

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 1

## **ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Державного університету  
«Житомирська політехніка»  
протокол від 4 вересня 2025р.  
№5

### **МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для самостійної роботи студентів з навчальної дисципліни ОК24 «Надійність та діагностування в електроенергетиці»**

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр»  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
освітня програма «Комп'ютеризоване управління енергетичними системами»  
факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки  
кафедра робототехніки, електроенергетики та автоматизації  
ім. проф. Б.Б. Самотокіна

Схвалено на засіданні кафедри  
інформаційно-вимірювальних  
технологій  
25 серпня 2025р., протокол № 8  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Юрій ПОДЧАШИНСЬКИЙ

Розробник: кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-  
вимірювальних технологій ЧЕПЮК Ларіна

Житомир  
2025

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 2

## ЗМІСТ

Самостійна робота 1	Загальні положення та теоретичні основи надійності технічних систем. Основні термінами та визначення теорії надійності. Класифікація та фізика відмов пристроїв. Класифікація технічних об'єктів теорії надійності.	3
Самостійна робота 2	Показники надійності технічних систем. Показники довговічності та збережуваності технічних виробів.	10
Самостійна робота 3	Інженерні методи забезпечення надійності технічних систем. Матричний метод розрахунку надійності пристроїв.	15
Самостійна робота 4	Оцінки показників надійності технічних систем. Оптимальний спосіб резервування.	18
Самостійна робота 5	Перевірка відповідності показників надійності технічних систем технічним умовам. Методи оцінки надійності систем зі складною структурою.	21
Самостійна робота 6	Методи забезпечення надійності технічних систем. Методи розрахунку надійності на стадії проектування систем: вибір та обґрунтування показників надійності; вибір та обґрунтування технічного обслуговування; вибір необхідних методів розрахунку	35
Самостійна робота 7	Технічна діагностика та автоматизований контроль. Види випробувань на надійність: визначальні випробування; контрольні випробування на надійність Одноступеневий та послідовний контроль	40
Самостійна робота 8	Технічна діагностика технічних систем. Особливості технічної діагностики технічних систем	46
	Рекомендована література	53
	Питання для самостійної роботи	54

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 3

## Самостійна робота 1

### Загальні положення та теоретичні основи надійності технічних систем

#### Основні термінами та визначення теорії надійності.

#### Класифікація та фізика відмов пристроїв.

#### Класифікація технічних об'єктів теорії надійності.

В теорії надійності використовуються цілий ряд термінів без яких неможливо аналізувати надійність технічних систем. Згідно діючого ДСТУ **2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення**, наводимо основні терміни та їх визначення:

◆ **об'єкт** – система, підсистема, апаратура, пристрій, елемент чи будь-яка її частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця;

◆ **елемент** – об'єкт, який являє собою найпростішу частину системи, окремі частини якого не підлягають розгляду як самостійна одиниця;

◆ **обслуговуваний об'єкт** – об'єкт, для якого проведення технічного обслуговування передбачено нормативно-технічною та (чи) конструкторською документацією;

◆ **необслуговуваний об'єкт** – об'єкт, для якого проведення технічного обслуговування не передбачено нормативно-технічною документацією;

◆ **ремонтний об'єкт** – об'єкт, ремонт якого можливий та передбачений нормативною та (чи) конструкторською документацією;

◆ **неремонтний об'єкт** – об'єкт, ремонт якого неможливий чи непередбачений нормативною, ремонтною та (чи) конструкторською (проектною) документацією;

◆ **відновлюваний об'єкт** – ремонтний об'єкт, який після відмови та усунення несправності знову стає здатним виконувати необхідні функції з заданими кількісними показниками надійності;

◆ **невідновлюваний об'єкт** – об'єкт, ремонт якого неможливий чи не дозволяє відновити працездатність із заданими кількісними показниками надійності;

◆ **надійність** – властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

**Надійність об'єкта** – комплексна властивість, яка визначає якість об'єкта, його придатність до використання по призначенню.

Під якість продукції розуміють сукупність її властивостей, що обумовлюють придатність продукції для задоволення визначених вимог згідно з її призначенням. Одною з властивостей цієї сукупності є надійність.

В залежності від призначення об'єкта та умов його застосування надійність об'єкта оцінюється такими кількісними показниками:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 4

безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збережуваності, або сукупністю цих властивостей.

**Безвідмовність** – властивість об’єкта виконувати потрібні функції в певних умовах протягом заданого інтервалу часу чи наробітку. Ця властивість особливо важлива для об’єктів, відмови в роботі яких пов’язані з небезпекою для життя людей.

**Довговічність** – властивість об’єкта виконувати потрібні функції до переходу у граничний стан при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту.

Довговічність характеризується тривалістю роботи об’єкта по сумарному наробітку, яка може перериватись періодами для відновлення його працездатності в планових і непланових ремонтах та при технічному обслуговуванні.

**Ремонтпридатність** – властивість об’єкта бути пристосованим до підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції за допомогою технічного обслуговування та ремонту.

Важливість ремонтпридатності технічних пристроїв визначається витратами на їх ремонт та готовність для виконання своїх функцій.

**Збережуваність** – властивість об’єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об’єкта виконувати потрібні функції під час і після зберігання та транспортування.

Роль цієї властивості дуже значна для об’єктів, які довгий час знаходяться на зберіганні до того часу, коли їх застосують.

**Готовність** – властивість об’єкта бути здатним виконувати потрібні функції в заданих умовах у будь-який час чи протягом заданого інтервалу часу за умови забезпечення необхідними зовнішніми ресурсами. Ця властивість залежить від поєднання властивостей безвідмовності, ремонтпридатності та забезпечення технічного обслуговування та ремонту.

В залежності від стану, в якому може знаходитись об’єкт, використовують наступні терміни:

- ◆ **справність** – стан об’єкта, за яким він здатний виконувати усі задані функції об’єкта;

- ◆ **несправність** – стан об’єкта за яким він нездатний виконувати хоч би одну із заданих функцій об’єкта.

Несправність часто є наслідком відмови, але може бути й без неї;

- ◆ **працездатний стан** – стан об’єкта, який характеризується його здатністю виконувати усі потрібні функції;

- ◆ **непрацездатний стан** – стан об’єкта, за яким він нездатний виконувати хоч би одну з потрібних функцій;

- ◆ **критичний стан** – стан об’єкта, який може призвести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи інших неприйнятних наслідків;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 5

◆ **граничний стан** – стан об’єкта, за яким його подальша експлуатація недопустима чи недоцільна, або відновлення його працездатного стану неможливе чи недоцільне.

Критерієм граничного стану є ознака або сукупність ознак граничного стану об’єкта, встановлених нормативною та конструкторською документацією;

◆ **незначна несправність** – несправність, що не порушує жодної з потрібних функцій об’єкта;

◆ **значна несправність** – несправність, що порушує хоча б одну з потрібних функцій об’єкта;

◆ **часткова несправність** – несправність, що викликає нездатність об’єкта виконувати частину потрібних функцій;

◆ **повна несправність** – несправність, що характеризується повною нездатністю об’єкта виконувати потрібні функції;

◆ **конструкційна несправність** – несправність, яка спричинена недосконалістю проекту об’єкта;

◆ **виробнича несправність** – несправність, що спричинена невідповідністю ходу виробництва проекту об’єкта чи встановленим виробничим процесом;

◆ **дефект** – кожна окрема невідповідність об’єкта встановленим вимогам;

◆ **пошкодження** – подія, яка полягає в порушенні справного стану об’єкта коли зберігається його працездатність;

◆ **відмова** – подія, яка полягає у втраті об’єктом здатності виконувати потрібну функцію, тобто в порушенні працездатного стану об’єкта;

◆ **збій** – самоусувна відмова або одноразова відмова, яку можна усунути. Серед термінів, які стосуються тривалості та обсягу роботи, є такі:

◆ **наробіток** – тривалість чи обсяг роботи об’єкта. Наробіток може бути як неперервною величиною (тривалість роботи в годинах, кілометрах пробігу тощо), так і цілочисельною величиною (кількість робочих циклів, запусків тощо);

◆ **наробіток до відмови** – наробіток об’єкта від початку експлуатації до виникнення першої відмови;

◆ **наробіток між відмовами** – наробіток об’єкта від завершення відновлення його працездатного стану до виникнення його наступної відмови;

◆ **ресурс** – сумарний наробіток об’єкта від початку його експлуатації чи поновлення після ремонту до переходу в граничний стан;

◆ **залишковий ресурс** – сумарний наробіток об’єкта від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан;

◆ **призначений ресурс** – сумарний наробіток, при досягненні якого експлуатацію об’єкта належить припинити незалежно від його технічного

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 6

стану;

◆ **термін служби** – календарна тривалість експлуатації об'єкта від початку чи її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан;

◆ **призначений термін служби** – тривалість зберігання та транспортування об'єкта, протягом якої значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, перебувають у заданих межах;

◆ **термін збережаності** – календарна тривалість зберігання та (чи) транспортування об'єкта, протягом якої значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, перебувають у заданих межах;

◆ **призначений термін зберігання** – календарна тривалість зберігання, після досягнення якої зберігання об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану.

Після закінчення призначеного ресурсу (терміну служби, терміну зберігання), як правило, об'єкт вилучають з експлуатації та приймають відповідне рішення, передбачене нормативно-технічними документами: відправити об'єкт в ремонт, списати, або перевірити та встановити новий ресурс;

◆ **тривалість відновлення** – інтервал часу, протягом якого об'єкт перебуває в непрацездатному стані через відмову;

◆ **тривалість технічного обслуговування (ремонту)** – інтервал часу, протягом якого виконується вручну чи автоматично операція технічного обслуговування та (чи) ремонту об'єкта, включно з тривалістю затримок через незабезпеченість матеріальними ресурсами;

### Класифікація та фізика відмов

Поняття відмови являється основним при оцінці надійності технічних систем. При цьому під відмовою розуміють подію, яка полягає у порушенні працездатного стану об'єкта. Це означає, що об'єкт втратив можливість виконувати свої функції.

Відмови можна класифікувати по таким основним ознакам (табл.1.1). Розглянемо більш детально характер виникнення відмов.

Відмова елемента – явище випадкове, але причини, що обумовлюють виникнення відмови, пов'язані з певними фізичними та фізико-хімічними процесами, що відбуваються в матеріалах і конструкції на різних етапах життя елемента.

Потік цих процесів залежить як від режиму роботи (внутрішні умови), так і від зовнішніх умов роботи елемента: температури, вологості, тиску, вібрації, ударів, дії радіаційного випромінювання та інше.

По характеру зміни параметрів відмови поділяються на раптові та

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 7

поступові.

Раптові відмови це такі відмови, які неможливо передбачити чити попередніми дослідженнями чи технічним наглядом. Такі відмови характеризуються різкою, практично миттєвою зміною одного або декількох параметрів виробу. Раптові відмови, як правило, проявляються у вигляді механічних пошкоджень елементів (поломки, тріщини, обриви, пробоя ізоляції та інше).

Причиною виникнення раптових відмов є перевищення діючими навантаженнями межі допустимих значень для даного матеріалу, або елемента.

Раптові відмови, звичайно, є результатом прихованих недоліків технології виробництва та конструктивних дефектів, пов'язаних з неправильним застосуванням елементів у виробі, а також помилки обслуговуючого персоналу при експлуатації виробу.

Таблиця 1.1

#### Класифікація відмов

Ознака класифікації	Вид відмови
1. Характер зміни основного параметра виробу до моменту виникнення відмови	Раптова Поступова
2. Можливість наступного використання виробу після виникнення відмови	Повна Часткова
3. Стійкість непрацездатності	Стійка Самоусувна
4. Зв'язок між відмовами	Незалежна Залежна
5. Наявність зовнішніх проявів відмови	Явна(очевидна) Неявна(прихована)
6. Причини виникнення відмови: ◆ при конструюванні (помилка конструктора, недосконалість методів конструювання) ◆ при виготовленні (порушення технології, недосконалість технології) ◆ при експлуатації (порушення правил експлуатації, зовнішні дії, не властиві нормальній експлуатації)	Конструкційна  Виробнича  Експлуатаційна

Поступові (параметричні) відмови це такі відмови, які спричинені поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів виробу в залежності від наробітку виробу, або зносу його окремих елементів, що призводить до відмови виробу.

Слід відмітити, що появі раптових відмов звичайно передують приховані від спостереження зміни фізичних властивостей елементів, в результаті чого ці зміни можуть з часом досягти критичних значень, коли настає його відмова.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 8

Тому поділ відмов на раптові і поступові носить досить умовний характер.

