

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 1

## **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»  
протокол від 21 травня  
2021 р. №3

### **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ** для проведення лабораторних робіт з навчальної дисципліни

### **«НАДІЙНІСТЬ, ДІАГНОСТИКА ТА АВТОМАТИЗОВАНИЙ КОНТРОЛЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ»**

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»  
спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»  
освітньо-професійна програма «Комп'ютеризовані інформаційно-  
вимірювальні системи»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і  
робототехніки

Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Розглянуто і рекомендовано  
на засіданні кафедри метрології  
та інформаційно-вимірювальної  
техніки  
протокол 05.03.2021 р.,  
№ 3

Розробник: к.т.н., доц. кафедри метрології  
та інформаційно-вимірювальної техніки ЧЕПЮК Ларіна

Житомир  
2021

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 2

## ВСТУП

Даний методичний посібник призначений для студентів всіх форм навчання, що вивчають дисципліну "Надійність, діагностика і автоматизований контроль інформаційно-вимірювальних систем».

Посібник містить програму, контрольні завдання та методичні вказівки по їх виконанню, а також список рекомендованої учбової та технічної літератури по надійності та діагностиці.

Контрольні завдання містять 3 задачі. Задачі складені по тим темам, які мають найбільше практичне застосування при інженерних розрахунках показників надійності технічних пристроїв та систем.

В таблицях додатків приведені дані по надійності елементів (комплектуючих виробів), які можуть бути використані в технічних пристроях (системах), що дозволяє визначити показники надійності пристроїв з урахуванням впливу умов експлуатації та електричного навантаження елементів при показниковому законі розподілу часу безвідмовної роботи.

## 1. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

### 1.1. Мета викладання дисципліни

Надійність - один з основних технічних показників якості технічних систем та виробів.

В сучасних умовах проблемі надійності технічних пристроїв приділяється дуже велика увага, оскільки темпи технічного прогресу безперервно зростають, електронні пристрої ускладнюються і вимоги до їх надійності при експлуатації постійно зростають. Все це обумовлює необхідність вивчення теорії надійності та її практичного застосування при проектуванні технічних пристроїв.

В курсі Надійність, діагностика і автоматизований контроль інформаційно-вимірювальних систем " розглядаються методи аналізу і оцінки надійності технічних пристроїв в процесі їх проектування, виготовлення та експлуатації, вплив на надійність пристроїв зовнішнього середовища та технології виготовлення.

Особлива увага приділяється методам розрахунку показників надійності та їх обґрунтуванню на стадії проектування пристроїв, а також методам створення високонадійних технічних систем різного призначення та іншим питанням теорії надійності.

Мета викладання дисципліни - вивчення кількісних показників надійності технічних систем (пристроїв) та методів їх розрахунку при проектуванні технічних систем з урахуванням впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на їх роботу, ознайомлення з методами та способами

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 3

оцінки надійності систем при випробовуваннях та експлуатації, засобами підвищення надійності, раціональної організації технічного обслуговування, контролю та діагностування.

### 1.2. Задачі вивчення дисципліни

В результаті вивчення дисципліни студент повинен знати:

- кількісні показники (характеристики) надійності технічних систем (пристроїв);
- фактори, що визначають надійність та шляхи її підвищення;
- методи аналітичного розрахунку показників надійності при проектуванні, виготовленні та експлуатації;
- вплив якості технічного обслуговування, контролю та діагностики на надійність технічних систем.

Одержані знання дозволять студенту вміти:

- вибирати та призначати норми показників надійності при проектуванні технічних систем;
- використовувати ймовірнісно-статистичні методи розрахунку показників надійності автоматизованих систем з врахуванням впливу зовнішніх та внутрішніх факторів;
- оцінювати показники надійності за даними про відмови технічних систем, що ремонтуються або не підлягають ремонту;
- оцінювати вплив надійності систем на їх ефективність при використанні.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 4

## 2.3. МІСТ ДИСЦИПЛІНИ

### Тема 1. Вступ. Основні поняття та терміни теорії надійності

Основні поняття та терміни, що використовуються в теорії надійності.

Види відмов виробів та їх класифікація по ознакам. Прогнозування відмов.

Класифікація виробів по показникам та методам оцінки надійності.

**Література:** [1.1, стор. 13-18]; [1.3, стор. 13 -16]; [1.4, стор. 13-18]; [1.5, стор. 13-18]

#### Контрольні запитання

1. Що являється предметом вивчення теорії надійності?
2. Дайте визначення поняття надійність.
3. Назвіть основні властивості, що характеризують надійність та дайте їх визначення.
4. Поясніть суть термінів: працездатність, непрацездатність, справний, несправний, відмова, дефект, напрацювання, ресурс, термін служби.
5. Назвіть види відмов виробів та причини їх появи.
6. Дайте класифікацію виробів по показникам та методам оцінки надійності в залежності від призначення виробів.

### Тема 2. Показники надійності виробів, що не ремонтуються

Показники надійності виробів, що не ремонтуються, та їх математичне визначення.

**Література:** [1.1, стор. 18 -20]; [1.3, стор. 16-21]; [1.4, стор. 13 -22]; [1.5, стор. 15-20]

#### Контрольні запитання

1. Дайте визначення виробів, що не ремонтуються.
2. Назвіть основні показники надійності виробів, що не ремонтуються, та дайте їх визначення.
3. Що таке функція надійності, функція ненадійності та їх графічне зображення?
4. Що таке ймовірнісна та статистична оцінки показників надійності виробів, що не ремонтуються?

### Тема 3. Теоретичні закони розподілу напрацювання до відмови виробів

Показниковий (експоненційний) та нормальний розподіли. Розподіл Релея та Вейбулла. Гамма - розподіл. Розподіл біномімаль-ний та Пуассона.

**Література:** [1.1, стор. 241 -251]; [1.4, стор. 13 -18]

#### Контрольні запитання

1. Назвіть основні закони розподілу, що характеризують безперервні випадкові величини та покажіть їх основні характеристики.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 5

2. Назвіть основні закони розподілу, що характеризують дискретні випадкові величини та покажіть їх основні характеристики.
3. Що таке математичне сподівання та дисперсія ?
4. Напишіть рівняння кількісних показників надійності для гамма - розподілу та їх графічне зображення.
5. Напишіть рівняння для біноміального розподілу та розподілу Пуассона та дайте їх характеристики.

#### **Тема 4.** Показники надійності виробів, що ремонтуються

Показники надійності виробів, що ремонтуються, але не можуть або можуть бути відновлені в процесі експлуатації.

