за час  $T'_\gamma$ . Модернізовану структуру з резервуванням слід привести в пояснювальній записці.

Для побудови залежностей ймовірностей безвідмовної роботи від часу для модернізованої системи за першим і другим методами зручно доповнити раніше складену таблицю відповідними рядками. Графіки цих залежностей слід зобразити спільно з кривою  $P(t)$  вихідної системи.

Отримане сімейство кривих дозволяє провести порівняння двох варіантів модернізації, яке слід навести як висновок до роботи.

## ВИХІДНІ ДАНІ ДО КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ)

За структурною схемою надійності технічної системи відповідно до варіанта завдання, необхідного значення ймовірності безвідмовної роботи системи  $\gamma$  і значень інтенсивностей відмов її елементів  $\lambda_i$  (таблиця 1) потрібно виконати наступне.

1. Побудувати графік зміни ймовірності безвідмовної роботи системи від часу напрацювання в діапазоні зниження ймовірності до рівня 0,1-0,2.

2. Визначити  $\gamma$ -процентне напрацювання технічної системи.

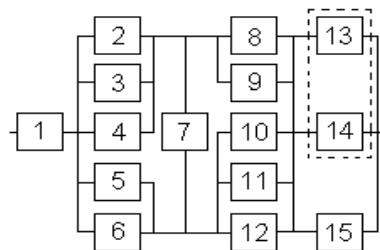
3. Забезпечити збільшення  $\gamma$ -процентного напрацювання не менше, ніж у 1,5 рази за рахунок:

а) підвищення надійності елементів;

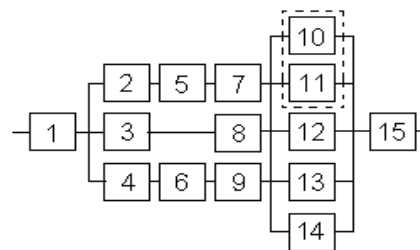
б) структурного резервування елементів системи.

Всі елементи системи працюють у режимі нормальної експлуатації (найпростіший потік відмов). Резервування окремих елементів або груп елементів здійснюється ідентичними по надійності резервними елементами або групами елементів. Перемикачі при резервуванні вважаються ідеальними.

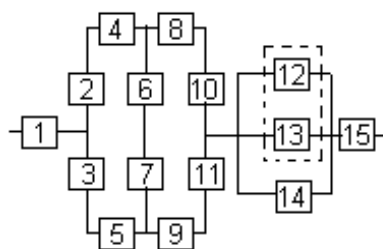
На схемах обведені пунктиром  $m$  елементів є функціонально необхідними з  $n$  паралельних гілок.