Повною або стабільною відмовою називають відмову, що призводить до повної неспроможності виробу виконувати жодну з потрібних функцій, поки не буде усунена причина відмови.

Частковою відмовою виробу називають відмову, що призводить до неспроможності виробу, виконувати частину потрібних функцій. Наприклад, зниження коефіцієнта підсилення радіоприймача, що не виключає можливості вести деякий час прийом з меншою ефективністю.

В залежності від зв'язку з іншими відмовами розрізняють незалежні і залежні відмови. Незалежна відмова – це така відмова, яка не спричинена відмовою або несправністю іншого виробу. Залежною відмовою називають відмову, яка спричинена відмовою або несправністю іншого виробу.

По легкості виявлення відмови можуть бути очевидними (явними) або прихованими (неявними). Очевидними відмовами є такі, що виявляються візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностики під час підготовки виробу до використання чи в процесі його використання за призначенням.

Приховані відмови є такі, що не виявляються візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностики, але виявляються під час проведення технічного обслуговування чи спеціальними методами діагностики.

По причинах відмови прийнято ділити на відмови, які викликані обставинами під час проектування, виробництва чи використання виробу.

### **Класифікація об'єктів**

В залежності від призначення та конструкції технічних об'єктів (пристроїв, систем) для характеристики їх надійності застосовують різні кількісні показники надійності.

Усі технічні об'єкти, що розглядаються в теорії надійності, поділяються на дві групи, які відрізняються показниками надійності та методами їх оцінки:

- 1) невідновлювані об'єкти;
- 2) відновлювані об'єкти.

Відновлювані об'єкти в свою чергу діляться на:

- ◆ відновлювані поза процесом застосування;
- ◆ відновлювані в процесі застосування, для яких перерви в роботі не допускаються;
- ◆ відновлювані в процесі застосування, для яких перерви в роботі допускаються.

Невідновлювані об'єкти - це об'єкти, працездатність яких у випадку відмови, не підлягає відновленню при застосуванні. Невідновлювані об'єкти можуть бути як ремонтowanими, так і неремонтowanими.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 9

При аналізі надійності, а також при виборі показників надійності слід враховувати рішення, яке може бути прийнятим у випадку відмови об'єкта.

Так, якщо в процесі застосування об'єкта відновлення працездатності даного об'єкта у випадку його відмови по яким-небудь причинам признається недоцільним або нездійсненим (наприклад, із-за неможливості перерву виконуваної функції), то такий об'єкт в даній ситуації є невідновлюваним. Таким чином, один і той же об'єкт в залежності від умов та етапів експлуатації може вважатись відновлюваним або невідновлюваним.

До невідновлюваних об'єктів відносяться вироби одноразового застосування, які до моменту його застосування по призначенню, як правило, на протязі тривалого часу знаходяться у стані зберігання.

У більшості випадків, проте, мають справу з оперативно невідновлюваними об'єктами. Це означає, що в процесі роботи такі об'єкти не можуть бути відновлені у випадку відмови, але в процесі зберігання, а також при підготовці до застосування такі об'єкти можуть відновлюватись в разі потреби.

У якості прикладу можна навести непілотовані космічні апарати. Так, на етапі зберігання космічні апарати відносяться до відновлюваних об'єктів, а під час польоту в космосі є невідновлюваними.

На практиці найбільш часто мають справу з відновлюваними об'єктами. Відновлювані об'єкти - це ремонтвані об'єкти, працездатність яких у випадку відмови, підлягає відновленню при їх застосуванні. До відновлюваних об'єктів відносяться об'єкти багаторазового використання.

Відновлювані об'єкти в процесі застосування поділяються на об'єкти, для яких недопустимі перерви в роботі (резервовані системи) та відновлювані, для яких допустимі короточасні перерви в роботі.

У випадку відмови відновлюваних об'єктів в процесі їх застосування такі відмови або несправності усуваються шляхом відповідного ремонту. При цьому самі об'єкти складаються, як правило, з неремонтованих виробів (компонентів), які у випадку відмови або несправності підлягають заміні справними.

Для відновлюваних об'єктів перехід з основного (працездатного) стану в граничний стан визначається настанням моменту, коли подальша експлуатація об'єктів технічно неможлива або недоцільна з таких причин:

- 1) стає неможливим подальша підтримка його безпеки, безвідмовності або ефективності на мінімально допустимому рівні при технічному обслуговуванні;
- 2) в результаті фізичного зносу або морального старіння об'єкта.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 10

## Самостійна робота 2

### Показники надійності технічних систем.

#### Показники довговічності та збережуваності технічних виробів

Для невідновлювальних об'єктів довговічність кількісно оцінюється двома показниками: ресурсом та терміном служби.

Ресурс – сумарний наробіток об'єкта до відмови або стану, який визначений в технічній документації. Оскільки ресурс може бути випадковою величиною, то в якості показника довговічності застосовують середній ресурс  $T_p$  (математичне сподівання ресурсу).

Найбільш часто для оцінки довговічності застосовують гамма-відсотковий ресурс та позначений ресурс. Гамма-відсотковий ресурс  $T_{p\gamma}$  – сумарний наробіток, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану з імовірністю  $\gamma$ , вираженою у відсотках.

Призначений ресурс  $T_{p.n.}$  - сумарний наробіток, при досягненні якого експлуатацію об'єкту належить припинити незалежно від його технічного стану.

Термін служби – календарна тривалість експлуатації об'єкта від початку до переходу в граничний стан, який задається в технічній документації.

Термін служби – випадкова величина, а тому в якості показника терміну служби застосовують середній термін служби  $T_{сл}$  (математичне сподівання терміну служби).

На практиці найбільш часто в якості показників довговічності застосовують гамма-відсотковий термін служби або призначений термін служби. Гамма-відсотковий термін служби  $T_{сл\gamma}$  – календарна тривалість експлуатації об'єкта, протягом якої об'єкт не досягне граничного стану з імовірністю  $\gamma$ , вираженою у відсотках.

Призначений термін служби  $T_{сл.n.}$  – календарна тривалість експлуатації, при досягненні якої експлуатацію об'єкта належить припинити незалежно від його технічного стану.

Для невідновлюваних об'єктів одноразового застосування, для яких основним періодом експлуатації являється період зберігання, надійність об'єктів кількісно оцінюється показниками збережуваності.

В якості показників збережуваності застосовуються:

#### **1. Імовірність безвідмовної збережуваності**

Імовірність безвідмовної збережуваності  $P_{36}(t)$  – імовірність того, що в заданому інтервалі часу  $t_{36}$  при даних умовах зберігання або транспортування не відбудеться ні одна відмова.

Імовірнісне визначення:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 11

$$P_{зб}(t) = P\{T_{зб} > t_{зб}\} = \int_{t_{зб}}^{\infty} f_{зб}(t) dt, \quad (2.1)$$

де  $T_{зб}$  – середній термін збережуваності,  $f_{зб}(t)$  – щільність розподілу випадкового терміну збережуваності  $T_{зб}$ .

На практиці найбільш часто для характеристики збережуваності застосовують: середній термін збережуваності, гамма-відсотковий термін збережуваності.

## 2. Середній термін збережуваності

Середній термін збережуваності  $T_{зб}$ . – це математичне сподівання терміну збережуваності.

Імовірнісне визначення:

$$T_{зб} = MT_{зб} = \int_0^{\infty} t f_{зб}(t) dt = \int_0^{\infty} P_{зб}(t) dt. \quad (2.2)$$

У випадку, коли об'єкт зберігається без профілактичного обслуговування на протязі часу  $t_{зб}$ . (перевірка працездатності здійснюється тільки після терміну зберігання), статистичне значення  $T_{зб}^*$  визначається за формулою:

$$T_{зб}^* = \frac{n_0 t_{зб}}{r}, \quad (2.3)$$

де  $t_{зб}$  – час зберігання об'єкта;  $r$  – кількість екземплярів об'єктів, які відмовили за час  $t_{зб}$ ;  $n_0$  – кількість екземплярів об'єктів, поставлених на зберігання.

У випадку зберігання об'єктів з технічним обслуговуванням (під час зберігання об'єкти періодично перевіряються на працездатність) статистичне значення  $T_{зб}^*$  визначається за формулою:

$$T_{зб}^* = \frac{n_0 \sum_{i=1}^m t_{збi}}{r_i}, \quad (2.4)$$

де  $r_i$  - кількість екземплярів об'єктів із числа  $n_0$ , що відмовили за час зберігання  $t_{збi}$ , тобто за час між  $(i-1)$ -ю та  $i$ -ю перевірками об'єктів;  $m$  – кількість циклів зберігання, по завершенні яких проводиться перевірка

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 12

працездатності всіх екземплярів об'єктів;  $n_0$  – загальна кількість екземплярів об'єктів, що підлягають зберіганню та перевірці при зберіганні.

Отже, довговічність невідновлюваних виробів, для яких зберігання та транспортування являються невід'ємною частиною експлуатації, необхідно ототожнювати не тільки з безвідмовністю, а також із збережуваністю.

Для відновлюваних об'єктів довговічність являє собою властивість зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування, ремонтів тощо. В якості показників довговічності відновлюваних об'єктів застосовують ресурс і термін служби, але ці показники можуть мати інші визначення ніж для невідновлюваних об'єктів.

В даному випадку ресурс являє собою сумарний наробіток об'єкта від початку його експлуатації чи поновлення після ремонту до переходу в граничний стан. При цьому для характеристики довговічності застосовують наступні показники: середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс та призначений ресурс.

Середній ресурс  $T_p$  – математичне сподівання ресурсу.  
Середній ресурс визначається виразом:

$$T_p = MT_p = \int_0^{\infty} t f_p(t) dt, \quad (2.5)$$

де  $f_p(t)$  – щільність розподілу ресурсу.

Гамма-відсотковий ресурс  $T_{p\gamma}$  – сумарне напрацювання, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану з імовірністю  $\gamma$ , вираженою у відсотках

$$T_{p\gamma} = \int_{T_{p\gamma}}^{\infty} t f_p(t) dt = \frac{\gamma}{100}. \quad (2.6)$$

Гамма-відсотковий ресурс - це ресурс, який має переважна більшість (як правило, не менше 90%) об'єктів, що експлуатуються.

Призначений ресурс  $T_{pn}$  – це сумарний наробіток, при досягненні якого експлуатацію об'єкта припиняють незалежно від його технічного стану.

Термін служби відновлюваних об'єктів визначається календарною тривалістю експлуатації об'єкту від початку або її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

В якості показників терміну служби застосовують: середній термін служби  $T_{сл}$ , гамма-відсотковий термін служби  $T_{сл\gamma}$ , призначений термін служби  $T_{сл.п}$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 13

Середній термін служби  $T_{сл}$  – це математичне сподівання терміну служби

$$T_{сл} = \int_0^{\infty} f_{сл}(t) dt.$$

Гамма-відсотковий термін служби

$$T_{сл\gamma} = \int_{T_{сл\gamma}}^{\infty} f_{сл}(t) dt = \frac{\gamma}{100},$$

де  $f_{сл}(t)$  – щільність розподілу терміну служби.

Термін збережуваності відновлюваних об'єктів визначається календарною тривалістю зберігання та транспортування об'єктів, протягом якої значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, перебувають у заданих межах.

Показники довговічності для відновлюваних виробів чисельно, як правило, значно перевищують показники довговічності невідновлюваних виробів. Слід відмітити, що показники довговічності, як правило, не розраховуються, а призначаються з врахуванням досвіду експлуатації аналогічних типів виробів та економічних факторів. В деяких випадках такі показники, як гамма-відсотковий ресурс, середній термін служби можуть бути визначені в результаті випробовувань виробів.

Слід, однак, відмітити, що довговічність для відновлюваних виробів має деяку відмінність від надійності. Справа в тому, що виріб може бути довговічним, але не надійним, і навпаки.

Таким чином, надійність і довговічність для відновлюваних виробів поняття далеко не ідентичні, оскільки вони відображають різні властивості якості виробу.

Забезпечення надійності та довговічності виробів являється комплексною задачею, яка вирішується на всіх стадіях їх створення та існування при допомозі системи управління надійністю і якістю виробів.