**Література:** [1.4, стор. 33 -52]; [1.5, стор. 21 -34]

#### **Контрольні запитання**

1. Дайте визначення виробам, що ремонтуються, але не можуть або можуть бути відновлені в процесі експлуатації.
2. Назвіть основні показники надійності виробів, що ремонтуються, але не можуть бути відновлені в процесі експлуатації та дайте їх математичне визначення.
3. Що таке простий потік та його характеристики ?
4. Назвіть основні показники надійності виробів, що ремонтуються, які можуть бути відновлені в процесі експлуатації.
5. Дайте математичне визначення експлуатаційних коефіцієнтів виробів, що ремонтуються, які можуть бути відновлені в процесі експлуатації.

#### **Тема 5.** Формування показників надійності виробів, що проектуються

Вибір і обґрунтування показників надійності. Призначення норм надійності. Розподіл норм надійності по елементам. Складання програми забезпечення надійності.

**Література:** [1.1, стор. 157 -160]; [1.4, стор. 78-103]

#### **Контрольні запитання**

1. Назвіть основні принципи технічного обслуговування виробів і поясніть, як вони впливають на конструкцію виробів.
2. Яким умовам повинен задовільнити основний показник надійності при включенні його в технічне завдання на виріб, що проектується?
3. Поясніть, як визначається основний показник надійності та встановлюється його норма надійності ?
4. Поясніть, як здійснюється розподіл норм надійності по елементам?
5. Як забезпечується надійність виробів при їх проектуванні.

#### **Тема 6.** Загальні методи розрахунку надійності технічних систем при проектуванні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 6

Засоби і основні етапи прогнозування надійності систем (виробів), що проектуються. Шляхи визначення надійності систем. Метод інтегральних рівнянь. Метод диференціальних рівнянь.

**Література:** [1.4, стор. 106-121]

#### **Контрольні запитання**

1. Назвіть цілі визначення надійності виробів на стадії проектування.
2. Назвіть і охарактеризуйте шляхи визначення надійності виробів.
3. Поясніть визначення показників надійності виробів методом інтегральних рівнянь.
4. Поясніть визначення показників надійності виробів методом диференціальних рівнянь.
5. Поясніть, що таке математична модель надійності системи та наведіть приклад її зображення для конкретної системи ?
6. Що таке нормувальна умова ?

**Тема 7.** Розрахунок надійності технічних систем, що не ремонтуються

Розрахунок надійності систем по послідовним логічним схемам.

Розрахунок надійності систем по паралельним логічним схемам.

Розрахунок надійності систем з використанням схеми станів («граф переходів»).

Види розрахунків надійності.

Розрахунок надійності систем, що не резервуються.

Розрахунок надійності систем, що резервуються. Способи резервування. Особливості активного резервування. Особливості пасивного резервування.

**Література:** [1.1, стор. 135 -140, 143-153, 155-168]; [1.3, стор. 62 -23]; [1.4, стор. 130-147, 344 - 400]; [1.5, стор. 60-100]

#### **Контрольні запитання**

1. Назвіть основні способи з'єднання елементів на логічних схемах, що використовуються для розрахунку надійності систем.
2. Поясніть порядок складання логічних схем для розрахунку надійності систем.
3. Що таке схеми станів та використання їх при розрахунках надійності?
4. Назвіть види розрахунків надійності.
5. Як здійснюється оцінка надійності систем при наближеному методі розрахунку?
6. Як здійснюється оцінка надійності системи з урахуванням режиму їх роботи?
7. Як оцінюється надійність систем, що не ремонтуються та не резервуються?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 7

8. Як здійснюється загальне, роздільне (поелементне), змішане та мажоритарне резервування, а також резервування постійним включенням, з заміщенням, змінне, активне та пасивне резервування?

9. Зобразіть послідовну та паралельну моделі надійності.

10. Як оцінюється надійність систем при пасивному резервуванні з незмінним навантаженням та навантаженому активному резервуванні?

11. Як оцінюється надійність систем при активному ненавантаженому резервуванні?

12. Як оцінюється надійність систем при активному полегшеному резервуванні?

13. Як оцінюється надійність систем при змінному резервуванні ?

14. Поясніть принцип мажоритарного резервування.

15. Як здійснюється оптимальне резервування ?

### **Тема 8.** Розрахунок надійності технічних систем, що ремонтуються

Розрахунок надійності систем, що ремонтуються, але не можуть або можуть бути відновлені. Загальна характеристика методів розрахунку надійності систем, що ремонтуються. Обчислення функцій готовності та простою систем. Особливості розрахунку систем, що резервуються.

**Література:** 1.1, стор. 155 -168, 177-180]; [1.4, стор. 400 -419]; [1.5, стор. 121-161]

#### **Контрольні запитання**

1. Як здійснюється оцінка надійності систем, що ремонтуються?

2. В чому полягає особливість розрахунку надійності резервованих систем, що ремонтуються?

3. Дайте приклад оцінки надійності системи, що ремонтується, але не може або може бути відновлена в процесі експлуатації із застосуванням схеми станів.

4. Як визначають коефіцієнти готовності та простою системи, що ремонтується, яка може бути відновлена в процесі експлуатації?

### **Тема 9.** Оцінка показників надійності по даним про відмови

Обчислення та побудова графіків експериментальних розподілів напрацювання до відмови виробів, що не ремонтуються.

Статистична оцінка показників надійності виробів, що не ремонтуються при визначених випробуваннях. Точкові та інтервальні оцінки параметрів розподілів.

Розрахунок та побудова експериментальних графіків напрацювання на відмову систем, що ремонтуються.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 8

Статистична оцінка показників надійності систем, що ремонтуються при визначених випробуваннях. Перевірка статистичних гіпотез та узгодження теоретичного розподілу з дослідними даними.

**Література:** [1.1, стор. 184 -230]; [1.4, стор. 192 -216]; [1.5, стор. 161 - 248]

### **Контрольні запитання**

1. Що таке статистична оцінка показників надійності?
2. Як проводиться обчислення та побудова графіків по даним про відмови виробів (технічних систем) при випробуваннях?
3. Поясніть, що таке точкові та інтервальні оцінки та для чого вони використовуються при випробуваннях виробів?
4. Наведіть приклад статистичної оцінки показників надійності для виробів, що ремонтуються та не ремонтуються.

### **Тема 10.** Оцінка експлуатаційних характеристик технічних систем

Задачі експлуатування та його складові фази та характеристики. Призначення норм експлуатаційних показників.

Технічне обслуговування систем та його організація. Періодичність та об'єм профілактичних робіт на об'єктах, що працюють безперервно. Задачі прогнозування відмов.