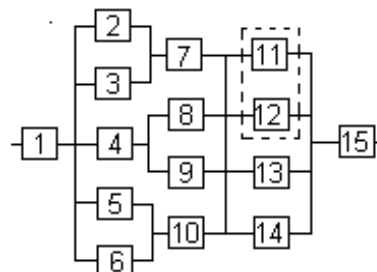
Варіант 1



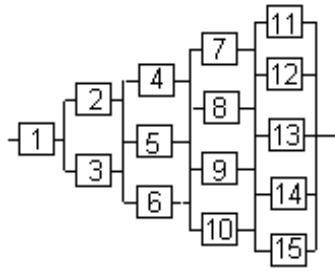
Варіант 2



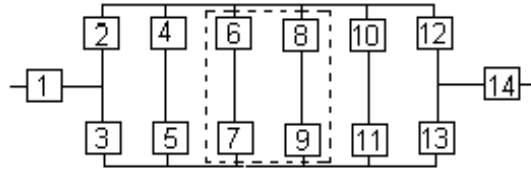
Варіант 3



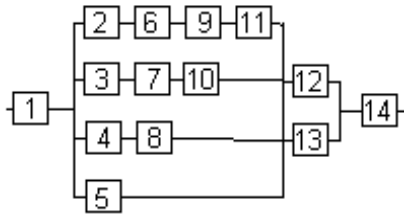
Варіант 4



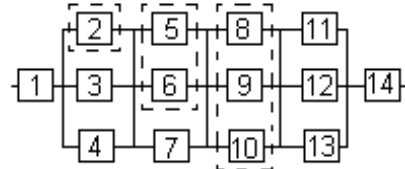
Варіант 5



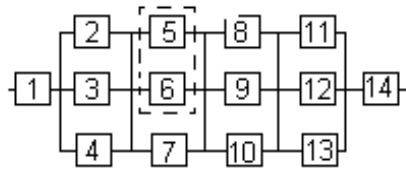
Варіант 6



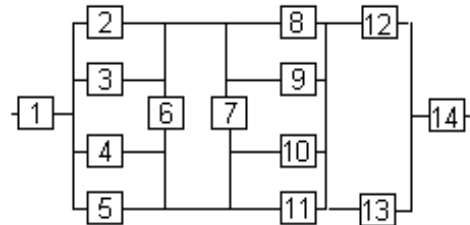
Варіант 7



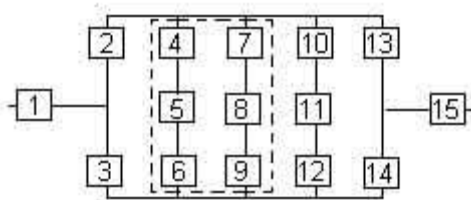
Варіант 8



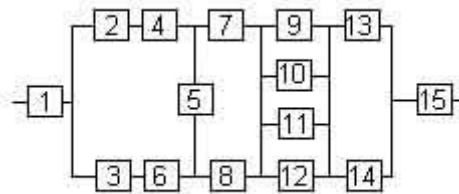
Варіант 9



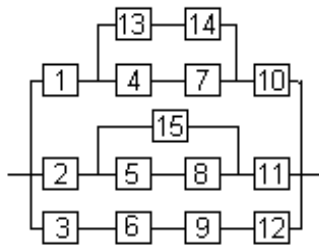
Варіант 10



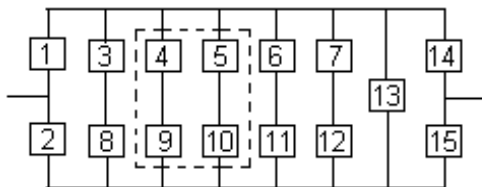
Варіант 11



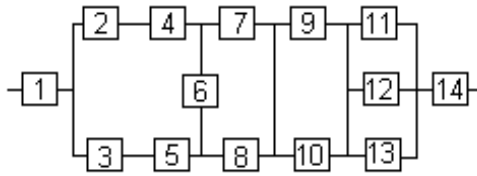
Варіант 12



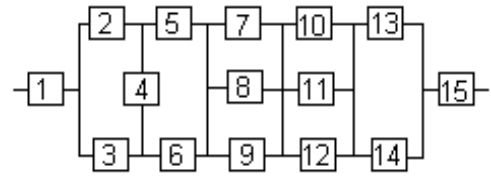
Варіант 13



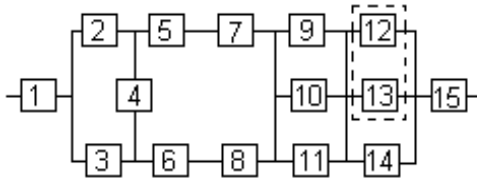
Варіант 14



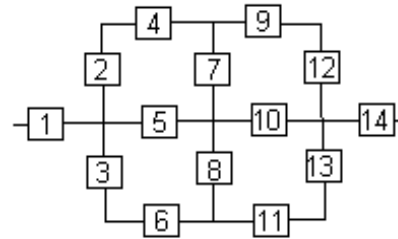
Варіант 15



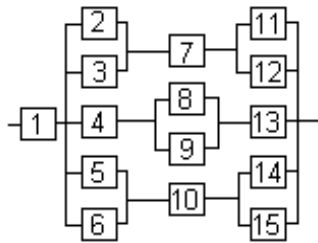
Варіант 16



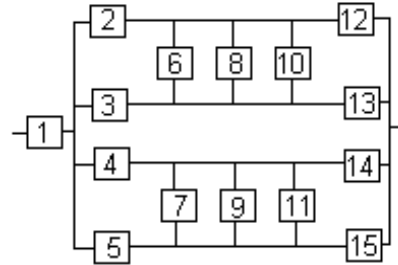
Варіант 17



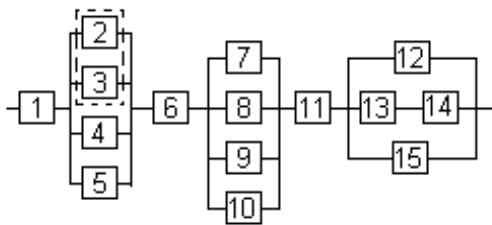
Варіант 18



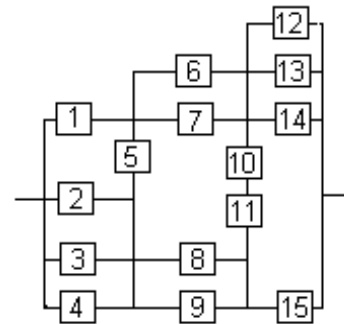
Варіант 19



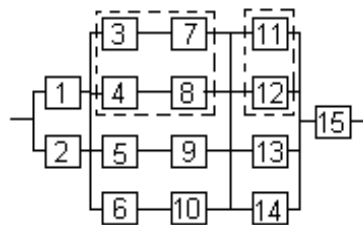
Варіант 20



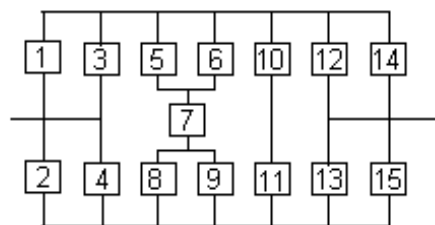
Варіант 21



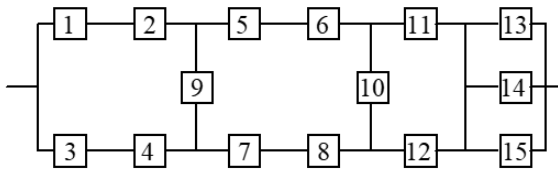
Варіант 22



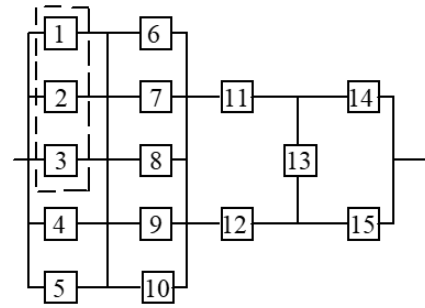
Варіант 23



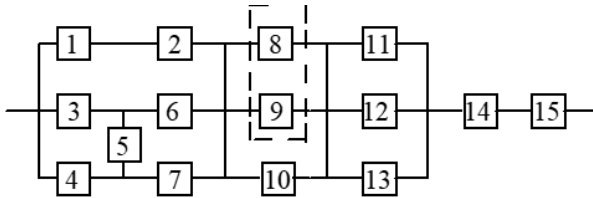
Варіант 24



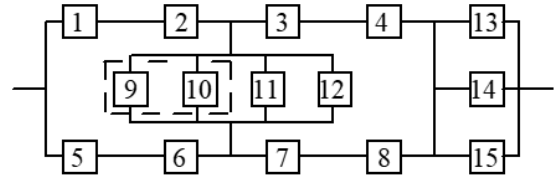
Варіант 25



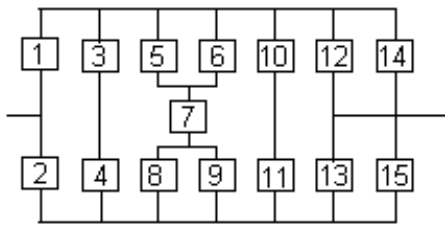
Варіант 26



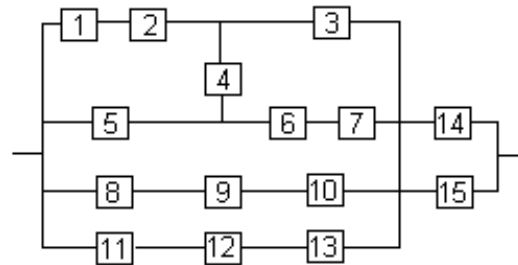
Варіант 27



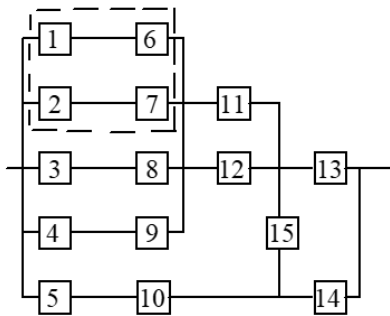
Варіант 28



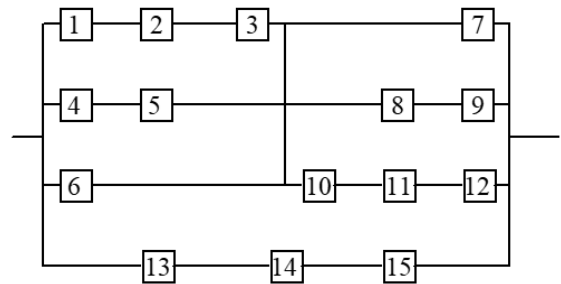
Варіант 29



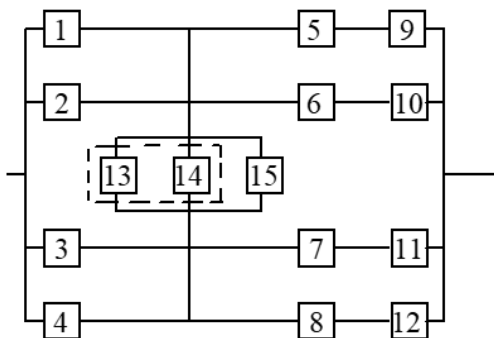
Варіант 30



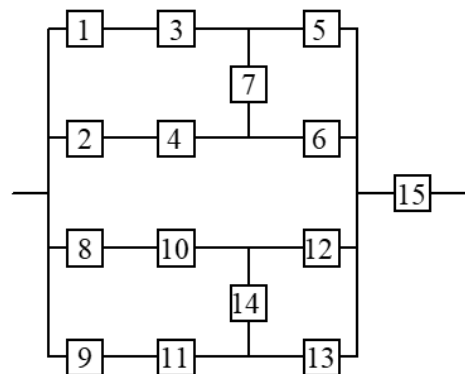
Варіант 31



Варіант 32



Варіант 33



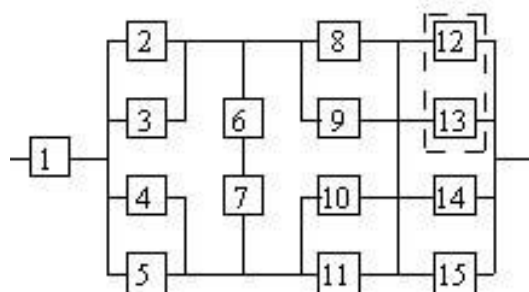
Варіант 34

Таблиця 1 – Чисельні значення параметрів до завдання

№ вар.	γ, %	Інтенсивності відмов елементів, $\lambda_i, \times 10^{-6}$ 1/год														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	90	0.1	1.0				0.5	1.0				0.1				