На приведеному нижче графіку (рис. 2.1) 90% строк збережності об'єктів відповідає  $t_1$ , а середній строк збережності рівний  $t_2$ . При зберіганні протягом строку  $t_3$  виходить з ладу 80% об'єктів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 14

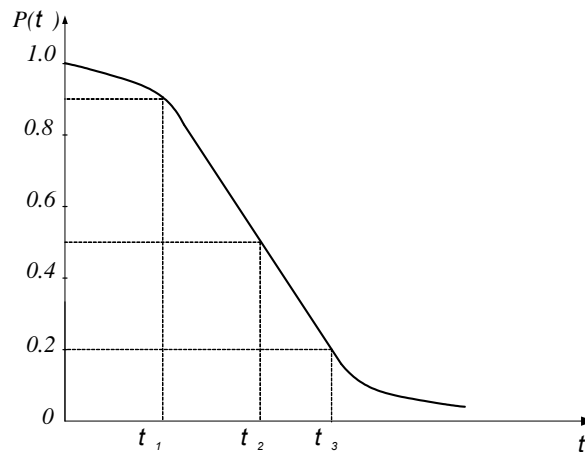


Рис. 2.1. Визначення гамма-відсоткового строку збережності

Слід розрізняти збережність технічного об'єкта до введення в експлуатацію та збережність об'єкта в період експлуатації. У другому випадку термін збережності входить як складова частина в термін служби.

Гамма-відсотковий (іноді й середній) термін збережності вказують у технічній документації.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 15

### Самостійна робота 3

#### Інженерні методи забезпечення надійності технічних систем. Матричний метод розрахунку надійності пристроїв

Під час роботи технічних пристроїв мають місце випадки, коли відмова елементів пристрою призводить до зміни режиму роботи решти зв'язаних з ним елементів, і, як наслідок, викликає зміну характеристик надійності цих елементів. Так, електричний пробій транзистора в схемі підсилювача викликає зміну струму в колі схеми, в наслідок чого змінюються коефіцієнти електричного навантаження окремих елементів підсилювача, тим самим знижується їх надійність. В таких випадках при визначенні надійності пристроїв необхідно враховувати можливі наслідки відмов, тобто вплив відмов на інтенсивність відмов інших елементів, що залишаються працездатними після появи відмови. Для розв'язку даної задачі використовують матричний метод.

Сутність методу полягає в тому, що для визначення імовірності безвідмовної роботи пристрою (системи) з урахуванням наслідків від раптових відмов складається матриця всіх можливих несумісних подій  $x_1, x_2, \dots, x_N$ , після чого підраховують імовірності всіх цих подій  $P(H_j)$ .

Складаючи імовірності сприятливих (система працездатна) подій, визначають імовірність безвідмовної роботи системи на протязі часу  $t$ .

Як приклад розрахунку надійності системи матричним методом розглянемо пристрій, що складається з  $N$  елементів. Для цього випадку імовірність виникнення усіх можливих несумісних подій (безвідмовна робота або відмова одного або декількох елементів) для пристрою може бути представлена у вигляді матриці:

$$\begin{array}{l|cccccccc}
 H_0 & x_1 & x_2 & \dots & x_\alpha & \dots & x_\beta & \dots & x_N \\
 H_1 & x_1 & x_2 & \dots & x_\alpha & \dots & x_\beta & \dots & x_N \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 H_N & x_1 & x_2 & \dots & x_\alpha & \dots & x_\beta & \dots & x_N \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 H_{\alpha,\beta} & x_1 & x_2 & \dots & x_\alpha & \dots & x_\beta & \dots & x_N \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 H_{1,2,\dots,N} & x_1 & x_2 & \dots & x_\alpha & \dots & x_\beta & \dots & x_N
 \end{array}$$

В даній матриці було використано наступні позначення:  $x_i$  – стан  $i$ -го елемента;  $\bar{x}_i$  – стан, коли  $i$ -й елемент відмовив;  $H_0$  – гіпотеза, полягає в тому, що усі елементи справні;  $H_1$  – гіпотеза, що 1-й елемент відмовив;  $H_{\alpha,\beta}$  –

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 16

гіпотеза, що відмовили елементи  $\alpha$  та  $\beta$ , причому спочатку відмовив елемент  $\alpha$ , а потім –  $\beta$ .

Оскільки матриця утворює повну групу несумісних події, то дані події можна розглядати як гіпотези. Серед гіпотез матриці можуть бути сприятливі, коли пристрій працездатний, незважаючи на відмову елементів, та несприятливі, коли пристрій непрацездатний.

Сума імовірностей всіх гіпотез:

$$\sum_{j=0}^N P(H_j) = 1. \quad (3.1)$$

Сума імовірностей сприятливих гіпотез визначає імовірність безвідмовної роботи на протязі часу :

$$P(t) = \sum_{j=0}^{N_1} P(H_j), \quad (3.2)$$

де  $N_1$  – кількість сприятливих гіпотез.

Імовірність гіпотези, коли пристрій знаходиться в працездатному стані (відмови елементів відсутні) визначається добутком імовірностей безвідмовної роботи всіх елементів пристрою:

$$P(H_0) = \prod_{j=1}^N P_j(t). \quad (3.3)$$

Імовірність решти гіпотез визначається за формулою повної імовірності, тобто через умовні імовірності часткових подій:

$$P(X) = \sum_{j=1}^N P(H_j)P(X/H_j), \quad (3.4)$$

де  $P(X)$  – імовірність виникнення події  $X$  (безвідмовна робота або відмова одного чи декількох елементів);  $P(X/H_j)$  – умовна імовірність події  $X$  при гіпотезі  $H_j$ .

Нижче наведено без виведення формулу для розрахунку надійності елемента  $\bar{x}_2$  :

$$P(H_2) = \frac{\lambda_2 (e^{-t \sum_{v=1}^N \lambda_v^{(\alpha)}} - e^{-t \sum_{i=1}^N \lambda_i})}{\sum_{i=1}^N \lambda_i - \sum_{v=1}^N \lambda_v^{(\alpha)}}, \quad (3.5)$$

де  $v \neq \alpha$ ,  $\lambda_v^{(\alpha)}$  – зміна інтенсивності.

Отже, для того, щоб виконати розрахунок надійності за допомогою матричного методу, необхідно знати інтенсивності відмов елементів  $\lambda_i$  при

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	<i>Випуск 2</i>	<i>Зміни 0</i>	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 57 / 17</i>

нормальних режимах роботи пристрою та їх зміни, які викликаються зміною режимів за рахунок відмов різних елементів.

Цінність матричного методу розрахунку надійності полягає в тому, що цей метод не вносить ніяких обмежень на структуру пристрою та способи з'єднання елементів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 18

## Самостійна робота 4

### Оцінки показників надійності технічних систем. Оптимальний спосіб резервування

Для забезпечення потрібного рівня надійності при проектуванні технічних пристроїв використовують різні методи резервування. Проте використовуючи резервування, ставиться задача не тільки забезпечити потрібний рівень надійності пристрою, але й вирішити цю задачу з найменшими витратами на резервні елементи і для пристроїв в цілому.

На практиці часто трапляються випадки, коли потрібно забезпечити заданий рівень надійності пристрою при наявності певних конструктивних та інших обмежень. Наприклад, за зовнішніми габаритами, масою, споживчою потужністю, вартістю тощо.

При наявності одного обмежувального фактора розрізняють два види задач оптимального резервування, які формулюються наступним чином.

Задача першого виду:

◆ визначення при роздільному резервуванні технічної системи, що складається з  $n$  частин, необхідну кількість резервних елементів, що забезпечують задане значення показника надійності системи при мінімальній вартості резерву в цілому.

Задача другого виду:

◆ визначення при окремому резервуванні системи, що складається з  $n$  частин, необхідну кількість резервних елементів, що забезпечують максимально можливе значення показника надійності системи, щоб вартість всього резерву не перевищувала заданого значення.

Розв'язок подібного типу задач базується на методах оптимізації. Зрозуміло, що матеріальні затрати на резервування, перш за все визначаються кількістю резервних елементів.

В сучасних електронних системах при активному резервуванні використовують автоматичні перемикачі, які дозволяють значно зменшити час вмикання резервних елементів.

Відомо, що при збільшенні числа частин резервування при роздільному способі резервування ймовірність відмови системи зменшується. Але при великій кількості частин резервування відмови системи починають зростати з причини відмов перемикальних пристроїв. Це пов'язане з тим, що контрольно-вимірювальні пристрої, які працюють з сумісно резервною системою як єдине ціле, також технічно складні, як і сама система, працездатність якої вони контролюють. Тому відмови системи можуть відбуватися з вини перемикальних пристроїв.

Розглянемо наступну задачу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 19

Маємо технічну систему, в якій повинно бути застосоване активне резервування. Необхідно визначити оптимальну кількість частин резервування, на яке повинна бути розділена основна (нерезервована) система, що має імовірність відмови  $Q_n(t)$ , щоб отримати більш надійну систему, якщо надійність перемикачів  $q_n(t)$  і число резервних елементів в кожній частині  $k$ .

На рис. 4.1 зображена логічна схема системи з активним резервуванням. Для визначення оптимальної кількості частин резервування вважаємо, що система може бути розділена на  $n$  ділянок з однаковою надійністю. При цьому основні та резервні елементи будуть знаходитись в однакових робочих умовах.

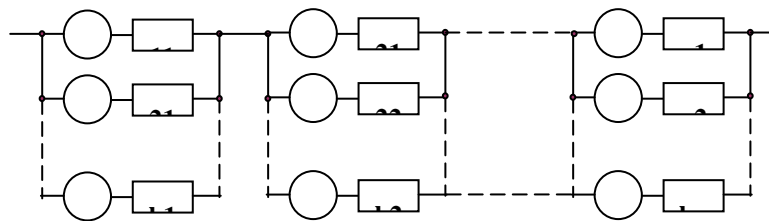


Рис.4.1. Логічна схема системи з активним резервуванням:  $1, 2, \dots, n$  - основні та резервні елементи;  $\Pi$  – перемикачі,  $n$  – кількість ділянок резервування;  $k$  - кількість резервних елементів.

В цьому випадку імовірність відмови частини системи з урахуванням ненадійності перемикачів визначається з виразу:

$$1 - Q_n(t) = \prod_{i=1}^n [1 - q_{ni}(t)] [1 - q_{di}(t)],$$

Звідки

$$q_d(t) = 1 - [1 - q_n(t)] [1 - Q_n(t)]^{1/n}.$$

Імовірність відмови резервованого вузла сумісно з резервними елементами визначається наступним виразом:

$$q_{вуз}(t) = [1 - (1 - q_n(t))(1 - Q_n(t))^{1/n}]^{k+1}.$$

Імовірність відмови резервованої системи в цілому:

$$Q_{cp}(t) = \{1 - [1 - (1 - q_n(t))(1 - Q_n(t))^{1/n}]^{k+1}\}^n, \quad (4.1)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 20

Подальші досліді проведемо для технічних систем, у яких імовірність відмови  $Q_n(t) \ll 1$  та  $q_n(t) \ll 1$ , тобто систем короткочасної дії.

Розклавши праву частину рівняння (4.1) по  $\frac{1}{n}$  та  $n$ , потім перемноживши вирази в круглих дужках та відкинувши члени вищих порядків малості, отримаємо наближено:

$$Q_{cp}(t) \approx n(q_n(t) + \frac{Q_n(t)}{n})^{k+1}.$$

Дослідимо функцію  $Q_{cp}(t)$  на максимум та мінімум відносно величини  $n$ , вважаючи, що  $n$  - величина неперервна.

Розв'язуючи рівняння:

$$\frac{dQ_{cp}(t)}{dn} = \frac{d}{dn} [ n(q_n(t) + \frac{Q_n(t)}{n}) ]^{k+1} = (q_n(t) + \frac{Q_n(t)}{n}) - (k+1) \frac{Q_n(t)}{n^2} (q_n(t) + \frac{Q_n(t)}{n})^k = 0,$$

знаходимо значення  $n_{opt}$ , при якому імовірність відмови резервованої системи є мінімальною:

$$n_{opt} = \frac{kQ_n(t)}{q_n(t)}. \quad (4.2)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 21

## Самостійна робота 5

### Перевірка відповідності показників надійності технічних систем технічним умовам. Методи оцінки надійності систем зі складною структурою

Існує ряд систем, що складаються з множини елементів, для яких відмова системи залежить не тільки від кількості елементів, але і від місця розташування цих елементів в структурній (логічній) схемі.

Як приклад таких систем можна навести схему на рис. 5.1.

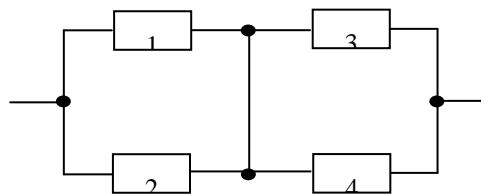


Рис 5.1. Паралельно-послідовне з'єднання елементів

Система відмовляє, якщо відмовлять елементи 1 і 2. Якщо відмовлять елементи 1 і 3 або 2 і 4, то система залишиться працездатною.