**Література:** [1.4, стор. 419-438]

### **Контрольні запитання**

1. Які задачі вирішують при експлуатації технічних систем?
2. Що таке довговічність та як призначаються норми його показників?
3. Що таке технологічність обслуговування та як призначаються його норми?
4. Як здійснюється технічне обслуговування систем та його організація?

### **Тема 11.** Забезпечення технічних систем запасними елементами

Розрахунок норм запасних елементів з умови достатності. Розрахунок норм запасних елементів для систем, що працюють в безперервному режимі.

**Література:** [1.1, стор. 181 -182]; [1.4, стор. 419 -450]; [1.5, стор. 118-120]

### **Контрольні запитання**

1. Із якої умови обчислюють норми запасних елементів .
2. Як проводиться обчислення норм запасних елементів для систем, що працюють в безперервному режимі.
3. Наведіть приклад розрахунку оптимального числа запасних елементів для системи із  $n$  послідовно з'єднаних елементів (блоків).



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 9

## Тема 12. Ремонтопридатність

Ремонтопридатність електронної апаратури та фактори, що впливають на неї.

Методи поточних ремонтів.

Способи пошуку пошкоджених елементів.

**Література:** [2.1, стор. 21 -23, 329-342]

### Контрольні запитання

1. Що таке ремонтопридатність та її основні показники?
2. Що таке поточний ремонт?
3. Які є способи пошуку пошкоджених елементів?

## Тема 13. Автоматизація контролю

Загальні характеристики електронної апаратури як об'єкта контролю.

Основні характеристики автоматизованої системи контролю (АСК).

Автоматизований пошук та локалізація пошкоджень. Ефективність АСК.

**Література:** [1.7, стор. 5 -84, 155-180, 205-213]

### Контрольні запитання

1. Що таке автоматизована система контролю та її основні характеристики?
2. Як здійснюється автоматизований пошук пошкоджень?
3. Від чого залежить ефективність АСК?

## Тема 14. Система технічної діагностики

Основні задачі технічної діагностики. Система тестового та функціонального діагностування. Визначення показників готовності об'єкта для діагностики з урахуванням його структури.

**Література:** [1.9];

### Контрольні запитання

1. Що таке технічна діагностика та її задачі?
2. Дайте визначення технічного стану системи (виробу).
3. Які види контролю застосовують для діагностики систем?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 10

### 3. ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

Контрольні роботи, які виконуються студентами, повинні задовільняти таким вимогам:

1) контрольні роботи виконуються в окремому зошиті, на передній обкладинці якого вказується: назва інституту, кафедри, дисципліни, номер групи, прізвища ініціали студента;

2) сторінки, формули та рисунки повинні бути пронумеровані. На сторінках повинно бути поле шириною не менш ніж 3 см для поміток викладача;

3) текст, формули та числові викладки повинні бути написані чітко, без помилок.

4) при числових розрахунках слід додержуватись такого порядку: невідому величину виражають формулою, в яку потім підставляють відомі числові значення відповідних величин, а потім записують результат розрахунку, тобто числове значення вирахованої величини та одиниці виміру. Розрахунки рекомендується виконувати до трьох, або чотирьох значущих цифр;

5) графіки малюють акуратно і бажано на міліметровому папері;

6) в кінці контрольної роботи вказують: список літератури, яка використовувалась при виконанні роботи, дату виконання та підпис;

7) у випадку, коли робота виконана з помилками або нерозбірливо, вона підлягає поверненню студенту для повторного оформлення;

8) при доопрацюванні контрольної роботи по усуненню допущених помилок, які виявив викладач, зміни і доповнення в контрольній роботі слід виконувати так, щоб можна було співставити колишнє та нове рішення.

Відповідь на всі зауваження викладача є обов'язковою.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 11

#### 4. ЗАВДАННЯ ДО КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

##### 4.1. Контрольна робота №1

Завдання 1.1. Проектуемий технічний пристрій складається з  $n$  блоків, які послідовно з'єднані між собою за логічною схемою. Для безвідмовної роботи технічного пристрою необхідна безвідмовна робота усіх його блоків. Задана потрібна ймовірність безвідмовної роботи пристрою  $P(t)$  на протязі часу  $t$ .

Таблиця 1

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P(t)$	0,99	0,98	0,97	0,97	0,96	0,90	0,98	0,98	0,99	0,95
$t$ , год	50	100	200	300	500	100 0	100	200	400	150
$n$ , шт	3	3	4	5	4	3	3	3	4	5
$\lambda_{oi} \cdot 10^{-5}$ год <sup>-1</sup>	12	12	9	8	2	3	10,2	12,5	5	3
	18	15	13	10	5	7	8,8	5,3	8	10
	4	18	18	12	7	10	11	7,2	15	17
			10	5	3				17	8
				3						12

Закінчення табл. 1

Параметр	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$P(t)$	0,9	0,95	0,97	0,96	0,99	0,94	0,96	0,98	0,98	0,99
$t$ , год	50	100	200	400	150	200	300	200	500	500
$n$ , шт	4	2	3	4	5	3	3	4	5	4
$\lambda_{oi} \cdot 10^{-5}$ год <sup>-1</sup>	6	13	9	14	4	21	9	6	4	17
	4	17	13	5	12	7	6	9	2,8	6
	9		11	3	6	14	12	12	5,2	9
	3			8	4			3	20	2
					9				7	

Визначити гранично допустимі значення інтенсивності відмов блоків  $\lambda_{oi}$ , пристрою, якщо при розгляді прототипу (аналога) даного пристрою встановлено, що блоки, аналогічні проектуемим, мають інтенсивність відмов  $\lambda_{oi}$ .

Вихідні параметри технічного пристрою, необхідні для розрахунку надійності, наведені в табл.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 12

## Методичні вказівки

Дія визначення гранично допустимих значень інтенсивності відмов блоків  $\lambda_i$  проектуємого технічного пристрою необхідно врахувати існуюче співвідношення інтенсивності відмов блоків прототипу.

При послідовному з'єднанні блоків доля відмов  $i$ -го блоку пристрою визначається по формулі:

$$K_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_{заг}} \quad (1)$$

де  $\lambda_i$  - інтенсивність відмов  $i$ -го блоку пристрою;  $\lambda_{заг}$  - загальна інтенсивність відмов всього пристрою;  $n$  - кількість блоків пристрою.

Коефіцієнт  $K_i$  для блока прототипу визначається із співвідношення інтенсивностей відмов прототипу:

$$K_i = \frac{\lambda_{0i}}{\sum_{i=1}^n \lambda_{0i}} \quad (2)$$

де  $\lambda_{0i}$  - інтенсивність відмов  $i$ -го блока прототипу;

$\sum_{i=1}^n \lambda_{0i}$  загальна інтенсивність відмов прототипу;  $n$  - кількість блоків прототипу.