2	95	0.2	0.5						1.0						0.1	
3	80	0.1	1.0			2.0			1.0			5.0			0.2	
4	70	0.05	1.0				0.5				0.2				0.02	
5	50	0.01	0.05		0.1			0.5			1.0					
6	75	0.01	0.05		1.0						0.05		0.1	-		
7	65	0.05	0.5			0.05			0.005		0.1	0.2		0.1	-	
8	85	0.1	0.5			0.2			0.01			0.5		0.1	-	
9	60	0.03	0.5			0.2			1.0			0.03		0.1	-	
10	50	0.1	0.5			1.0			0.5			1.0		0.1	-	
11	75	0.05	0.2		0.5						0.2		0.1			
12	65	0.02	0.1		1.0				2.0				0.1		0.05	
13	70	0.01	0.2			0.1			1.0			0.5		0.1	-	
14	50	0.01	0.1		10.0			0.2		10.0			0.5		0.1	
15	85	0.01	1.0		5.0				0.2		5.0			0.1	-	
16	80	0.1	1.0	2.0	1.0	5.0			3.0			1.0		0.05		
17	95	0.1	5.0		1.0	5.0		10.0		5.0			1.0		0.2	
18	60	0.01	1.0											0.1	-	
19	75	0.1	5.0		0.5	5.0		1.0	3.0	1.0	5.0		0.5	5.0		
20	90	0.1	10.0				20.0						10.0			
21	90	0.1	1.0				0.5			2.0		0.5	0.2		1.0	
22	80	1.0				0.2	0.5		1.0	0.5	1.0		1.0		0.1	
23	70	0.5	0.2	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0	0.2		0.5	1.0		0.2		
24	60	1.0	2.0		4.0	2.0			4.0		5.0				1.0	
25	50	0.5	10.0				0.5	5.0				0.8	5.0	1.0	5.0	
26	60	1.0		2.0	3.0	5.0				2.0		5.0			1.0	
27	70	5.0			10.0			15.0			10.0			10.0	15.0	10.0
28	80	1.0		2.0				5.0					2.0	1.0		
29	90	5.0		20.0				50.0				30.0				1.0
30	80	2.0	1.0	2.0	1.0	5.0	2.0	5.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0		
31	70	2.0	1.0	2.0	1.0	5.0	2.0	5.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0		
32	60	5.0		2.0			5.0		1.0		2.0		3.0		1.0	
33	60	1.0	2.0	3.0		4.0	2.0		3.0			5.5		0.2	0.5	
34	90	6.0	3.0		6.0		3.0		6.0	20.0			10.0			
35	95	1.0	2.0		1.0		2.0		1.0	5.0						
36	80	2.0				1.0					0.6					
37	70	10.0				30.0						5.0		2.0		
38	90	3.0			2.0		1.0	2.0		3.0	2.0					
39	90	8.0				3.0				5.0				2.0		
40	80	2.0			5.0		8.0	2.0			5.0		8.0			
№ вар.	γ, %	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Інтенсивності відмов елементів, $\lambda_i, \times 10^{-6}$ 1/год														