Критерієм оцінки складності систем є рівність:

$$\begin{aligned} K_{\max} + 1 &= K_{\min} - \text{для простих систем;} \\ K_{\max} + 1 &\neq K_{\min} - \text{для складаних систем,} \end{aligned} \quad (5.1)$$

де  $K_{\max}$  - максимальна кількість елементів, при відмові яких система залишається працездатною;  $K_{\min}$  - мінімальна кількість елементів, при відмові яких система стає непрацездатною.

Для системи з послідовним з'єднанням елементів, коли відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи, значення коефіцієнтів  $K_{\max} = 0$  і  $K_{\min} = 1$ . Таким чином, критерій (5.1) дотримується. Отже, така система є простою.

Для системи (рис. 5.1) значення коефіцієнтів  $K_{\max} = 2$  і  $K_{\min} = 2$ . Як бачимо, критерій (5.1) не дотримується. З цього випливає, що система є складною.

Складні системи бувають із послідовно-паралельним з'єднанням елементів, з'єднанням типу трикутник і зірка та перехресним з'єднанням.

Існує багато різних методів оцінки надійності складних систем. У загальному випадку порядок оцінки надійності такий.

Якщо система складається з  $n$  елементів, то кількість станів системи визначається кількістю станів її елементів. Оскільки елементи системи можуть

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 22

знаходитися в одному з двох можливих станів (працездатному або непрацездатному), то кількість можливих станів, в яких вона може знаходитися, дорівнює  $2^n$ .

Таким чином, вся множина станів системи розподіляється на дві множини: працездатну та непрацездатну. Визначаючи імовірності перебування системи в працездатному стані та сумуючи їх, визначають імовірність безвідмовної роботи складної системи.

Проте такий метод оцінки має свої труднощі, які пов'язані з визначенням працездатного і непрацездатного станів елементів складної системи.

У зв'язку з цим використовують метод перетворення системи зі складною структурою в більш прості, для яких відомі аналітичні вирази для розрахунку надійності.

Розглянемо методи розрахунку надійності системи зі складною структурою без відновлення.

### Метод згортки

Даний метод заснований на послідовному перетворенні складної структури системи в просту, тобто до послідовного з'єднання елементів.

Як приклад застосування цього методу розглянемо систему (рис 5.2). Нехай імовірність безвідмовної роботи елементів  $P_i$ . Необхідно визначити імовірність безвідмовної роботи  $P_c$  системи.

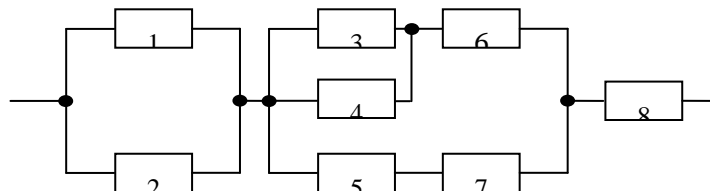


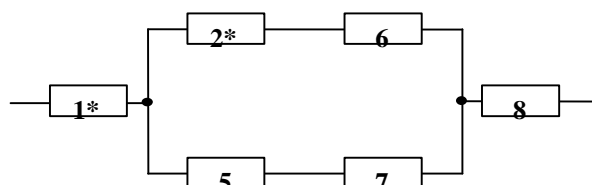
Рис. 5.2. Паралельно-послідовне з'єднання елементів

Розрахунок надійності проводимо поетапно:

1) заміняємо всі паралельні з'єднання елементів системи еквівалентними елементами. Такими паралельними з'єднаннями в схемі (рис. 5.2 ) є елементи 1 і 2, 3 і 4.

Після перетворення схема прийме вигляд, зображений на рис. 5.3.

Імовірність безвідмовної роботи кожної групи елементів визначається за формулами:



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 23

Рис. 5.3. Вигляд схеми після першого перетворювання формулами

$$P_{1-2} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2) = P_{1^*};$$

$$P_{3-4} = 1 - (1 - P_3)(1 - P_4) = P_{2^*};$$

2) заміняємо всі послідовні з'єднання елементів еквівалентними з'єднаннями. В схемі (рис 5.3) такими послідовними з'єднаннями є елементи 2\* і 6, 5 і 7. Після перетворення схема прийме вигляд, зображений на рис 5.4.

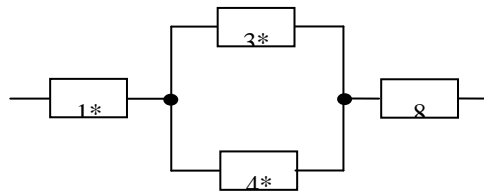


Рис. 5.4. Вигляд схеми після другого перетворення

Імовірність безвідмовної роботи групи з послідовним з'єднанням елементів визначається за формулами:

$$P_{3^*} = P_2 P_5 = [1 - (1 - P_3)(1 - P_4)] P_5;$$

$$P_{4^*} = P_5 P_7;$$

3) заміняємо паралельне з'єднання елементів еквівалентними елементами. В схемі (рис 5.4) таким з'єднанням є елементи 3\* і 4\*. Після перетворення схема має вигляд, зображений на рис. 5.5

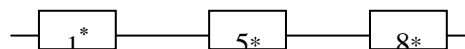


Рис. 5.5. Вид схеми після третього перетворення

Імовірність безвідмовної роботи групи з паралельним з'єднанням елементів визначається за формулою:

$$P_{3^*-4^*} = 1 - (1 - P_{3^*})(1 - P_{4^*}) =$$

$$= \{1 - \{1 - [1 - (1 - P_1)(1 - P_2)] P_6\}\} (1 - P_5 P_7) = P_{5^*}.$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 24

Таким чином, в результаті перетворень схеми (рис. 5.2), отримана схема з послідовним з'єднанням елементів;

4) імовірність безвідмовної роботи системи з послідовним з'єднанням елементів визначаємо за формулою:

$$P_c = P_1 \cdot P_5 \cdot P_8 = [1 - (1 - P_1)(1 - P_2)] \times \\ \times \{1 - \{1 - [1 - (1 - P_1)(1 - P_2)]P_6\}\}(1 - P_5 P_7)P_8.$$

### Метод прямого перебору станів

Багато систем, що складаються з множини функціональних елементів, мають таке структурне з'єднання елементів, яке, у випадку оцінки надійності, не може бути зведено ні до паралельно-послідовної, ні до послідовно-паралельної схеми. На практиці подібні системи є в системах зв'язку, інформаційних системах, системах живлення літаків тощо.

У якості прикладу таких систем можна віднести мостову схему, зображену на рис. 5.6.

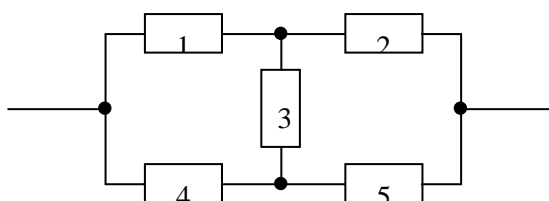


Рис. 5.6. Мостова схема

Методи оцінки показників надійності складаних систем дуже специфічні. Як приклад оцінки надійності подібних систем розглянемо розрахунок надійності схеми (рис. 5.6) за методом прямого перебору станів.

Нехай схема складається з ідентичних елементів, кожний з яких характеризується імовірністю безвідмовної роботи  $P_i$ .

Розглянемо усі можливі стани схеми, в яких вона може знаходитися у будь-який момент часу:

$H_0$  - усі елементи працездатні;

$H_i$  - відмовив  $i$ -й елемент, інші елементи працездатні;

$H_{i,j}$  - відмовили  $i$ -й і  $j$ -й елементи, інші елементи працездатні;

$H_{1,2,\dots,n}$  - відмовили всі елементи схеми.

Вся множина можливих станів може бути подана двома множинами станів елементів, що не перетинаються, які відповідають працездатному або непрацездатному станам.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 25

Визначимо множину можливих станів елементів схеми, при яких мостова схема зберігає працездатність. Для цього складемо таблицю можливих станів елементів за рис. 5.6.

Вважаємо, що відмови елементів є подіями незалежними і без наслідку.

У табл. 5.1 застосовані такі позначення:  $x_i = 1$  означає, що  $i$ -й елемент працездатний, а  $x_i = 0$  - що він непрацездатний.

При незалежних відмовах імовірність кожного стану визначається добутком імовірностей перебування елементів у відповідних станах.

Імовірність працездатного стану мостової схеми визначається виразом:

$$P = \sum_{j=1}^m \prod_{l_j} P_{l_j} \cdot \prod_{k_j} q_{k_j}, \quad (5.2)$$

де  $m$  - загальна кількість працездатних станів.

$l_j$  - кількість справних елементів в  $j$ -му стані схеми;  $k_j$  - кількість елементів, що відмовили, в  $j$ -му стані схеми.

Для схеми (рис 5.6) імовірність безвідмовної роботи за заданий час  $t$  визначається виразом:

$$P(t) = \sum_{j=1}^{16} \prod_{l_j} p_{l_j}(t) \cdot \prod_{k_j} q_{k_j}(t) = p^5(t) + 5 \cdot q(t) \cdot p^4(t) + 8 \cdot q^2(t) \cdot p^3(t) + 2 \cdot q^3(t) \cdot p^2(t).$$

Таблиця 5.1

Індекс Стану	Стан елементів					Імовірність стану
	1	2	3	4	5	
<b>J</b>	1	2	3	4	5	$p_j$
0	1	1	1	1	1	$p^5$
1	0	1	1	1	1	$qp^4$
2	1	0	1	1	1	$qp^4$
3	1	1	0	1	1	$qp^4$
4	1	1	1	0	1	$qp^4$
5	1	1	1	1	0	$qp^4$
6	0	1	0	1	1	$q^2p^3$
7	0	1	1	0	1	$q^2p^3$
8	0	1	1	1	0	$q^2p^3$
9	1	0	0	1	1	$q^2p^3$
10	1	0	1	0	1	$q^2p^3$
11	1	0	1	1	0	$q^2p^3$
12	1	1	0	1	0	$q^2p^3$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ			Ф-20.10-	
	ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»			05.01/141.00.1/Б/	
	Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			ОК24-2025	
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 26	

13	1	1	1	0	0	$q^2 p^3$
14	0	1	0	0	1	$q^2 p^3$
15	1	0	0	1	0	$q^2 p^3$

Вважаючи, що всі елементи однакової надійності з  $P(t)=0,9$ , то при  $t=10$  годинам імовірність безвідмовної роботи схеми буде складати:

$$P(t)=0,978.$$

Слід зазначити, що застосування методу перебору станів при оцінці надійності систем зі складною структурою являє собою трудомісткий процес.

### Метод мінімальних шляхів і перетинів

При оцінці надійності систем зі складною структурою використовується метод мінімальних шляхів і перетинів. Цей метод оцінки є наближеним.

Наведемо пояснення деяких понять, які використовуються в даному методі:

♦ **мінімальним шляхом** у складній структурі називається мінімальний набір працездатних елементів, виключання будь-якого з яких (тобто відмова) переводить систему з працездатного стану в непрацездатний;

♦ **мінімальним перетином** у складній структурі називається мінімальний набір непрацездатних елементів, відновлення будь-якого з яких переводить систему з непрацездатного стану в працездатний.

У системи зі складною структурою може бути декілька мінімальних шляхів і перетинів. Паралельне з'єднання з  $n$  елементів має  $n$  мінімальних шляхів, що проходять через кожний елемент, і всього один мінімальний перетин. Послідовне з'єднання з  $n$  елементів має  $n$  мінімальних перетинів, які проходять через кожний елемент, і всього один мінімальний шлях.

Якщо в системі з довільною структурою позначити  $j$ -й мінімальний шлях через  $\alpha_j (j = \overline{1, n_\alpha})$ , а кількість мінімальних перетинів через  $\beta_k (k = \overline{1, n_\beta})$ , то верхня та нижня оцінки для імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  системи за заданий час  $t$  запишуться так

$$\prod_{k=1}^{n_\beta} \left[ 1 - \prod_{i \in \beta_k} (1 - P_i(t)) \right] \leq P(t) \leq \prod_{i=1}^{n_\alpha} \left[ 1 - \prod_{i \in \alpha_i} (1 - P_i(t)) \right] \quad (5.3)$$

Таким чином, при безвідмовній роботі паралельно ввімкнених послідовних ланцюгів, які складаються з елементів шляхів, одержують граничну верхню оцінку для імовірності безвідмовної роботи системи даної структури.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміна 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 27

При безвідмовній роботі послідовно ввімкнених паралельних ланцюгів, які складаються з елементів даного перетину, одержують граничну нижню оцінку для імовірності безвідмовної роботи системи даної структури.