Значення  $\lambda_{заг}$  пристрою визначається із співвідношення:

$$P_{np}(t) \approx 1 - \lambda_{заг} t \quad (3)$$

Норми надійності для блоків пристрою визначаються із співвідношення  $\lambda_i \leq K_i \lambda_{заг}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 13

Завдання 1.2. Розрахувати безвідмовність технічного пристрою по раптовим відмовам по заданій електричній схемі в додатку 1.

Значення елементів (комплектуючих виробів), напруги джерела живлення та параметри електричного режиму активних елементів наведені на електричних схемах.

Варіанти та дані до завдання наведені в табл.2.

Таблиця 2

Варіант	Схема пристрою	Кліматична категорія виконання	Умови експлуатації	Температура перегріву в середині пристрою, °С
1	Рис.6	У	Лабораторія	5
2	Рис.7	ХЛ	Стаціонар	5
3	Рис.8	ТВ	Поле	15
4	Рис.9	ТС	Автомобіль	10
5	Рис. 10	У	Лабораторія	5
6	Рис. 11	ХЛ	Стаціонар	10
7	Рис. 12	ТВ	Автомобіль	10
8	Рис.13	ТС	Поле	10
9	Рис. 14	Т	Автомобіль	10
10	Рис, 15	О	Лабораторія	10
11	Рис. 16	У	Стаціонар	10
12	Рис. 17	ХЛ	Лабораторія	5
13	Рис.8	ТВ	Автомобіль	10
14	Рис.9	ТС	Стаціонар	10
15	Рис. 10	У	Поле	10
16	Рис. 11	ХЛ	Лабораторія	5
17	Рис.12	ТС	Лабораторія	15
18	Рис.13	ТС	Стаціонар	10
19	Рис. 14	Т	Поле	10
20	Рис. 15	О	Поле	10

Типи елементів для кожного пристрою вибирати самостійно з врахуванням електричного режиму роботи та заданої кліматичної категорії виконання пристрою.

При розрахунку визначити такі показники безвідмовності пристрою:

- параметр потоку відмов  $\Lambda(t)$ ;
- напрацювання до відмови  $T_0$ ;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 14

- ймовірність безвідмовної роботи  $P(t)$  з врахуванням найгіршого температурного режиму роботи пристрою на протязі часу  $t = 100$  год.

Побудувати графік функції безвідмовної роботи  $P(t)$  за час напрацювання від 0 до  $2T_0$ .

### Методичні вказівки

При розрахунку безвідмовності технічного пристрою по раптовим відмовам визначають такі показники: ймовірність безвідмовної роботи за заданий час  $P(t)$ , інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  або параметр потоку відмов  $\Lambda(t)$  та напрацювання до відмови або на відмову  $T_0$ .

Розрахунок проводиться при таких допущеннях:

- 1) кожний елемент та пристрій в цілому знаходяться в одному з двох можливих станів: працездатному або непрацездатному;
- 2) відмови елементів є подіями випадковими і незалежними;
- 3) інтенсивність відмов елементів є величина постійна, тобто не залежить від часу;
- 4) середній час напрацювання до відмови елементів розподілений по показниковому закону.

Порядок проведення розрахунку такий:

- 1) складають на основі електричної схеми пристрою логічну схему надійності, на якій зображають всі елементи та зв'язки між ними;
- 2) визначають кількість груп однотипних елементів, що входять в пристрій, та кількість елементів в кожній групі;
- 3) визначають електричний режим роботи кожного елемента з врахуванням умов роботи пристрою;
- 4) визначають критерій відмови пристрою.

Розрахунок загального параметра потоку відмов пристрою проводиться за формулою:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (1)$$

де  $n$  - загальна кількість груп однотипних елементів, що входять до складу пристрою;  $N_i$ ,  $\lambda_i$  - число та інтенсивність відмов елементів  $i$ -ї групи відповідно.

Однотипні елементи з приблизно однаковими коефіцієнтами електричного навантаження допускається об'єднувати в одну групу.

Інтенсивність відмов елементів  $i$ -ї групи  $\lambda_i$ , в робочому режимі визначається за формулою:

$$\lambda_i = a_{1i} a_{2i} \lambda_{0i} \quad (2)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 15

де  $a_{1i}$  - коригуючий коефіцієнт, який враховує умови роботи (кліматичні та механічні дії) в залежності від призначення та умов експлуатації пристрою;  $a_{2i} = f(K_H, t^\circ)$  - коригуючий коефіцієнт, який враховує електричне навантаження елементів та температуру зовнішнього середовища;  $\lambda_{oi}$  - інтенсивність відмов елементів (комплектуючих виробів) в нормальних умовах (при температурі зовнішнього середовища  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ , відносній вологості 30-70% та атмосферному тиску 618,9...795,2 мм рт. ст., без механічних дій).

Коефіцієнт  $a_{1i}$ , визначається за формулою:

$$a_{1i} = \prod_{i=1}^n K_i \quad (3)$$

де  $K_i$  - коефіцієнти, призначення яких та номери таблиць їх значень, приведені в додатку 4;  $n$  - кількість коефіцієнтів.

Температура у середині пристрою визначається для найгірших умов за формулою:

$$t = t_{\text{оточ.мах}} + \theta$$

де  $t_{\text{оточ.мах}}$  - максимальна температура зовнішнього середовища;

$\theta$  - температура перегріву у середині пристрою по відношенню до зовнішнього середовища.

Значення температури зовнішнього середовища для кожного варіанта завдання слід визначати згідно з варіантом його кліматичного виконання та кліматичної категорії.

Значення інтенсивностей відмов елементів  $\lambda_{oi}$ , формули розрахунку коефіцієнта електричного навантаження  $K_H$ , а також значення коригуючих коефіцієнтів  $a_1$  та  $a_2 = f(K_H, t^\circ)$  наведені в додатках 3, 4.

При розрахунку інтенсивності відмов інтегральних мікро-схем (ІМС) коефіцієнт електричного навантаження дорівнює одиниці.

По знайденому значенню параметра потоку відмов визначають ймовірність безвідмовної роботи пристрою для заданого часу  $t$  за формулою:

$$P(t) = e^{-\Lambda t} \quad (4)$$

Напрацювання на відмову визначають за формулою:

$$T_\theta = \frac{1}{\Lambda} \quad (4)$$

Результати розрахунку рекомендується оформити у вигляді табл.3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 16

Таблиця 3

№ Е/П	Схемне позначення	Тип елемента	Кількість, шт.	Параметри режиму роботи елемента		Коеф. Навантаження, Кн	$\lambda_{0i}$	$a_1$	$a_2$	$\Lambda_i = \lambda_{0i} N a_1 a_2$
				по ТУ	факт					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Завдання 1.3. Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи технічної системи з резервуванням на протязі часу напрацювання  $t$ .