## ПРИКЛАД РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ

Структурна схема надійності наведена на рисунку 1. Значення інтенсивності відмов елементів дані в  $10^{-6}$  1 / год.



$\lambda_1 = 0.001;$   
 $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = \lambda_5 = 0.1;$   
 $\lambda_6 = \lambda_7 = 0.01;$   
 $\lambda_8 = \lambda_9 = \lambda_{10} = \lambda_{11} = 0.2;$   
 $\lambda_{12} = \lambda_{13} = \lambda_{14} = \lambda_{15} = 0.5;$   
 $\gamma = 50\%.$

Рисунок 1 – Вихідна схема системи

1. У вихідній схемі елементи 2 і 3 утворюють паралельне з'єднання. Заміняємо їх квазіелементом А. Враховуючи, що  $p_2 = p_3$ , отримаємо

$$p_A = 1 - q_2 q_3 = 1 - q_2^2 = 1 - (1 - p_2)^2. \quad (1)$$

2. Елементи 4 і 5 також утворюють паралельне з'єднання, замінивши яке елементом В і, враховуючи, що  $p_4 = p_5 = p_2$ , отримаємо

$$p_B = 1 - q_4 q_5 = 1 - q_2^2 = p_A. \quad (2)$$

3. Елементи 6 і 7 у вихідній схемі з'єднані послідовно. Замінюємо їх елементом С, для якого при  $p_6 = p_7$

$$p_C = p_6 p_7 = p_6^2. \quad (3)$$

4. Елементи 8 і 9 утворюють паралельне з'єднання. Замінюємо їх елементом D, для якого при  $p_8 = p_9$ , отримаємо

$$p_D = 1 - q_8 q_9 = 1 - q_8^2 = 1 - (1 - p_8)^2. \quad (4)$$

5. Елементи 10 і 11 з паралельним з'єднанням замінюємо елементом Е, причому, так як  $p_{10} = p_{11} = p_8$ , то

$$p_E = 1 - q_{10} q_{11} = 1 - q_8^2 = 1 - (1 - p_8)^2 = p_D \quad (5)$$

6. Елементи 12, 13, 14 і 15 утворюють з'єднання «2 з 4», яке замінюємо елементом F. Так як  $p_{12} = p_{13} = p_{14} = p_{15}$ , то для визначення ймовірності безвідмовної роботи елемента F можна скористатися комбінаторним методом:

$$\begin{aligned}
p_E &= \sum_{k=2}^4 p_k = \sum_{k=2}^4 C_4^k p_{12}^k (1-p_{12})^{4-k} = \\
&= \frac{4!}{2!2!} p_{12}^2 (1-p_{12})^2 + \frac{4!}{3!1!} p_{12}^3 (1-p_{12}) + \frac{4!}{4!0!} p_{12}^4 = \\
&= 6p_{12}^2 (1-p_{12})^2 + 4p_{12}^3 (1-p_{12}) + p_{12}^4 = 6p_{12}^2 - 8p_{12}^3 + 3p_{12}^4.
\end{aligned} \tag{6}$$

7. Перетворена схема зображена на рисунку 2.

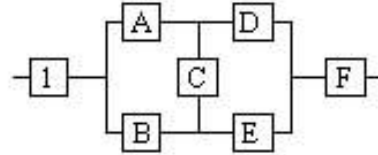


Рисунок 2 – Перетворена схема

8. Елементи А, В, С, D і Е утворюють (рис. 2) місткову систему, яку можна замінити квазіелементом G. Для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи скористаємося методом розкладання щодо особливого елемента, в якості якого виберемо елемент С. Тоді

$$p_G = p_C p_G(p_C = 1) + q_C p_C(p_C = 0), \tag{7}$$

де  $p_G(p_C = 1)$  – ймовірність безвідмовної роботи місткової схеми при абсолютно надійному елементі С (рис. 3, а),

$p_G(p_C = 0)$  – ймовірність безвідмовної роботи місткової схеми при відмовившому елементі С (рис. 3, б).



Рисунок 3 – Перетворення місткової схеми при абсолютно надійному (а) і відмовившому (б) елементі С

Враховуючи, що  $p_B = p_A$ , отримаємо

$$\begin{aligned}
p_G &= p_C [1 - (1-p_A)(1-p_B)] \cdot [1 - (1-p_D)(1-p_E)] + \\
&+ (1-p_C) [1 - (1-p_A p_B)(1-p_D p_E)] = \\
&= p_C [1 - (1-p_A)^2] \cdot [1 - (1-p_D)^2] + (1-p_C) [1 - (1-p_A^2)(1-p_D^2)] = \\
&= p_C (2p_A - p_A^2)(2p_D - p_D^2) + (1-p_C)(p_A^2 + p_D^2 - p_A^2 p_D^2) = \\
&= p_A p_C p_D (2-p_A)(2-p_D) + (1-p_C)(p_A^2 + p_D^2 - p_A^2 p_D^2).
\end{aligned} \tag{8}$$

9. Після перетворень схема зображена на рисунку 4.