Якщо імовірність безвідмовної роботи  $i$ -го елемента системи є експоненційною функцією, тобто  $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ , то, інтегруючи праву частину нерівності, можна одержати верхню оцінку для середнього часу наробітку до відмови системи:

$$T \leq \sum_{i \leq j \leq n_a} T_{a_j} - \sum_{1 \leq j < k \leq n_a} \frac{1}{\Lambda_{a_j} + \Lambda_{a_k}} + \sum_{1 \leq j < k < l \leq n_a} \frac{1}{\Lambda_{a_j} + \Lambda_{a_k} + \Lambda_{a_l}} + (-1)^{n_a+1} \frac{1}{\sum_{1 \leq j \leq n_a} \Lambda_{a_j}},$$

де  $T_{a_j} = \frac{1}{\sum_{j \in a_j} \Lambda_{a_j}}$  - середній час наробітку до відмови  $j$ -го шляху;

$$\Lambda_{a_j} = \frac{1}{T_{a_j}}.$$

Як приклад застосування даного методу при оцінці надійності розглянемо схему (рис 5.6).

Для мостової схеми набір мінімальних шляхів зображено на рис. 5.7.

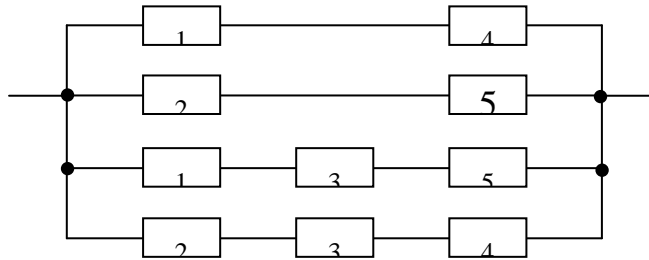
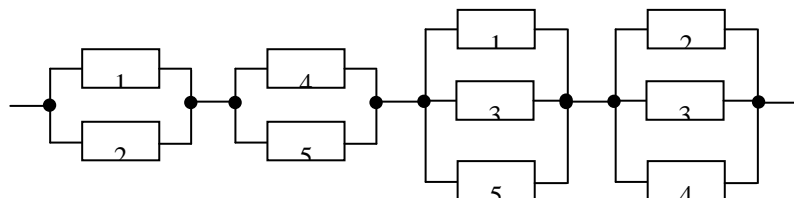


Рис. 5.7. Набір мінімальних шляхів

Оскільки один і той самий елемент включається в два паралельних шляхи, то в результаті розрахунку одержимо верхню оцінку для імовірності безвідмовної роботи за час  $t$ :

$$P_a(t) = 1 - (1 - p_1 p_4)(1 - p_2 p_5)(1 - p_1 p_3 p_5)(1 - p_2 p_3 p_4).$$

Набір мінімальних перетинів для цієї схеми зображено на рис. 5.8.



Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 28

Рис 5.8. Набір мінімальних перетинів

Оскільки той самий елемент включається в два перетини, то одержимо нижню оцінку для імовірності безвідмовної роботи за час  $t$ :

$$P_p(t) = (1 - q_1 q_2)(1 - q_5 q_4)(1 - q_1 q_3 q_5)(1 - q_2 q_3 q_4).$$

Якщо прийняти, що  $p_1 = p_2 = p_3 = \dots = p_5 = p$  і  $q = 1 - p$ , то верхня і нижня оцінки запишуться у вигляді:

$$(1 - q^2)^2 (1 - q^3)^2 < P < 1 - (1 - p^2)^2 (1 - p^3)^2.$$

Визначимо верхню і нижню оцінки для імовірності безвідмовної роботи мостової схеми, коли всі елементи цієї схеми характеризуються імовірністю безвідмовної роботи  $P(t) = e^{-\lambda t}$  з параметром  $\lambda = 0.01 \text{ 1/год}$ . Оцінку імовірності безвідмовної роботи схеми визначимо для  $t = 10$  год.

Підставляючи числові дані в формулу (5.3), отримаємо:

$$0,978 \leq P \leq 0,997$$

Таким чином, застосовуючи метод мінімальних шляхів і перетинів для оцінки надійності системи, можна перетворити будь-яку структуру системи в структуру з послідовно-паралельним з'єднанням або паралельно-послідовним з'єднанням елементів.

### Метод перетворення складної структури щодо особливого елемента

Для оцінки надійності систем із складною структурою використовують метод перетворення структури системи відносно особливого елемента. Метод заснований на використанні формули повної імовірності. Для цього в структурі системи виділяють особливий елемент, потім розглядають усі можливі його несумісні стани  $H_j$ , що утворюють повну групу, тобто:

$$\sum_{j=1}^n P(H_j) = 1. \quad (5.4)$$

Якщо стан системи  $X$ , то імовірність його реалізації визначається за формулою:

$$P(X) = \sum_{j=1}^n P(H_j) \cdot P(X/H_j), \quad (5.5)$$

де  $P(X/H_j)$  - умовна імовірність стана  $X$  за умови, що особливий елемент знаходиться в стані  $H_j$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 29

Якщо в якості стану особливого елемента розглядати стан, коли він справний або несправний (відмовив), то вираз для визначення імовірності безвідмовної роботи системи за час  $t$  при використанні формули повної імовірності (5.5) буде мати вигляд:

$$P(t) = p_i \cdot P(x_i = 1) + q_i \cdot P(x_i = 0), \quad (5.6)$$

де  $P(x_i = 1)$  - імовірність працездатного стану системи за умови, що  $i$ -й елемент абсолютно надійний, а  $P(x_i = 0)$  - імовірність працездатного стану системи за умови, що  $i$ -й елемент відмовив.

Розглянемо приклад застосування даного методу при оцінці надійності мостової схеми (рис 5.6). В якості особливого елемента виділимо елемент 3. Позначимо його через  $x_3$ . Розглянемо усі можливі стани, в яких він може знаходитися протягом часу  $t$ :

$H_0$  - стан, коли елемент 3 абсолютно надійний, тобто  $x_3 = 1$ . В цьому випадку мостова схема перетвориться в паралельно-послідовне з'єднання (рис 5.9, а).

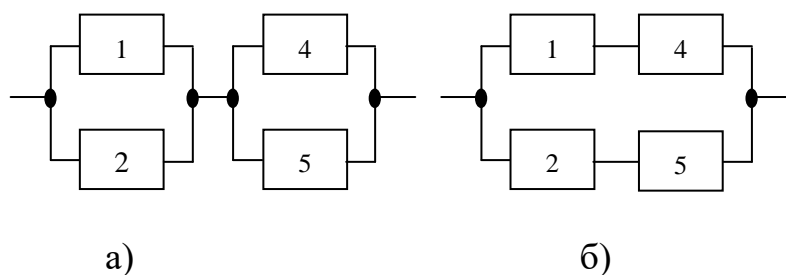


Рис 5.9. Вид мостової схеми після перетворення:

- а) паралельно-послідовне з'єднання елементів ( $x_3 = 1$ );
- б) послідовно-паралельне з'єднання елементів ( $x_3 = 0$ ).

Імовірність безвідмовної роботи системи з таким з'єднанням елементів визначається виразом:

$$P(x_3 = 1) = (1 - q_1 q_2)(1 - q_4 q_5), \quad (5.7)$$

$H_1$  - стан, коли елемент 3 відмовив, тобто  $x_3 = 0$  (обрив ланцюга). Схема (рис 5.6) в цьому випадку перетвориться в паралельно-послідовне з'єднання елементів (рис. 5.9,б).

Імовірність безвідмовної роботи системи з таким з'єднанням елементів визначається виразом:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 30

$$P(x_3 = 0) = (1 - p_1 p_2)(1 - p_4 p_5), \quad (5.8)$$

Остаточню маємо:

$$P(t) = p_3(1 - q_1 q_2)(1 - q_4 q_5) + q_3 [1 - (1 - p_1 p_2)(1 - p_4 p_5)].$$

У випадку, якщо елементи схеми ідентичні, то вираз для  $P(t)$  має вигляд:

$$P(t) = p(1 - q^2)^2 + q[1 - (1 - p^2)^2]. \quad (5.9)$$

Таким чином, застосування методу розкладання щодо особливого елемента при оцінці надійності систем зі складною структурою дозволяє спростити структурну схему надійності і звести її до паралельно-послідовного з'єднання елементів.

Даний метод розкладання функції  $P(X)$  можна використовувати щодо декількох елементів. Так, для випадку розкладання функції по двох елементах маємо:

$$P(t) = p_i p_j P(x_i = 1, x_j = 1) + p_i q_j P(x_i = 1, x_j = 0) + q_i p_j P(x_i = 0, x_j = 1) + q_i q_j P(x_i = 0, x_j = 0) \dots \quad (5.10)$$

### Логіко-імовірнісні методи

Останнім часом широке застосування при аналізі надійності виробів (систем) одержав логіко-імовірнісний метод розрахунку надійності. Теоретичною основою цього методу є математична логіка (булева алгебра).

Відмінність цього методу від класичних методів розрахунку надійності полягає в тому, що математична модель надійності виробу описується за допомогою функцій алгебри логіки, тобто стан (працездатний або непрацездатний) виробу описується за допомогою логічних функцій. В цьому випадку такі функції приймають лише одне з двох можливих значень ( $F_n = 1$  або  $F_n = 0$ ). В свою чергу функції  $F_n$  визначаються різноманітним набором логічних змінних (аргументів)  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , що аналогічно функціям можуть приймати одне з двох можливих значень: **1** або **0**.

З  $n$  змінних може бути утворено  $2^n$  логічних функцій.

Логічні змінні  $x_1, x_2, \dots, x_n$  характеризують стан елементів системи, при цьому  $x_i = 1$  означає працездатний стан елемента, а  $x_i = 0$  - непрацездатний. Те ж саме відноситься до логічних функцій, що описують стан виробу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 31

Логічні функції утворюються за допомогою трьох основних логічних операцій: логічного заперечення  $\bar{x}$ , додавання (диз'юнкція) **АБО**, що позначається знаком “+” або “ $\vee$ ”, і множення (кон'юнкції) **І**, що позначається знаком “ $\cdot$ ” або “ $\wedge$ ”.

Логічні функції, що зв'язують стан виробу і стани його елементів, називають логічними функціями працездатності виробу (системи).

Функції працездатності можуть задаватися в словесній формі, таблицями істинності, алгебраїчними виразами або графіками.

Для упорядкування функції працездатності, спочатку аналізують особливості роботи виробу за допомогою логічної схеми надійності.

Після упорядкування функції працездатності переходять до упорядкування рівняння працездатності в алгебраїчній формі. При цьому використовують такі залежності:

$$\begin{aligned}x_1 \wedge x_2 &= x_1 \cdot x_2; \\x_1 \vee x_2 &= x_1 + x_2 - x_1 x_2; \\ \bar{x} &= 1 - x.\end{aligned}$$

При цьому враховують, що

$$x_1 \cdot x_2 = x_1.$$

В алгебраїчному рівнянні працездатності замість простих подій  $x_i$  підставляють імовірності цих подій  $p_i$  і потім обчислюють імовірність  $P_c(t)$  перебування виробу в працездатному стані протягом заданого інтервалу часу.

Як приклад розглянемо систему, що складається з трьох елементів (рис. 5.10).

Позначимо елементи 1, 2, 3 через  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  відповідно.

Функція працездатності буде мати вигляд:

$$F_n = x_1 \vee x_2 \vee x_3. \tag{5.11}$$

Рівняння працездатності в алгебраїчній формі має вигляд:

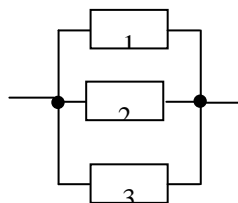


Рис.5.10. Логічна схема розрахунку надійності

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 32

$$F_a = x_1 + x_2 + x_3 - (x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3) + x_1x_2x_3. \quad (5.12)$$

Вираз для імовірності безвідмовної роботи системи за заданий час  $(0, t)$ :

$$P_c(t) = p_1 + p_2 + p_3 - (p_1p_2 + p_1p_3 + p_2p_3) + p_1p_2p_3.$$

Той самий вираз для  $P_c(t)$  можна одержати, якщо використовувати формулу для розрахунку надійності паралельного навантаженого з'єднання:

$$\begin{aligned} P_c(t) &= 1 - \prod_{j=1}^k (1 - p_j) = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3) \\ &= x_1 + x_2 + x_3 - (x_1x_2 + x_1x_3 + x_2x_3) + x_1x_2x_3. \end{aligned}$$

У випадку розрахунку надійності систем зі складною структурою, при складанні складної логічної функції працездатності системи таку функцію варто перетворити (мінімізувати) так, щоб вона містила мінімальне число членів, які повторюються.