Дані по інтенсивностях відмов елементів системи, режими роботи резервних елементів, та номер логічної схеми (рис. 1 і 2) наведені в табл.4.

Таблиця 4

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Рис.1									
	а	в	д	ж	к	б	г	е	з	л
$\lambda_2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	2	10	12	6	8	2	3	13	15	7
$\lambda_2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	3	8	3	2	5	5	5	5	4	1
$\lambda_3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	5	10	2	12	2	7	2	2	1	5
$t, \text{ год}$	100	200	300	400	500	• 500	100	300	500	300
Режим роботи резервного елемента	Навантажений					Невантажений				



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 17

Закінчення табл. 4

Параметр	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Рис.2									
	а	в	д	ж	к	б	г	е	з	л
$\lambda_1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	0,1	7	0,9	9	6	2	8,8	7	6	0,3
$\lambda_2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	0,2	5	2	3	4	3	2,2	8	0,8	5
$\lambda_3 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	2	3	0,1	7	1	5	3	2	8	0,7
t, год	400	300	500	200	100	150	500	100	200	300
Режим роботи резервного елемента	Навантажений					Невантажений				

Рис.1

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 18

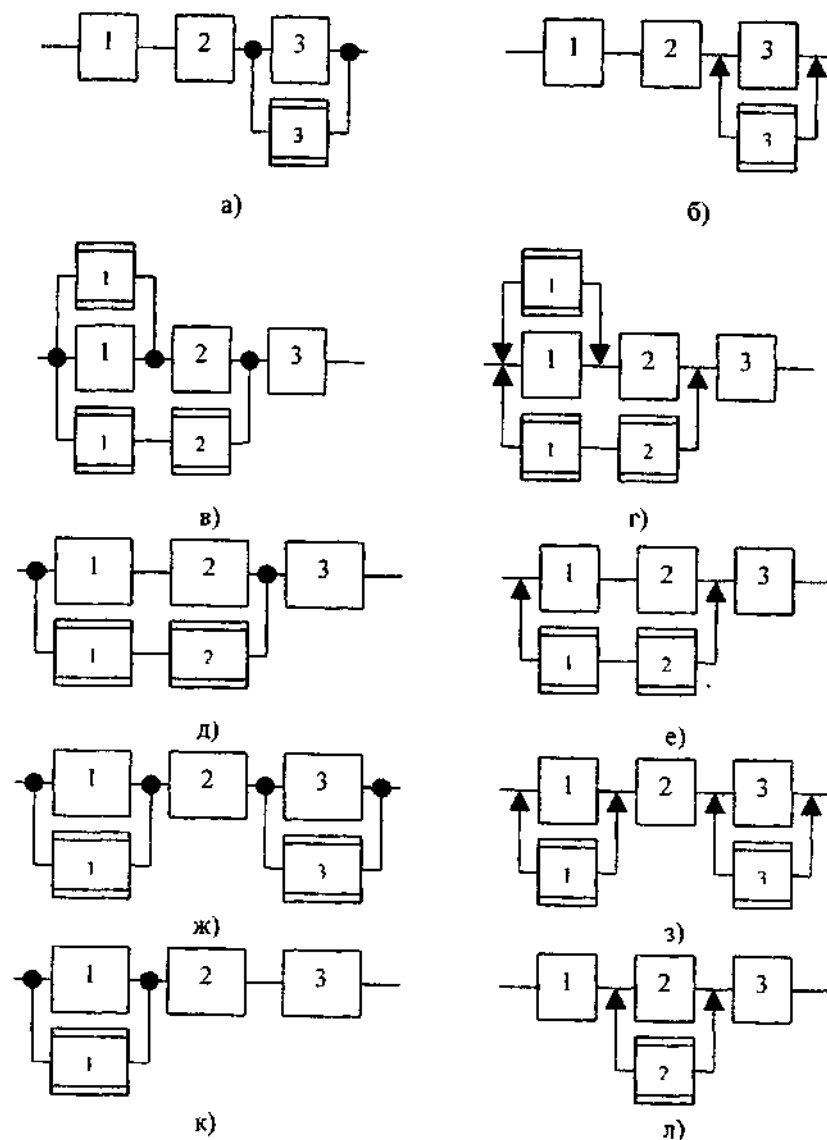


Рис.2

Однотипні резервні елементи системи вважати рівнонадійними.

Оцінити виграш в надійності резервованої системи за час  $t$  в порівнянні з основною (нерезерованою) системою.

Елементи основної технічної системи обведені на рис.1 і 2 одиночними контурними лініями, резервні - подвійними.

### Методичні вказівки

Для розрахунку надійності технічної системи необхідно мати модель надійності системи, яка складається на основі функціональної (електричної) схеми системи. При цьому допускаються припущення, що:

1) кожний елемент та система в цілому можуть знаходитись в одному з двох станів: працездатному, або непрацездатному;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 19

- 2) відмови елементів системи є подіями випадковими та незалежними;
- 3) одночасно два або більше елементів відмовити не можуть;
- 4) середнє напрацювання до відмови елементів системи розподілене по експоненційному закону.

На логічних схемах, як правило, використовують три способи з'єднання елементів:

- послідовний;
- паралельний;
- послідовно-паралельний.

Послідовне з'єднання відповідає випадку, коли безвідмовна робота системи забезпечується при умові збереження праце-здатності усіма елементами послідовного з'єднання (див. рис. 3,а).

При послідовному логічному з'єднанні ймовірність безвідмовної роботи системи за час  $t$  дорівнює:

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (1)$$

де  $P_i(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента системи за час  $t$ ;  $n$  - кількість послідовно з'єднаних елементів системи.

Ймовірність безвідмовної роботи елемента системи за час  $t$  визначається експоненційною залежністю:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t} \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  - інтенсивність відмов  $i$ -го елемента, год<sup>-1</sup>;  $t$  - час роботи елемента.

Паралельне з'єднання відповідає випадку, коли відмова одного чи навіть декількох елементів не приводить до відмови системи в цілому. Показники надійності при паралельному з'єднанні на логічній схемі розраховуються за формулами з врахуванням режиму роботи резервних елементів.