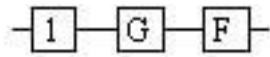


Рисунок 4 – Перетворена схема

10. У перетвореній схемі (рис. 4) елементи 1, G і F утворюють послідовне з'єднання. Тоді ймовірність безвідмовної роботи всієї системи

$$P = p_1 p_G p_F. \quad (9)$$

11. Так як за умовою всі елементи системи працюють у періоді нормальної експлуатації, то ймовірність безвідмовної роботи елементів з 1 по 15 (рис. 1) підпорядковуються експоненціальному закону:

$$p_i = \exp(-\lambda_i t). \quad (10)$$

12. Результати розрахунків ймовірностей безвідмовної роботи елементів 1-15 вихідної схеми за формулою (10) для напрацювання до  $3 \cdot 10^6$  годин представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи системи

Елемент Т	$\lambda_i, \times 10^{-6}$ год <sup>-1</sup>	Напрацювання t, x 10 <sup>6</sup> год							
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	1,9	2,85
1	0,001	0,9995	0,9990	0,9985	0,9980	0,9975	0,9970	0,9981	0,9972
2 - 5	0,1	0,9512	0,9048	0,8607	0,8187	0,7788	0,7408	0,8270	0,7520
6,7	0,01	0,9950	0,9900	0,9851	0,9802	0,9753	0,9704	0,9812	0,9719
8 - 11	0,2	0,9048	0,8187	0,7408	0,6703	0,6065	0,5488	0,6839	0,5655
12 - 15	0,5	0,7788	0,6065	0,4724	0,3679	0,2865	0,2231	0,3867	0,2405
A, B	-	0,9976	0,9909	0,9806	0,9671	0,9511	0,9328	0,9701	0,9385
C	-	0,9900	0,9801	0,9704	0,9608	0,9512	0,9417	0,9628	0,9446
D, E	-	0,9909	0,9671	0,9328	0,8913	0,8452	0,7964	0,9001	0,8112
F	-	0,9639	0,8282	0,6450	0,4687	0,3245	0,2172	0,5017	0,2458
G	-	0,9924	0,9888	0,9863	0,9820	0,9732	0,9583	0,9832	0,9594
P	-	0,9561	0,8181	0,6352	0,4593	0,3150	0,2075	0,4923	0,2352
12' - 15'	0,322	0,8513	0,7143	0,6169	0,5252	0,4471	0,3806	0,5424	0,3994
F'	-	0,9883	0,9270	0,8397	0,7243	0,6043	0,4910	0,7483	0,5238
P'	-	0,9803	0,9157	0,8270	0,7098	0,5866	0,4691	0,7343	0,5011
16 - 18	0,5	0,7788	0,6065	0,4724	0,3679	0,2865	0,2231	0,3867	0,2405
F''	-	0,9993	0,9828	0,9173	0,7954	0,6413	0,4858	0,8233	0,5311
P''	-	0,9912	0,9708	0,9034	0,7795	0,6226	0,4641	0,8079	0,5081

13. Результати розрахунків ймовірностей безвідмовної роботи квазіелементів А, В, С, D, E, F і G за формулами (1-6) і (8) також представлені в таблиці 2.

14. На рисунку 5 представлений графік залежності ймовірності безвідмовної роботи системи P від часу (напрацювання) t.

15. За графіком (рис. 5, крива Р) знаходимо для  $\gamma = 50\%$  ( $P_\gamma = 0.5$ )  $\gamma$ -процентне напрацювання системи  $T_\gamma = 1.9 \cdot 10^6$  год.

16. Перевірочний розрахунок при  $t = 1.9 \cdot 10^6$  год показує (таблиця 2), що  $P_\gamma = 0.4923 \approx 0.5$ .

17. За умовами завдання підвищене  $\gamma$ -процентне напрацювання системи  $T'_\gamma = 1.5 \cdot T_\gamma = 1.5 \cdot 1.9 \cdot 10^6 = 2.85 \cdot 10^6$  год.

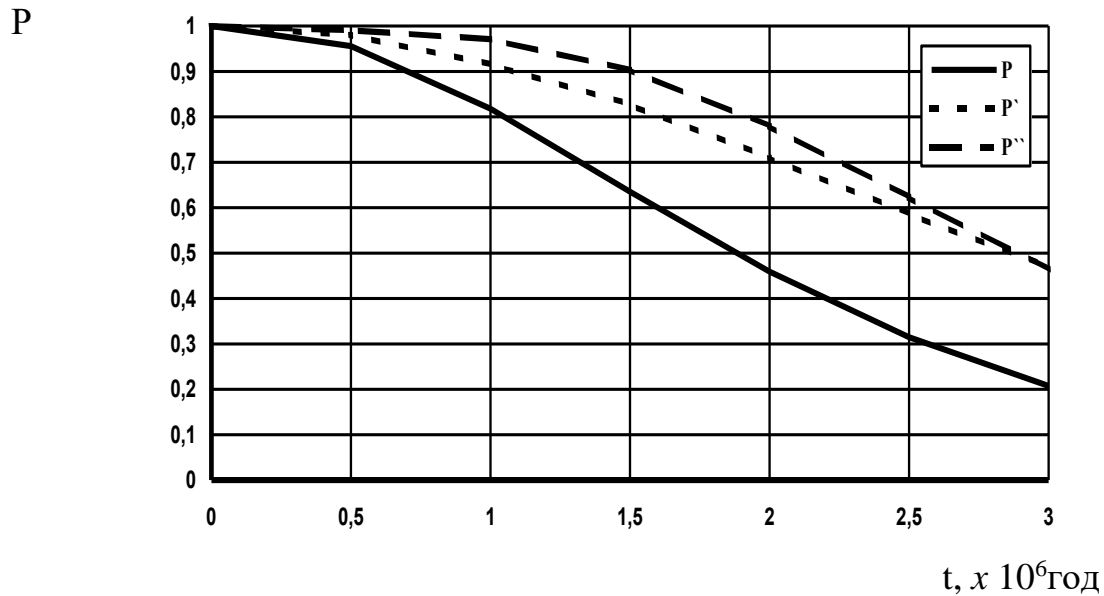


Рисунок 5 – Зміна ймовірності безвідмовної роботи вихідної системи (Р), системи з підвищеною надійністю (Р') і системи зі структурним резервуванням елементів (Р'').