Для мінімізації функцій рекомендуються такі формули математичної логіки:

- 1)  $x_1x_1 = x_1$ ;
- 2)  $x_1 \vee x_1 = x_1$ ;
- 3)  $x_1 \vee x_1x_2 = x_1$ ;
- 4)  $1 \vee x_1 = 1$ ;
- 5)  $(x_1 \vee \bar{x}_1) = 1$ ;
- 6)  $(x_1 \cdot x_2) \vee (x_1 \cdot \bar{x}_2) = x_1$ ;
- 7)  $x_1(x_1 \vee x_2) = x_1$ ;
- 8)  $(x_1 \vee x_2) \cdot (x_1 \vee x_3) = x_1 \vee x_2x_3$ ;
- 9)  $F_n(x_1, x_2, x_3, \dots) = x_1F_n(1, x_2, x_3, \dots) \vee \bar{x}_1F_n(0, x_2, x_3, \dots)$ .

1) Формула (9) розкладання логічної функції  $F_n$  по  $x_1$  на дві складові використовують тоді, коли всі інші формули (1-8) не дозволяють виключити зайві члени.

Таким чином, використання апарата математичної логіки дозволяє формалізувати умови працездатності (надійності) систем зі складною структурою і одержати відповідні формули для розрахунку надійності.

Послідовність розрахунку надійності таких систем така. Для одержання виразу (рівняння) для імовірності працездатного стану складної системи (виробу) необхідно:

- 1) сформулювати словесно умови працездатності системи;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 33

2) скласти логічну функцію працездатності  $F_n$  згідно формулювання про умову працездатності системи;

3) перетворити (в разі необхідності) логічну функцію працездатності, тобто мінімізувати і виключити зайві члени;

4) замінити в логічній функції працездатності логічні операції алгебраїчними, тобто одержати  $F_a$ ;

5) замінити в алгебраїчній функції працездатності прості події їхніми імовірностями;

6) в отриманому виразі, що встановлює зв'язок між імовірністю стану складної системи і імовірностями станів елементів системи, підставити числові значення імовірності станів елементів.

Вирішуючи отримане рівняння, визначають числове значення імовірності працездатного стану складної системи (виробу).

Як приклад розрахунку надійності розглянемо систему (тракт передачі даних), яка зображена на рис. 5.11.

Розглянемо умову працездатності системи (тракту):

1) система працездатна, якщо працездатні елементи 1 і 2 або 1, 3 і 5, або 4 і 5, або 4, 3 і 2;

2) запишемо логічну функцію працездатності системи за умовами словесного формулювання працездатності системи, в такий спосіб:

$$F_n = (x_1 \cdot x_2) \vee (x_1 \cdot x_3 \cdot x_5) \vee (x_4 \cdot x_5) \vee (x_4 \cdot x_3 \cdot x_2);$$

3) розкладемо функцію  $F_n$  з метою виключення зайвих членів:

$$F_n = x_3 \{ (x_1 \cdot x_2) \vee (x_1 \cdot x_5) \vee (x_4 \cdot x_5) \vee (x_4 \cdot x_2) \} \vee \bar{x}_3 \{ x_1 \cdot x_2 \vee x_4 \cdot x_5 \}$$

Спростимо вираз в перших фігурних дужках:

$$\begin{aligned} x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_5 \vee x_4 \cdot x_5 \vee x_4 \cdot x_2 &= x_1 (x_2 \vee x_5) \vee x_4 (x_5 \vee x_2) \\ &= (x_1 \vee x_4) (x_2 \vee x_5). \end{aligned}$$

Підставимо даний вираз в рівняння працездатності і одержимо:

$$F_n = x_3 (x_1 \vee x_4) (x_2 \vee x_5) \vee \bar{x}_3 (x_1 \cdot x_2 \vee x_4 \cdot x_5).$$

4) замінимо логічні операції алгебраїчними:

$$\begin{aligned} F_n &= x_3 \{ (x_1 + x_4 - x_1 x_4) (x_2 + x_5 - x_2 x_5) \} + \\ &+ (1 - x_3) (x_1 x_2 + x_4 x_5 - x_1 x_2 x_4 x_5) \end{aligned}$$

5) замінимо прості події  $x_1, x_2, x_3$  і  $x_4$  їхніми імовірностями і визначимо вираз імовірності працездатного стану мостової схеми:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 34

$$P_c(t) = p_3(p_1 + p_4 - p_1p_4)(p_2 + p_5 - p_2p_5) + (1 - p_3)(p_1p_2 + p_4p_5 - p_1p_2p_4p_5)$$

б) підставимо конкретні числові значення замість  $p_1, p_2, p_3$  і  $p_4$  та визначимо кількісне значення імовірності працездатного стану  $P_c(t)$  системи.

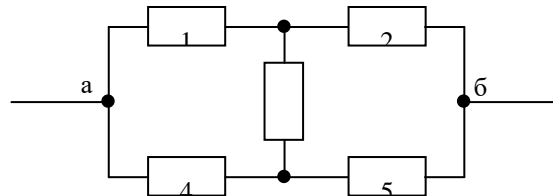


Рис. 5.11. Логічна схема складної системи для розрахунку надійності

До переваг логіко-імовірнісного методу розрахунку надійності систем варто віднести:

- 1) можливість застосування методу для оцінки надійності будь-якої системи;
- 2) можливість застосування методу при будь-яких законах розподілу наробітку до відмови.

До недоліків варто віднести:

- 1) складність в отриманні логічної функції працездатності системи, яка б точно відповідала аналізованій системі;
- 2) у випадку отримання складаних функцій працездатності при розрахунку систем із складною структурою перетворення таких функцій стає громіздким.

Проте, метод знаходить широке застосування при оцінці надійності складаних систем.

Застосування методу більш докладно викладене в [10].

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ			Ф-20.10-
	ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»			05.01/141.00.1/Б/
	Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 35

## Самостійна робота 6

### Методи забезпечення надійності технічних систем. Методи розрахунку надійності на стадії проєктування систем: вибір та обґрунтування показників надійності; вибір та обґрунтування технічного обслуговування; вибір необхідних методів розрахунку

#### Вибір та обґрунтування показників надійності

Однією з найважливіших задач на стадії проєктування є правильний вибір номенклатури нормованих показників надійності пристроїв. Необґрунтований вибір показників надійності може призвести до неправильних рішень при проєктуванні строю. Тому при виборі показника надійності необхідно враховувати:

- 1) призначення пристрою (системи);
- 2) умови та режими роботи пристрою (системи);
- 3) ремонтпридатність пристрою (системи).

Інформація про призначення пристрою дає можливість визначити область та інтенсивність його застосування по призначенню. Інформацію про умови та режими роботи пристрою використовують для оцінки впливу факторів зовнішнього середовища на працездатність пристрою, який проєктується, а також впливу діючих зовнішніх та внутрішніх навантажень на працездатність елементів пристрою.

Якщо відмова пристрою призводить до невиконання ним важливої задачі або порушує безпеку обслуговуючого персоналу, а також викликає загрозу для здоров'я та життя людей, які знаходяться в зоні дії пристрою, то для таких виробів основним показником надійності є безвідмовність, яка може задаватись у вигляді наробітку до відмови  $T_1$  (на відмову  $T_0$ ) або імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$ .

У випадку, коли за умовою застосування пристрою передбачається ремонт його в умовах експлуатації, то в якості одного із основних показників надійності слід вибрати коефіцієнт готовності  $K_r$  або коефіцієнт технічного використання  $K_{тв}$ .

Якщо в результаті простою пристрою після його відмови виникають великі матеріальні витрати, то такий пристрій в якості показника надійності повинен мати добру ремонтпридатність та високі показники безвідмовності.

Якщо пристрій за умовою експлуатації підлягає тривалому зберіганню перед застосуванням або він повинен транспортуватись на спеціальних транспортних засобах, то такий пристрій повинен мати високий показник збережаності згідно умов зберігання та транспортування.

Всі вище перераховані показники надійності пристрою (системи) повинні забезпечувати нормальне його функціонування протягом заданого терміну експлуатації. Для цього необхідно знайти визначальні параметри пристрою,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 36

застосувати відповідні датчики для їх контролю та місця підключення мобільних засобів контролю.

Отже, технічне завдання на пристрій, що проектується, повинно передбачати застосування передової системи технічного обслуговування та ремонту з використанням вбудованих або автономних систем контролю працездатності технічних виробів.

### **Класифікація методів розрахунку надійності**

Розрахунок надійності проводиться з метою оцінки кількісних показників надійності пристроїв (систем) та їхніх елементів (вузлів, блоків тощо).

Для оцінки надійності проектуємих пристроїв існують різні методи розрахунків, які можна розділити на дві групи: розрахунок надійності пристроїв, що не містять резервних елементів (нерезервовані системи) і пристроїв, що містять резервні елементи (резервовані системи).

В залежності від особливостей структури пристроїв, методи розрахунку надійності можна поділити на три групи стосовно до пристроїв:

1) з простою структурою, що зводиться до послідовно-паралельного з'єднання елементів без урахування їх відновлення. В цьому випадку оцінюється безвідмовність;

2) з складною структурою, елементи якої не відновляються. В цьому випадку оцінюються показники безвідмовності;

3) з різною структурою і елементами, що відновлюються. В цьому випадку оцінюються показники безвідмовності, ремонтпридатності та комплексні показники.

Методи, які використовуються при оцінці надійності перших двох груп, визначають показники безвідмовності при будь-яких законах наробітку елементів до відмови. До таких методів відноситься метод, що базується на теорії імовірності, та логіко-імовірносний.

Вибір методів для оцінки надійності третьої групи визначається видом законів розподілу наробітку до відмови і відновлення, а також складністю структури пристрою.

При оцінці надійності будь-якої із вище зазначених груп пристроїв часто застосовують два види розрахунків: розрахунок норм надійності та розрахунок показників надійності.

У залежності від стадії проектування пристрою та повноти урахування факторів, що впливають на показники надійності, кожний із видів розрахунку поділяється на орієнтовний (наближений) і повний (остаточний) розрахунки.

Орієнтовний розрахунок проводиться на етапі предескізного й ескізного проектування, а повний розрахунок - на етапі технічного проектування.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 37

## Порядок розрахунку

При розрахунку надійності будь-якого пристрою (системи) звичайно потрібно визначити показники безвідмовності виробу. Іноді проводяться розрахунки показників ремонтпридатності, довговічності та збережуваності. Потреба в тому або іншому розрахунку показників надійності визначається призначенням та умовами застосування проектуємого пристрою.

Незалежно від методу розрахунку кількісних показників надійності розрахунок проводиться в такій послідовності (див. рис. 6.1):

1) проведення аналізу умов експлуатації пристрою та визначення кількісних показників його надійності;

2) визначення кола виконуваних функцій (задач), по яких повинна проводитися оцінка якості функціонування пристрою, а також визначення, до якого класу відноситься проектуємий пристрій: однофункціональний або багатфункціональний;

3) визначення критеріїв відмов пристрою в залежності від виконуваних функцій;

4) проводиться аналіз схеми з метою визначення елементів, вихід з ладу яких викликає відмову пристрою, що повинні враховуватися при розрахунку надійності;

5) складання логічної схеми (моделі) розрахунку надійності пристрою. Логічну схему надійності пристрою складають таким чином, щоб елементи розрахунку надійності збігалися зі складальними одиницями (блоками) пристрою;

6) вибір методу розрахунку надійності в залежності від виду логічної моделі розрахунку надійності, виду закону розподілу наробітку до відмови та стадії проектування пристрою;

7) розрахунок показників безвідмовності елементів: визначення інтенсивності відмов  $\lambda(t)$  та імовірності безвідмовної роботи  $P(t)$  елементів невідновлюваних пристроїв; параметра потоку відмови та імовірності безвідмовної роботи  $P(t_1, t_2)$  елементів відновлюваних пристроїв;

8) розрахунок показників надійності проектуємого пристрою. Для цього використовується математична (логічна) модель надійності пристрою (системи), що встановлює математичну залежність визначеного показника надійності системи від показників надійності елементів, що входять в структуру пристрою.

Слід відзначити деякі відмінності, які існують при визначенні показників надійності пристрою на етапі ескізного проектування та на етапі технічного проектування.