При паралельному навантаженому з'єднанні елементів (див.рис.3,б) ймовірність відмови системи дорівнює:

$$Q_c(t) = q_1(t) q_2(t) \dots q_k(t) = \prod_{i=1}^k q_i(t) \quad (3)$$

де  $q_j(t)$  - ймовірність відмови  $j$ -го елемента за час  $t$ ,  $k$  - кількість паралельно з'єднаних на логічній схемі елементів (див. рис. 3,б).

Оскільки ймовірність відмови і ймовірність безвідмовної роботи зв'язані між собою співвідношенням:

$$q_j(t) = 1 - P_j(t)$$

то ймовірність відмови системи за час  $t$ :

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 20

$$Q_c(t) = \prod_{j=1}^k [1 - P_j(t)] \quad (4)$$

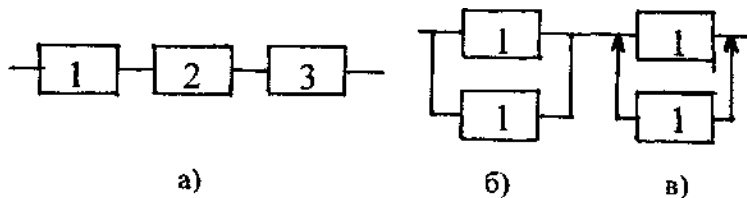


Рис. 3

Ймовірність безвідмовної роботи системи, складеної з паралельно з'єднаних навантажених елементів, дорівнює:

$$P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - P_j(t)] \quad (5)$$

У випадку рівнодійних елементів системи, з'єднаних паралельно:

$$P_c(t) = 1 - [1 - P(t)]^k \quad (6)$$

Паралельне ненавантажене з'єднання відповідає випадку, коли при відмові основного елемента системи включається в роботу черговий резервний елемент і таким чином система зберігає свою працездатність.

При паралельному ненавантаженому з'єднанні елементів (див. рис. 3,в) ймовірність безвідмовної роботи системи у випадку експоненційного розподілу напрацювання до відмови та рівно-надійних елементах дорівнює:

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{j=0}^k \frac{(\lambda_0 t)^j}{j!} \quad (7)$$

де  $\lambda_0$  - інтенсивність відмов одного із  $k$  паралельно з'єднаних на логічній схемі надійності елементів .

В якості приклада розглянемо систему, логічна схема надійності якої показана на рис. 4.

Вхідні дані цієї системи :

Інтенсивність відмов елементів дорівнює:  $\lambda_1 = 0,5 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>;  
 $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> і  $\lambda_3 = 7 \cdot 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>

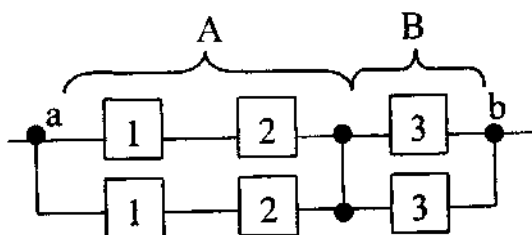


Рис.4

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 21

Режим роботи резервних елементів - навантажений.

Потрібно оцінити виграш в надійності системи при вказаній схемі резервування за час  $t = 100$  год.

Оцінку виграшу в ймовірності відмови за час  $t$  в порівнянні з основною зробити у формі відношення ймовірностей відмови основної та резервної системи.

### Розв'язання

Критерієм відмови системи вважається розрив зв'язку між точками  $a$  і  $b$  в логічній схемі надійності.

Розрахунок надійності системи проводиться в такій послідовності:

1) поділимо логічну схему надійності системи на дві частини, як це показано на рис. 4. Визначимо ймовірність безвідмовної роботи кожної з цих частин;

2) ймовірність безвідмовної роботи резервованої частини А, що складається з двох послідовно з'єднаних елементів 1 та 2, дорівнює:

$$P_A(t) = 1 - [1 - P_1(t) P_2(t)]^2$$

3) ймовірність безвідмовної роботи резервованої частини В системи, що складається з паралельно з'єднаних елементів 3, визначається аналогічно:

$$P_B(t) = 1 - [1 - P_3(t)]^2$$

4) ймовірність безвідмовної роботи системи в цілому за час 1: буде:

$$P_{рез}(t) = P_A(t) * P_B(t) = \{1 - [1 - P_1(t) P_2(t)]^2\} \{1 - [1 - P_3(t)]^2\}$$

Підставивши значення  $P_1(1), P_2(1)$  та  $P_3(0)$  для часу  $T=100$  год у даний вираз, визначимо ймовірність безвідмовної резервної системи за час  $T=100$  год:

$$P_{рез}(100) = [1 - (1 - e^{-2.5 * 100 * 10^{-4}})^2] [1 - (1 - e^{-7 * 100 * 10^{-4}})^2]$$

5) для оцінки виграшу в ймовірності відмови за час  $t = 100$  год в порівнянні з основною системою необхідно визначити ймовірність безвідмовної роботи основної (нерезерованої) системи, тобто без врахування резервних елементів.

Оскільки в основній системі основні елементи з'єднані між собою послідовно, то ймовірність безвідмовної роботи системи за час  $t$  буде дорівнювати:

$$P_{осн}(t) = P_1(t) * P_2(t) * P_3(t)$$

Підставивши значення  $P_1(t), P_2(t), P_3(t)$  для часу  $t = 100$  год, одержимо:

$$P_{осн}(100) = e^{-9.5 * 100 * 10^{-4}}$$

6) оцінку виграшу в ймовірності відмови резервованої системи за час  $t = 100$  год. в порівнянні з основною системою визначимо по співвідношенню:

$$B = \frac{1 - P_{осн}(100)}{1 - P_{рез}(100)}$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 22

## 4.2. Контрольна робота №2

Завдання 2.1. Технічна система, яка має робочий та резервний блоки, розрахована на безперервну цілодобову роботу. Через  $t$  годин після включення дана система може одержати команду на переналадку режиму роботи.

Інтенсивність відмов  $\lambda$  та відновлення  $\mu$  робочого (основного) та резервного блоків, а також число ремонтних бригад  $n$  вказані в табл.5

Визначити ймовірність застати систему в непрацездатному стані через  $t$  годин після її включення, значення коефіцієнта готовності  $K_2$  та простою  $K_n$ .