18. Розрахунок показує (таблиця 2), що при  $t = 2.85 \cdot 10^6$  год для елементів перетвореної схеми (рис. 4)  $p_1 = 0.9972$ ,  $p_G = 0.9594$  і  $p_F = 0.2458$ . Отже, з трьох послідовно з'єднаних елементів мінімальне значення ймовірності безвідмовної роботи має елемент F (система «2 з 4» у вихідній схемі (рис. 1)) і саме збільшення його надійності дасть максимальне збільшення надійності системи в цілому.

19. Для того, щоб при  $T'_\gamma = 2.85 \cdot 10^6$  год система в цілому мала ймовірність безвідмовної роботи  $P_\gamma = 0.5$ , необхідно, щоб елемент F мав ймовірність безвідмовної роботи (див. формулу (9))

$$p_F = \frac{p_\gamma}{p_1 p_G} = \frac{0.5}{0.9972 \cdot 0.9594} = 0.5226. \quad (11)$$

При цьому значенні елемент F залишиться самим ненадійним в схемі (рис. 4) і висновки п.18 залишаться вірними.

Очевидно, значення  $p_F$ , отримане за формулою (11), є мінімальним для виконання умови збільшення напрацювання не менше, ніж у 1,5 рази, при вищих значеннях  $p_F$  збільшення надійності системи буде більшим.

20. Для визначення мінімально необхідної ймовірності безвідмовної роботи елементів 12 - 15 (рис. 1) необхідно розв'язати рівняння (6) щодо  $p_{12}$  при  $p_F = 0.5226$ . Але, так як аналітичне рішення цього рівняння пов'язане з певними труднощами, більш доцільно використовувати графо-аналітичний метод. Для цього за даними таблиці 2 будемо графік залежності  $p_F = f(p_{12})$ . Графік представлений на рисунку 6.

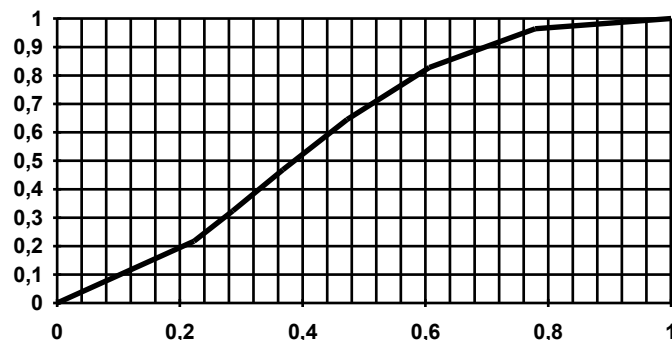


Рисунок 6 – Залежність ймовірності безвідмовної роботи системи «2 з 4» від ймовірності безвідмовної роботи її елементів.

21. За графіком при  $p_F = 0.5226$  знаходимо  $p_{12} \approx 0.4$ .

22. Так як за умовами завдання всі елементи працюють в періоді нормальної експлуатації і підкоряються експоненціальному закону (10), то для елементів 12-15 при  $t = 2.85 \cdot 10^6$  знаходимо

$$\lambda'_{12} = \lambda'_{13} = \lambda'_{14} = \lambda'_{15} = -\frac{\ln p_{12}}{t} = -\frac{\ln 0.4}{2.85 \cdot 10^6} = 0.322 \cdot 10^6 \text{ год}^{-1}. \quad (12)$$

23. Таким чином, для збільшення  $\gamma$ -процентного напрацювання ситеми необхідно збільшити надійність елементів 12, 13, 14 та 15 і знизити інтенсивність їх відмов з 0.5 до  $0.322 \cdot 10^{-6}$  год, тобто в 1,55 рази.

24. Результати розрахунків для системи зі збільшеною надійністю елементів 12, 13, 14 і 15 наведені в таблиці 2. Там же наведені розрахункові значення ймовірності безвідмовної роботи системи «2 з 4»,  $F$  і системи в цілому  $P'$ . При  $t = 2.85 \cdot 10^6$  год ймовірності безвідмовної роботи системи  $P' = 0.5011 \approx 0.5$ , що відповідає умовам завдання. Графік наведено на рисунку 5.

25. Для другого способу збільшення ймовірності безвідмовної роботи системи – структурного резервування – з тих же міркувань (див. п. 18) також вибираємо елемент  $F$ , ймовірність безвідмовної роботи якого після резервування повинна бути не нижче  $p''_F = 0.5226$  (див. формулу (11)).

26. Для елемента F – системи «2 з 4» – резервування означає збільшення загальної кількості елементів. Аналітично визначити мінімально необхідну кількість елементів неможливо, тому, що кількість елементів повинна бути цілим значенням і функція  $p_F = f(n)$  дискретна.

27. Для підвищення надійності системи «2 з 4» додаємо до неї елементи, ідентичні по надійності вихідним елементам 12-15 до тих пір, поки ймовірність безвідмовної роботи квазіелемента F не досягне заданого значення.