У першому випадку, при визначенні показників надійності, природно, виходять із послідовної моделі надійності пристрою і лише при одержанні

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 38

незадовільних показників надійності пристрою переходять до більш складних схем, що забезпечують необхідні значення показників надійності пристрою.

У другому випадку, при визначенні показників надійності виробу (системи), спочатку з'ясовують по існуючій технічній документації, до якої із вище вказаних моделей надійності відноситься аналізований пристрій або система і надалі проводити розрахунок показників надійності, виходячи з цієї моделі.

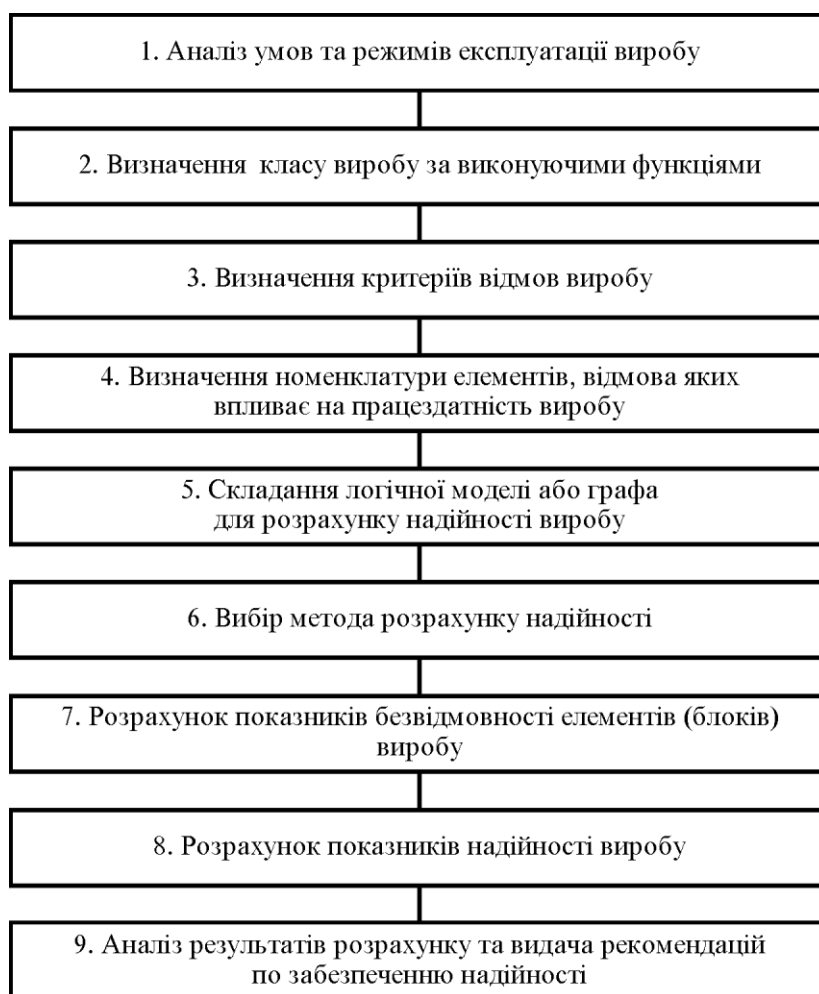


Рис. 6.1. Наближений алгоритм розрахунку надійності при проектуванні виробу

### **Вибір та обґрунтування технічного обслуговування**

Створення надійних технічних пристроїв починається ще до початку їх проектування. При складанні технічного завдання на розробку та проектування того чи іншого пристрою здійснюється цілий ряд заходів для забезпечення його надійності.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 39

До таких заходів слід віднести:

- 1) вибір та обґрунтування технічного обслуговування;
- 2) вибір основного показника надійності;
- 3) розподіл норм надійності пристрою по елементам (блокам, вузлам);
- 4) складання програми забезпечення надійності.

Зміст цих взаємопов'язаних заходів в більшості випадків залежить від кінцевої мети, яку прагнуть досягти при проектуванні. При цьому необхідно так збалансувати витрати на розробку і проектування пристроїв з витратами на їх експлуатацію, щоб загальна сума витрат не перевищувала задану при забезпеченні найкращих технічних характеристик пристроїв.

Розглянемо зміст перерахованих вище заходів.

Вибір того або іншого виду технічного обслуговування визначає ефективність застосування пристрою та впливає на його конструкцію. Обґрунтування технічних вимог по даному питанню заключається в аналізі технічного обслуговування аналогів з урахуванням позитивного і негативного, що є на відповідний момент.

Розглянемо приклади впливу на конструкцію пристрою при застосуванні різних видів технічного обслуговування.

Існують наступні правила заміни та ремонту окремих блоків (вузлів) технічних пристроїв:

- 1) по календарним термінам незалежно від наробітку виробу;
- 2) по наробітку установлених міжремонтних ресурсів незалежно від календарного терміну;
- 3) по технічному стану.

Заміна по календарним термінам, коли не враховується використання пристрою, призводить до матеріальних витрат, які нічим не можуть бути виправдані. Застосовується такий вид обслуговування, коли відсутній облік наробітку пристрою.

Заміна по виробці ресурсу можлива лише тоді, коли в конструкції пристрою встановлені рахівники його наробітку.

При заміні по технічному стану періодично контролюють визначальний параметр пристрою, який характеризує його працездатність. При наближенні значення визначального параметру до границі допуску( після чого може настати відмова пристрою) приймається рішення про його заміну або ремонт. В цьому випадку значно скорочуються витрати на технічне обслуговування, скорочуються витрати на вузли та деталі та підвищується надійність пристрою при експлуатації.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 40

## Самостійна робота 7

### Технічна діагностика та автоматизований контроль. Види випробувань на надійність: визначальні випробування; контрольні випробування на надійність Одноступеневий та послідовний контроль

Випробування – експериментальне визначення (оцінювання) та (або) контроль кількісних і (або) якісних характеристик властивостей об'єкта випробувань як результат впливу на нього, при його функціонуванні, при моделюванні об'єкта і (або) впливів.

Укрупнення класифікація випробувань на надійність приведена в табл. 7.1. Визначення основних понять, що відносяться до окремих видів випробувань на надійність, наведені нижче.

Таблиця 7.1

Ознака класифікації	Види випробувань
Мета випробувань	Визначальні, контрольні, дослідні (граничні, кліматичні та ін.)
Випробовувана властивість надійності	Випробування на безвідмовність, довговічність (ресурсні), ремонтпридатність, збереженість, комплексні випробування
Етапи розробки виробу	Доводочні, попередні, приймальні
Рівень проведення	Відомчі, міжвідомчі, державні
Ступінь інтенсифікації процесу	Нормальні, прискорені (скорочені і форсовані)
Вплив на можливість подальшого використання	Руйнівні, неруйнівні
Вид об'єкту випробувань	Випробування виробу (натурні), макета, моделі
Місце проведення	Лабораторні (стендові), полігонні, експлуатаційні
Метод отримання результатів	Експериментально-статистичні, розрахунково-експериментальні
Вид впливу	Механічні, електричні, акустичні, термічні, гідравлічні (пневматичні), радіаційні, електромагнітні, магнітні, біологічні, хімічні, кліматичні та ін.

Визначальні випробування – випробування, що проводяться для визначення значень характеристик об'єкта з заданими значеннями точності і

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 41

(або) достовірності.

Контрольні випробування – випробування, що проводяться для контролю якості об'єкта. Серед контрольних зазвичай розрізняють приймально-здавальні та типові випробування. Контрольні випробування готової продукції, що проводяться під час приймального контролю, називаються приймально-здавальними. До типовим випробуванням відносяться контрольні випробування продукції, що проводяться з метою оцінки ефективності та доцільності внесених змін в конструкцію, рецептуру або технологічний процес.

Дослідницькі випробування – випробування, що проводяться для вивчення певних характеристик властивостей об'єктів. Дослідницькі випробування, що проводяться для визначення залежності між гранично допустимими значеннями параметрів об'єкта і значеннями параметрів режимів експлуатації, називаються граничними.

Доводочні випробування – дослідні випробування, що проводяться в процесі розробки виробів з метою оцінки впливу внесених до них змін для досягнення необхідних показників якості.

Попередні випробування – контрольні випробування дослідних зразків (партій) виробів з метою визначення можливості їх пред'явлення на приймальні випробування.

Приймальні випробування – це контрольні випробування дослідних зразків (партій) виробів, а також виробів одиничного виробництва, що проводяться відповідно для вирішення питання про доцільність впровадження на виробництво цих виробів або передачі їх в експлуатацію.

До нормальним відносяться іспити, методи і умови проведення яких забезпечують отримання необхідного обсягу інформації про характеристики властивостей об'єкта в такий же інтервал часу, як і в передбачених умовах експлуатації. Прискорені випробування - випробування, методи і умови проведення яких забезпечують отримання необхідної інформації в більш короткий термін, ніж при нормальних випробуваннях. Скорочені випробування - випробування, що проводяться за скороченою програмою без інтенсифікації процесів, що викликають відмови і пошкодження. Форсовані випробування - прискорені випробування, засновані на інтенсифікації деградаційних процесів, що призводять до відмов.

Руйнівні випробування – випробування із застосуванням руйнівних методів контролю, які можуть порушити придатність об'єкта до використання за призначенням. Неруйнівні випробування - випробування із застосуванням неруйнівних методів контролю.

Випробуванням можуть піддаватися як натурні досвідчені або серійні зразки виробів і систем, так і їх макети і моделі. Натурні випробування - випробування об'єкта в умовах, що відповідають умовам його використання за прямим призначенням з безпосереднім оцінюванням або контролем

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 42

визначаються характеристик властивостей об'єкта. Макет для випробувань - виріб, що представляє собою спрощене відтворення об'єкта випробувань або його частини і призначене для випробувань. Модель для випробувань - виріб, процес, явище, математична модель, яка була в певній відповідності з об'єктом випробувань і (або) впливами на нього, і здатне заміщати його в процесі випробувань.

До лабораторних (стендових) відносяться іспити, що проводяться в лабораторних умовах на випробувальному стенді, тобто на технічному пристрої, призначеному для установки об'єкта випробувань в заданих положеннях, створення впливів, знімання інформації і здійснення управління процесом випробувань і (або) об'єктом випробувань. Полігонні випробування проводяться на випробувальному полігоні, тобто на місці, призначеному для проведення випробування в умовах, близьких до умов експлуатації об'єкта, і забезпеченому необхідними засобами випробувань. До експлуатаційних відносяться іспити, що проводяться для визначення (оцінки) показників надійності в заданих режимах і умовах експлуатації.

### Плани випробувань

Результатом випробувань на надійність є кількісні значення показників надійності об'єктів, встановлені з заданою точністю та (або) достовірністю.

Випробування на надійність класифікують за такими ознаками:

а) За характером оцінок показників надійності розрізняють:

1) випробування з метою визначення точкових оцінок середніх значень показників надійності (середнє напрацювання до відмови, середній ресурс, середній час відновлення та ін.); точкової оцінкою визначається показника в цих випробуваннях є середнє арифметичне значення показника, що спостерігається при випробуваннях вибірки з партії однорідних об'єктів;

2) випробування з метою визначення довірчого інтервалу можливих значень показника надійності, який із заданою довірчою ймовірністю накриває математичне очікування цього показника;

б) За вихідними даними розрізняють:

1) прямі випробування, засновані на використанні інформації про відмови об'єкта;

2) випробування, засновані на використанні непрямих ознак відмови (перегрів, рівні вібрації, шуму та ін.);

в) За планами випробувань.

План випробувань – правила, що встановлюють обсяг вибірки, порядок проведення випробувань і критерії їх припинення.

Плани випробувань мають умовні буквені позначення по типу:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 43

<b>[ X ]</b>	<b>[ X ]</b>	<b>[ X ]</b>
ознака обсягу вибірки	ознака відновлюваності об'єкта	ознака закінчення випробування

Розшифровка ознак відновлюваності об'єкта випробувань:

U – об'єкти невідновлювані і незамінюваних в разі відмови;

R – невідновлювані, але замінні в разі відмови новими ідентичними відмовив екземплярами об'єкти;

M – відновлювані в разі відмови об'єкти.