Таблиця 5

Параметр	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_1 * 10^{-4}$ , 1/год	8	12	15	5	8	10	12	14	10	24
$\mu$ , 1/год	0,2	0,3	0,5	0,2	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	0,3
$T$ , год	3	5	8	12	15	5	5	10	30	8
Режим роботи резервного елемента	Навантажений					Ненавантажений				
Кількість ремонтних бригад, $n$	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2

Закінчення табл. 5

Параметр	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\lambda_1 * 10^{-4}$ , 1/год	7	12	18	15	15	20	25	20	18	10
$\mu$ , 1/год	0,3	0,2	0,3	0,5	0,8	0,8	0,9	0,5	0,4	0,5
$T_i$ год	3	5	5	8	10	5	10	15	20	30
Режим, роботи резервного елемента	Навантажений					Ненавантажений				
Кількість ремонтних бригад, $n$	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 23

### Методичні вказівки

Показники надійності резервованих невідновлюваних та відновлюваних технічних систем (пристроїв), як правило, визначаються при умові, що в момент включення всі елементи системи працездатні.

Найбільш часто використовують два методи розрахунку надійності: метод інтегральних рівнянь та метод диференціальних рівнянь.

Метод інтегральних рівнянь базується на припущенні, що значення часу (напрацювання) між послідовними відмовами та часу відновлення системи є подіями випадковими і незалежними. При цьому методі складаються та розв'язуються інтегральні, або інтегро-диференціальні рівняння, які зв'язують ймовірність перебування технічної системи в різних станах.

В методі диференціальних рівнянь використовується припущення про показниковий розподіл часу (напрацювання) до відмов, або між відмовами і часом відновлення системи.

Спочатку перераховуються можливі стани системи, потім складається її математична модель у вигляді схеми станів, на якій кружками, або прямокутниками зображають можливі стани схеми, а стрілками - можливі напрямки переходів із одного стану в інший.

По схемі станів потім складають систему диференціальних рівнянь для ймовірності станів. Для цього використовують такі правила:

1) ліві частини рівнянь містять похідну по часу ймовірностей відповідних станів  $P'_i(i)$ , а кожний член правої частини рівнянь отримується шляхом помноження інтенсивності переходу, що стоїть над стрілкою, яка зв'язана з даним станом, на відповідну ймовірність стану;

2) знак залежить від напрямку стрілки (плюс, якщо стрілка направлена вістрям до стану і мінус - у протилежному випадку);

3) число рівнянь дорівнює числу станів;

4) система диференціальних рівнянь повинна бути доповнена умовою, яка заключається у тому, що сума ймовірностей усіх станів дорівнює одиниці.

Розв'язок системи диференціальних рівнянь за допомогою перетворень Лапласа або яким-небудь іншим методом дозволяє визначити необхідний показник надійності технічної системи.

Коли перерви в роботі системи допустимі, то в якості показника надійності, як правило, використовують коефіцієнт готовності  $K_g$ .

Якщо перерви в роботі системи неприпустимі, то в якості показника надійності використовують ймовірність безперервної безвідмовної роботи на протязі часу  $P(t)$  при умові, що в початковий момент часу всі елементи системи були працездатними.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 24

Як приклад розглянемо технічну систему, логічна схема надійності якої показана на рис.5,а.

Технічна система складається з робочого та резервного блоків. Резервний блок знаходиться в навантаженому резерві. Є дві чергові ремонтні бригади, які обслуговують систему.

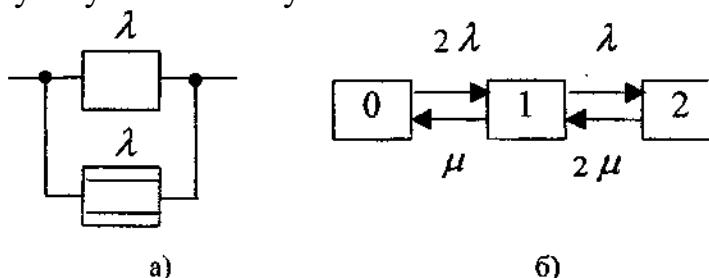


Рис.5

Інтенсивність відмов та відновлення кожного блока:  
 $\lambda = 8 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ ;  $\mu = 0,2 \text{ год}^{-1}$ . Визначити ймовірність застати систему в неробочому стані через 2 години після включення та значення коефіцієнта простою.

### Розв'язання

Технічна система в будь-який момент часу може знаходитись в одному з наступних станів:

- 0 - обидва блоки працездатні;
- 1 - один блок непрацездатний;
- 2 - обидва блоки непрацездатні.

Позначимо ймовірність цих станів через  $P_0(t), P_1(t), P_2(t)$

Очевидно, що при знаходженні системи в стані 0 та 1 система працездатна, тобто функція готовності  $K_g(t) = P_0(t) + P_1(t)$  а в стані 2 - система непрацездатна, тобто функція простою  $K_n = P_2(t)$

При тривалій експлуатації системи може бути досягнений сталий режим, коли  $K_r = P_0 + P_1$ ,  $K_n = P_2$

Схема станів системи з відповідними інтенсивностями переходів показана на рис.5,б.

Система диференціальних рівнянь, складених по цій схемі, має вигляд:

$$\begin{aligned}
 p_0'(t) &= -2\lambda p_0(t) + \mu p_1(t) \\
 p_1'(t) &= 2\lambda p_0(t) - (\lambda + \mu) p_1(t) + 2\mu p_2(t) \\
 p_2'(t) &= \lambda p_1(t) - 2\mu p_2(t)
 \end{aligned}$$

Для визначення функції готовності системи розв'язок даної системи проводимо з врахуванням початкових умов, що при

$$t=0 \quad p_0(0) = 1, p_1(0) = p_2(0) = 0$$



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 25

Розв'язок системи рівнянь проводимо з допомогою перетворень Лапласа, в результаті одержимо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned}(s+2\lambda)p_0^{\circ}(s) - \mu p_1^{\circ}(s) &= 1 \\ -2\lambda p_0^{\circ}(s) + (s+\lambda+\mu)p_1^{\circ}(s) - 2\mu p_2^{\circ}(s) &= 0 \\ -\lambda p_1^{\circ}(s) + (s+2\mu)p_2^{\circ}(s) &= 0\end{aligned}$$

Для одержання величини Крамера:  $P_i^{\circ}(s)$  використовуємо правило

$$p_i(s) = \frac{D_i}{D}$$

де  $D$  - визначник, елементами якого являються коефіцієнти при  $P_0^{\circ}(s), P_1^{\circ}(s), P_2^{\circ}(s)$ ,  $D_i$  - визначник, який утворюється з  $D$  шляхом заміни  $i$ -го стовпця коефіцієнтами правої частини системи.