Для розрахунку скористаємось комбінаторним методом:

– додаємо елемент 16, отримуємо систему «2 з 5»:

$$q_F = \sum_{k=0}^1 C_5^k p_{12}^k (1-p_{12})^{5-k} = C_5^0 (1-p_{12})^5 + C_5^1 p_{12} (1-p_{12})^4 =$$

$$= (1-p_{12})^5 + 5p_{12}(1-p_{12})^4 = 0.6528, \quad (13)$$

$$p_F = 1 - q_F = 1 - 0.6528 = 0.3472 < 0.5226; \quad (14)$$

– додаємо елемент 17, отримуємо систему «2 з 6»:

$$q_F = \sum_{k=0}^1 C_6^k p_{12}^k (1-p_{12})^{6-k} = C_6^0 (1-p_{12})^6 + C_6^1 p_{12} (1-p_{12})^5 =$$

$$= (1-p_{12})^6 + 6p_{12}(1-p_{12})^5 = 0.5566, \quad (15)$$

$$p_F = 1 - q_F = 1 - 0.5566 = 0.4434 < 0.5226; \quad (16)$$

– додаємо елемент 18, отримуємо систему «2 з 7»:

$$q_F = \sum_{k=0}^1 C_7^k p_{12}^k (1-p_{12})^{7-k} = C_7^0 (1-p_{12})^7 + C_7^1 p_{12} (1-p_{12})^6 =$$

$$= (1-p_{12})^7 + 7p_{12}(1-p_{12})^6 = 0.4689, \quad (17)$$

$$p_F = 1 - q_F = 1 - 0.4689 = 0.5311 > 0.5226; \quad (18)$$

28. Таким чином, для підвищення надійності до необхідного рівня необхідно у вихідній схемі (рис. 1) систему «2 з 4» добудувати елементами 16, 17 і 18 до системи «2 з 7» (рис. 7).

29. Результати розрахунків ймовірностей безвідмовної роботи системи «2 з 7»,  $F''$  і системи в цілому  $P''$  представлені в таблиці 21.

30. Розрахунки показують, що при  $t = 2.85 \cdot 10^6$  год  $P'' = 0.5081 > 0.5$ , що відповідає умовам завдання.

31. На рисунку 5 нанесені криві залежностей ймовірності безвідмовної роботи системи після підвищення надійності елементів 12-15 (крива  $P'$ ) і після структурного резервування (крива  $P''$ ).

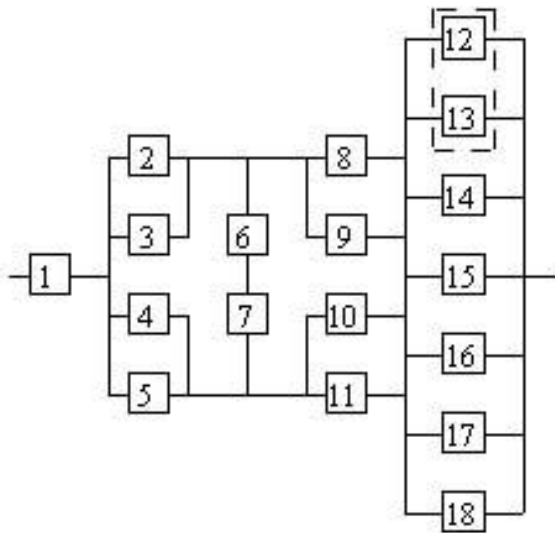


Рисунок 7 – Структурна схема системи після структурного резервування.

### Висновки.

1. На рисунку 5 представлена залежність ймовірності безвідмовної роботи системи (крива  $P$ ). З графіка видно, що 50% напрацювання вихідної системи становить  $1.9 \cdot 10^6$  годин.

2. Для підвищення надійності та збільшення 50% напрацювання системи в 1,5 рази (до  $2.85 \cdot 10^6$  годин) запропоновані два способи:

а) підвищення надійності елементів 12, 13, 14 та 15 і зменшення їх відмов з 0.5 до  $0.322 \cdot 10^{-6}$  год;

б) навантажене резервування основних елементів 12, 13, 14 і 15 ідентичними по надійності резервними елементами 16, 17 і 18 (рис. 7).

3. Аналіз залежностей ймовірності безвідмовної роботи системи від часу (напрацювання) (рис. 5) показує, що другому способу підвищення надійності системи (структурному резервуванню) слід надати перевагу, тому що в період напрацювання до  $2.85 \cdot 10^6$  годин ймовірність безвідмовної роботи системи при структурному резервуванні (крива  $P''$ ) вища, ніж при збільшенні надійності елементів (крива  $P'$ ).

## ПОДАННЯ НА ПЕРЕВІРКУ КУРСОВОЇ РОБОТИ (КПЗ) ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

Виконану курсову роботу здобувач освіти подає на перевірку. Протягом тижня після отримання роботи викладач надає здобувачу освіти свої зауваження, коментарі, рекомендації, на підставі яких він виправляє роботу. Викладач оцінює тільки завершену роботу.

Курсова робота оцінюється за 100-бальною шкалою. Захист роботи виконується у вигляді співбесіди.

Виконання курсової роботи є одним із обов'язкових складових модулів залікового кредиту.

Підсумкова оцінка за виконання курсової роботи остаточно враховується в поточній успішності здобувача освіти і виставляється на підставі наступних критеріїв (табл. 2).

Таблиця 2 – Критерії оцінювання змісту та оформлення курсової роботи

Кількість балів	Критерії оцінювання
90-100	Робота свідчить про узагальнення і творче осмислення теоретичних основ та практичного вирішення проблеми, формулювання висновків. Методи дослідження відібрані і застосовані науково коректно. Сформульовані в роботі пропозиції обґрунтовані і достатні. Завдання дослідження виконані і мета дослідження досягнута. Оформлення роботи цілком відповідає вимогам.
80-90	Робота свідчить про узагальнення і творче осмислення теоретичних основ та практичного вирішення проблеми. Допущені незначні помилки у формулюванні висновків. Методи дослідження відібрані і застосовані науково коректно. Сформульовані в роботі пропозиції недостатньо повні. В цілому завдання дослідження виконані і мета дослідження досягнута. Текст роботи викладений логічно, послідовно, науково-професійною державною мовою з коректним використанням професійної термінології. В оформленні роботи допущені незначні помилки.
60-70	Робота свідчить про помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури недостатньо повний для вирішення поставлених завдань, при узагальненні, систематизації теоретичних основ вирішення проблеми та формулюванні висновків допущені суттєві помилки. Методи дослідження недостатньо обґрунтовані або при їх використанні допущені помилки. Сформульовані в роботі пропозиції не є достатньо обґрунтованими і повними. В основному завдання дослідження виконані і мета дослідження досягнута. Текст роботи викладений достатньо логічно і послідовно, але є помилки у використанні професійної термінології. В оформленні роботи є