Для нашого випадку необхідно визначити функцію простою, що дорівнює  $p_2(t)$ . Для цього складемо визначники:

$$D = \begin{vmatrix} s+2\lambda & -\mu & 0 \\ -2\lambda & (s+\lambda+\mu) & -2\mu \\ 0 & -\lambda & (s+2\mu) \end{vmatrix}$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} s+2\lambda & -\mu & 1 \\ -2\lambda & (s+\lambda+\mu) & 0 \\ 0 & -\lambda & 0 \end{vmatrix}$$

Отже,

$$p_2^{\circ}(s) = \frac{2\lambda^2}{s[s^2 + 3(\lambda+\mu)s + 2(\lambda^2 + 2\lambda\mu + \mu^2)]}$$

Переходячи від зображення до оригіналу, одержуємо:

$$K_n(t) = p_2(t) = \frac{\lambda^2}{(\lambda+\mu)^2} [1 - e^{-(\lambda+\mu)t} + e^{-2(\lambda+\mu)t}]$$

Коефіцієнт простою  $K_n$  визначається з виразу для  $K_n(t)$  при  $t \rightarrow \infty$

$$K_n = \frac{\lambda^2}{(\lambda+\mu)^2}$$

Підставляючи числові значення для  $\lambda$  і  $\mu$ , одержимо:

$$K_n(t) = 1,5 \cdot 10^{-4}; K_n(t) = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

Завдання 2.2. В результаті випробувань  $N$  транзисторів, які проводились без заміни відмовлених на протязі часу  $t = 1000$  год., одержані дані про напрацювання до відмови, які наведені в табл.б.

Визначити значення та побудувати графік статистичної оцінки інтенсивності відмов транзисторів  $\lambda^*(t)$ , вирахувати значення та побудувати

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 26

графік статистичної оцінки ймовірності безвідмовної роботи транзисторів  $p^*(t)$  для інтервалу часу  $[0, t_i]$ .

Таблиця 6

Інтервал напрацю- вання $\Delta t$	Варіант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Кількість відмов									
0-100	5	5	6	8	10	12	15	16	18	20
100-200	8	7	9	12	15	15	20	21	25	30
200-400	4	5	5	7	8	10	10	14	15	16
400-600	3	2	3	5	4	5	3	5	8	9
600-800	2	1	2	3	1	2	2	3	4	4
800-1000	1	2	3	2	3	3	1	2	3	2
N, шт.	100	120	150	200	250	300	350	400	450	500

Закінчення табл. 6

Інтервал напрацю- вання $\Delta t$	Варіант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	Кількість відмов									
0-100	4	4	5	8	10	12	15	17	18	20
100-200	7	8	7	12	15	16	21	24	26	30
200-400	3	5	4	7	8	8	й	15	17	16
400-600	2	2	3	4	4	4	4	5	8	5
600-800	1	1	1	1	2	3	2	3	3	3
800-1000	1	2	1	2	1	1	2	'2	4	2
1Ч,шт.	100	120	150	200	250	300	350	400	450	500

### Методичні вказівки

При побудові графіка  $\lambda^*(t)$  необхідно для кожного  $i$ -го проміжку напрацювання випробуваних виробів визначити значення статистичної оцінки інтенсивності відмов  $\lambda_i^*(t)$  за формулою:

$$\lambda^*(t) = \frac{r_i}{n_{\text{сер}} \Delta t_i}$$

де  $r_i$  - кількість відмов виробів на проміжку часу  $\Delta t_i$ ;

$n_{\text{сер}} = \frac{n_i + n_{i+1}}{2}$  - середня кількість справно працюючих виробів на проміжку часу  $\Delta t_i$ .

При побудові графіка інтенсивності відмов  $\lambda^*(t)$  на горизонтальній осі послідовно відкладають проміжки часу  $\Delta t_i$ , і на кожному із них будують прямокутник з висотою  $\lambda_i^*$ .

Для побудови графіка статистичної функції надійності  $p^*(t)$  визначають значення  $p_i^*(t)$  за формулою:

$$p_i^*(t) = 1 - \frac{r_i}{N}$$

де  $r_i$  - кількість відмовлених виробів за напрацювання  $[0, t_i]$  з  $N$ , що знаходились на випробуваннях .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 27

Враховуючи, що в момент часу  $t = 0$  функція надійності  $p(0) = 1$  по визначеним значенням  $p_i^*(t)$  для значень напрацювання  $t_i$  будують  $p^*(t)$

**Завдання 2.3.** Розрахувати ремонтпридатність технічного пристрою по раптовим відмовам по заданій електричній схемі. Значення елементів, напруги джерела живлення та параметри електричного режиму активних елементів показані на електричних схемах.

Варіанти та дані до завдання наведені в табл. 2 (стор.16).

Типи елементів для кожного пристрою вибирати самостійно з врахуванням електричного режиму роботи та заданої кліматичної категорії та виконання пристрою.

При розрахунку визначити наступні показники ремонт-придатності пристрою:

- 1) середній час відновлення працездатного стану  $T_в$ ;
- 2) ймовірність відновлення працездатного стану  $P_в(t)$  за час  $t = 2$  год.
- 3) побудувати графік функції ймовірності відновлення  $P_в(i)$  в інтервалі часу  $0 \leq t \leq 3T$ .
- 4) визначити коефіцієнт оперативної готовності  $K_{ор}$  для часу  $t = 5$  год.

### Методичні вказівки

Середній час відновлення працездатного стану технічного пристрою визначають за формулою:

$$T_в = K_{ор} \sum_{i=1}^n \frac{N_i \lambda_i \tau_i}{\Lambda} \quad (1)$$

де  $K_{ор}=2,3$  - коефіцієнт одночасної заміни елементів пристрою;  $N_i, \lambda_i$  - кількість та інтенсивність відмов елементів  $i$ -ї групи відповідно;  $\tau_i$  - середній час відновлення  $i$ -го елемента (див. додаток б);  $\Lambda$ - параметр потоку відмов;  $n$  - загальна кількість груп елементів пристрою.

Параметр потоку відмов визначають за формулою:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i \quad (2)$$

Ймовірність відновлення працездатного стану за час  $t$  визначають за формулою:

$$P_в(t) = 1 - e^{-t/T_в} \quad (3)$$

Коефіцієнт оперативної готовності за час  $t$ : визначають за формулою:

$$K_{ор}(t) = K_r * e^{-\Lambda t}$$

де  $K_r = \frac{T_о}{T_о + T_в}$  – коефіцієнт готовності.

Результати розрахунку рекомендується оформити у вигляді таблиці по формі (див.табл.7).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-20.09- 05.01/152.00.1/Б/ВК6.2- 2021
	Екземпляр № 1	Арк 28 / 28

Таблиця 7

N, н/п	Схемні	Тип елемента	Число, шт	Параметр режиму		$K_H$	$\lambda_{oi}$	$a_1$	$a_2$	$\Lambda_i = \lambda_o N a_1 a_2$
				по ТУ	факт					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11