	суттєві невідповідності вимогам.
40-50	Робота свідчить про суттєві помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури недостатньо повний для вирішення поставлених завдань, узагальнення та систематизація теоретичних основ вирішення проблеми носять вибіркового характеру, висновки недостатньо обґрунтовані. Методи дослідження недостатньо обґрунтовані або при їх використанні допущені суттєві помилки. Сформульовані в роботі пропозиції не є достатньо обґрунтованими і повними. Завдання дослідження в основному виконані і мета дослідження досягнута. Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні помилки, використання професійної термінології не завжди коректне. В оформленні роботи є суттєві невідповідності вимогам.
20-30	Робота свідчить про суттєві помилки в оволодінні навичками самостійного (під керівництвом викладача) проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури для вирішення поставлених завдань фрагментарний, узагальнення та систематизація теоретичних основ вирішення проблеми носять вибіркового характеру, висновки недостатньо обґрунтовані. Методи дослідження не повністю відповідають його завданням і були застосовані з суттєвими помилками, які призвели до викривлення деяких результатів дослідження. Сформульовані в роботі пропозиції не є достатньо обґрунтованими і повними. Не всі завдання дослідження виконані, але мета дослідження в цілому досягнута. Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні помилки, професійна термінологія не використовується або використовується некоректно. В оформленні роботи є суттєві невідповідності вимогам.
0-10	Робота не представлена у встановлений термін (0 балів). Робота в цілому свідчить про відсутність навичок самостійного проведення дослідницької роботи: відбір і аналіз літератури для вирішення поставлених завдань фрагментарний, узагальнення та систематизація теоретичних основ вирішення проблеми не відповідають меті і завданням дослідження, висновки не обґрунтовані або не сформульовані. Методи дослідження не відповідають його завданням і були застосовані з суттєвими помилками, які призвели до викривлення результатів дослідження. Сформульовані в роботі пропозиції не впливають з результатів дослідження. Завдання дослідження не виконані, мета дослідження в цілому не досягнута. Оцінені можуть бути лише окремі елементи виконаного дослідження. Текст роботи викладений недостатньо логічно і послідовно, містить стилістичні і граматичні помилки, професійна термінологія не використовується або використовується некоректно. Оформлення роботи не відповідає вимогам.

## АКАДЕМІЧНА ДОБРОЧЕСНІСТЬ

Написання та оцінювання курсової роботи відбувається в суворому дотриманні принципів академічної доброчесності.

Відповідно до Положення про протидію та запобігання академічному плагіату [8], різновидами порушень академічної доброчесності є:

- видання виконаної роботи іншого автора за свою без внесення в неї жодних змін та належного оформлення цитування;

- копіювання значної частини чужої роботи в свою без внесення в запозичене жодних змін та належного оформлення цитування;

- представлення суміші власних та запозичених аргументів без належного цитування;

- внесення незначних правок у скопійований матеріал (переформулювання речень, зміна порядку слів в них тощо) та без належного оформлення цитування;

- компіляція – створення значного масиву тексту шляхом копіювання із різних джерел без внесення в нього правок, посилань на авторів та «маскуванням» шляхом написання перехідних речень між скопійованими частинами тексту.

З метою встановлення ступеню унікальності текстів здійснюється перевірка курсових робіт на виявлення збігів для запобігання проявам академічної недоброчесності.

Інструментальне дослідження та експертне оцінювання текстів робіт проводиться відповідно до «Порядку проведення інструментальної перевірки на академічний плагіат текстів рукописів кваліфікаційних робіт/проектів здобувачів вищої освіти та рукописів статей поданих до публікування у періодичних виданнях у Луцькому національному технічному університеті» [9] в системі «StrikePlagiarism».

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2017. 31 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2016. 16 с.
3. Випускна кваліфікаційна робота: методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка денної та заочної форм навчання / уклад. П.О. Гуменюк, Л.О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2024. 30 с.
4. Основи надійності та діагностики інформаційних систем: навч. посіб. / В. В. Вишнівський та ін. Київ: ННІТ ДУТ, 2020. 184 с.
5. Павлюк О. М., Медиковський М. О., Лиса Н. К., Ізонін І. В. Основи теорії надійності технічних систем: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. 208 с.
6. Яковина В. С., Сенів М. М. Основи теорії надійності програмних систем: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. 248 с.
7. Інженерія надійності програмного забезпечення. Матеріали лекцій: навч. посіб. / укл.: Ю. Г. Добровольський. Чернівці: ЧНУ ім. Ю.Федьковича, 2022. 126 с.
8. Положення про протидію та запобігання академічному плагіату у кваліфікаційних роботах/проєктах здобувачів вищої освіти у ЛНТУ. Положення № 553 зі змінами № 808, протокол вченої ради № 3 від 24.10.2023 р.
9. Порядок проведення інструментальної перевірки на академічний плагіат текстів рукописів кваліфікаційних робіт/проєктів здобувачів вищої освіти та рукописів статей поданих до публікування у періодичних виданнях у Луцькому національному технічному університеті. Порядок № 552, введено в дію наказом № 182-05-35 від 07.05.2020 р.

**Надійність та діагностування систем керування безпілотними апаратами: Методичні вказівки до виконання курсової роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Системи керування безпілотними апаратами» галузі знань 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка денної та заочної форм навчання / уклад. Л. О. Гуменюк. Луцьк: ЛНТУ, 2025. 24 с.**

Комп'ютерний набір

Л. О. Гуменюк

Редактор

Л. О. Гуменюк

Підп. до друку «\_\_» 2025 р. Папір офс.  
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 2. Обл.-вид. арк. 1.  
Тираж 30 прим.

Відділ іміджу та промоції  
Луцького національного технічного університету  
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75  
Друк – ВІП Луцького НТУ