Розшифровка ознак закінчення випробування:

T – встановлюється час або напрацювання;

TΣ – встановлюється сумарна напрацювання всіх об'єктів;

N – до відмови всіх випробовуваних об'єктів;

r – встановлюється число відмовили об'єктів;

(r, T) – випробування припиняється при числі відмовили об'єктів r або після досягнення напрацювання T кожного працездатного об'єкта, незалежно від того, яке умова виконана раніше;

(r, TΣ) – випробування припиняється при числі відмовили об'єктів r або після досягнення сумарного напрацювання всіх випробовуваних об'єктів TΣ, незалежно від того, яке умова виконана раніше;

(r<sub>1</sub>, n<sub>1</sub>), (r<sub>2</sub>, n<sub>2</sub>): (r<sub>k-1</sub>, n<sub>k-1</sub>), r<sub>k</sub> – після r<sub>1</sub> відмов знімають n<sub>1</sub> працездатних об'єктів і т. д. до досягнення r<sub>k</sub> відмов;

(T<sub>1</sub>, n<sub>1</sub>), (T<sub>2</sub>, n<sub>2</sub>): (T<sub>k-1</sub>, n<sub>k-1</sub>), T<sub>k</sub> – після досягнення напрацювання T<sub>1</sub> знімають n<sub>1</sub> працездатних об'єктів і т.д. до досягнення напрацювання T<sub>k</sub>;

z – кожен об'єкт відчувають протягом напрацювання  
 $z_i = \min(t_i, \tau_i) \quad i = 1, 2: N,$

де t<sub>i</sub> – напрацювання до відмови i-го об'єкта;

τ<sub>i</sub> – напрацювання до зняття з випробувань працездатного i-го об'єкта;

S – прийняття рішення при послідовних контрольних випробуваннях.

Згідно діючому стандарту можливо 17 варіантів планів випробувань на надійність:

[N U T], [N U r], [N U N], [N U (r, T)], [N R T], [N R r], [N R (r, T)], [N M T], [N M TΣ], [N M r], [N M (r, TΣ)], [N U (r<sub>1</sub>, n<sub>1</sub>), (r<sub>2</sub>, n<sub>2</sub>): (r<sub>k-1</sub>, n<sub>k-1</sub>), r<sub>k</sub>], [N U (T<sub>1</sub>, n<sub>1</sub>), (T<sub>2</sub>, n<sub>2</sub>): (T<sub>k-1</sub>, n<sub>k-1</sub>), T<sub>k</sub>], [N U z], [N U S], [N R S], [N M S].

### Одноступеневий та послідовний контроль

Відповідно до методу проведення контроль поділяється на одноступеневий, двоступеневий та послідовний.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 44

Одноступеневий - це приймальний статистичний контроль (ПСК), за якого рішення про якість партії з  $N$  виробів, що контролюється, приймають на підставі перевірки тільки однієї випадкової вибірки, обсяг якої  $n$ . За підсумками контролю визначають кількість дефектних виробів у вибірці  $t$ .

Партію з  $N$  виробів приймають, якщо  $t > C_1$ , де  $C_1$  - норматив оцінювання (приймальне число). Якщо  $t > C_2$ , де  $C_2$  - норматив оцінювання (бракувальне число) партію контролюють повністю, тобто виконують стовідсотковий контроль (із заміною дефектних виробів) або бракують, якщо неможливо виконати стовідсотковий контроль (виріб може вийти з ладу) або недоцільно з економічної точки зору.

Оперативна характеристика приймального контролю (рис.7.1) - це імовірність прийому партії залежно від частки дефектних виробів у ній.

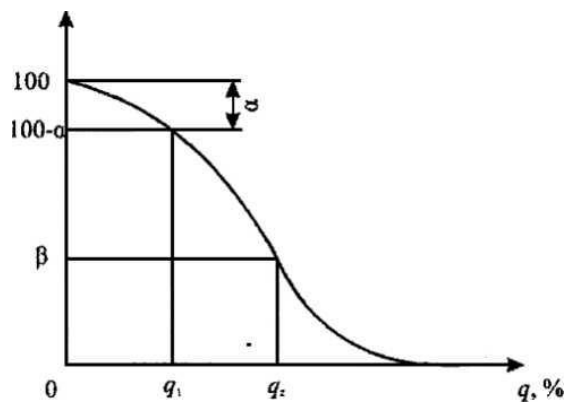


Рис. 7.1- Оперативна характеристика

Значення  $1 - P(q_1)$ , де  $q_1$  - приймальний рівень якості, визначає ризик постачальників  $\alpha$ .

Ризик постачальника  $\alpha$  - імовірність забракування якісної партії, тобто партії, частка дефектних виробів у якій не перевищує приймального рівня  $q_1$ .

Ризик споживача  $\beta$  - найбільша імовірність приймання неякісної партії, тобто партії, частка дефектних виробів у якій перевищує бракувальний рівень  $q_2$ .

$$q_2 = t / n \quad (7.1)$$

Двоступеневий контроль - це ПСК, за якого рішення про якість партії виробів, що контролюється, приймається за результатами перевірки двох вибірок, причому необхідність відбору другої вибірки визначається підсумками перевірки першої вибірки.

Якщо  $t_1 < C_1$  - партію приймають, якщо  $t_2 > C_2$  - партію бракують ( $C_1$  -

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 45

приймальне число;  $C_2$  - бракувальне число для першої вибірки).

Якщо  $C_1 < m_1 < C_2$ , обирається друга вибірка, яка теж контролюється та визначається кількістю браку  $m_2$ .

Якщо  $m_1 + m_2 < C_3$ , партія приймається, якщо  $m_1 + m_2 > C_4$  партію слід контролювати повністю ( $C_3, C_4$  - відповідно приймальне та бракувальне числа для другої вибірки).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 46

## Самостійна робота 8

### Технічна діагностика технічних систем. Особливості технічної діагностики технічних систем.

#### Оптимальний пошук одного несправного елемента

Розглянемо технічну систему як об'єкт контролю, яка складається із  $n$  елементів (множина  $G$ ), з'єднаних між собою відповідними функціональними зв'язками. Кожний із елементів системи може знаходитись в одному із двох можливих станів: справності або відмови. Імовірність справного стану  $i$ -го елемента позначається  $p_i$ , а імовірність відмови –  $q_i$ . Величини  $p_i$  і  $q_i$  зв'язані між собою співвідношенням

$$q_i = 1 - p_i.$$

Припускається, що відмови окремих елементів системи взаємно незалежні.

Контроль працездатності та пошуку несправності, якщо система непрацездатна, зводиться до послідовного застосування спеціальних тестів, кожний з яких перевіряє справність цілком визначеної множини елементів системи.

Основною метою перевірки системи є:

- ◆ перевірити справність системи;
- ◆ відшукати несправність, якщо система несправна.

В першому випадку досить застосувати тест, який перевіряє всю систему. Проте інколи буває так, що застосування такого загального тесту принципово неможливо або недоцільно, оскільки він вимагає дуже істотних витрат часу та засобів, а тому вигідніше використовувати послідовність декількох простих тестів.

Назвемо результати перевірки тесту  $T_1$  успішним, якщо в множині  $G_1$ , що ним перевіряється, не виявлено несправних елементів.

Якщо під час перевірки були виявлені несправні елементи, то результат перевірки назвемо успішним. При цьому вважаємо, що серед елементів системи, які перевіряються, є хоч принаймні один несправний.

Відмітимо, що в загальному випадку множини  $G_i$ , при перевірці їх різними тестами, можуть перетинатись.

Сукупність тестів, які використовують для контролю, задають у вигляді таблиці, рядки якої відповідають тестам, а стовпці – елементам. При цьому знак “+” на перехресті означає, що даний елемент може бути перевірений даним тестом (див. табл. 8.1,6).

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ			Ф-20.10-
	ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»			05.01/141.00.1/Б/
	Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 47

Задача при пошуку несправності системи полягає у побудові такої програми перевірки, при якій мета цієї перевірки досягається при мінімальних в середньому витратах на її проведення.

Складення програми контролю полягає у виборі із всієї сукупності тестів  $\{T_1\}$ , що забезпечують вимоги по контролю працездатності системи, вибрати необхідну групу тестів та визначити порядок їх застосування так, щоб процес перевірки був оптимальним відносно прийнятого критерію.

Порядок застосування тестів представляє собою слідує процедуру. Спочатку визначається оптимальна умовна послідовність перевірок для вихідної множини  $G$ . Перший етап перевірки продовжується до тих пір, поки черговий тест не виявиться неуспішним (несправність виявлена). На цьому етапі перевірка справності системи закінчується.

Пошук несправності системи починає другий етап процедури. Після першого етапу перевірки справності системи маємо: вся множина елементів системи в даному випадку поцілена на три наступні множини (див. рис. 12.10):

$G'$  - множина елементів, які ще не перевірялись;

$G^*$  - множина елементів, які були охоплені даним неуспішним тестом за відрахуванням тих елементів цієї множини, які були перевірені до цього успішними тестами;

$G^{(0)}$  - множина елементів, справність яких була підтверджена успішними тестами.

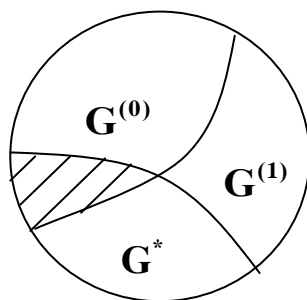


Рис.8.1

Як бачимо, на другому етапі роль вихідної множини грає  $G^*$ . Для всіх тестів сукупності  $\{T\}$  виконується переоцінка імовірностей успішної реалізації, виходячи із умов застосування їх до множини  $G^*$ .

Після локалізації всіх несправних елементів у множині  $G^*$  далі процес пошуку несправностей проводиться у множині  $G'$ . Знову для всіх тестів сукупності  $\{T\}$  виконується відповідна переоцінка імовірностей та здійснюється пошук несправностей з використанням вище описаної методики.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміна 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 48

Розглянемо приклад пошуку одного несправного елемента системи. Маємо систему із  $n$  елементів. Відомо, що в системі відмовив рівно один елемент. Потрібно знайти несправний елемент при мінімальних середніх витратах.

Розглянемо наближений алгоритм пошуку одного несправного елемента системи при довільних пересічних тестах. Нехай до початку  $m$ -го кроку процесу перевірки системи проведена послідовність тестів  $\sigma^{(0)} = \{T_1, \dots, T_{m-1}\}$  і необхідно знайти несправний елемент у множині  $G^{(0)}$ .

Алгоритм пошуку одного несправного елемента наступний:

1) визначаються умовні імовірності відмови  $\tilde{q}_i^{(0)}$   $i$ -го елемента, якщо в множині  $G^{(0)}$  є рівно один елемент, що відмовив, то

$$\tilde{q}_i^{(0)} = \frac{q_i}{p_i};$$

2) обчислюється для кожного тесту  $T_j$  імовірність неуспішного результату перевірки множини  $G^{(0)}$

$$Q_j^{(0)} = \sum_{i \in G_j \cap G^{(0)}} \tilde{q}_i^{(0)}$$

3) обчислюють для кожного тесту  $T_j$  пов'язані з ним витрати  $\tau_j^{(0)}$  з урахуванням того, що вже проведена послідовність тестів  $\sigma^{(0)}$ .

Однак слід відмітити, що витрати на проведення тесту  $T_f$  можуть як зменшуватись, так і збільшуватись при умові проведення інших тестів. Наприклад, можуть бути підключені при попередніх перевірках необхідні для даного тесту прилади або навпаки;

4) для кожного тесту  $T_j$  визначається величина

$$q_j = \frac{\tau_j^{(0)}}{Q_j^{(0)}};$$

5) вибирається такий тест  $T_k$ , для якого  $q_k$  мінімальна

$$g_k = \min_{1 \leq j \leq l} g_j;$$

6) застосовується тест  $T_k$ :

а) якщо тест  $T_k$  закінчується успішно, то необхідно шукати несправний елемент у множині

$$G^{(1)} = G^{(0)} / G_k;$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 49

б) якщо тест  $T_k$  закінчується неуспішно, то задача зводиться до пошуку несправного елемента у множині

$$G^{(1)} = G_k \cap G^{(0)};$$

7) фіксується нова послідовність застосованих тестів, яка включає в себе: послідовність  $\sigma^{(0)}$  та останній застосований тест  $T_k$

$$\delta^{(1)} = \{\sigma^{(0)}, T_k\};$$

8) до множини  $G^{(1)}$  застосовується та ж методика перевірки, починаючи з п. 1, з відповідною заміною верхнього індексу (0) на індекс (1). Програма пошуку продовжується доки в п.6 на деякому кроку  $k$  сформується така множина  $G^{(k)}$ , яка складається з одного елемента.

Якщо для виконання поточних обчислень та вибору чергового тесту використати ЕОМ із заздалегідь внесеними у її пам'ять вихідних даних (імовірності відмов, тривалості перевірок, характеристики тестів) та програми забезпечення, то описану вище програму пошуку несправностей можна реалізувати дуже швидко.

По результатам обчислення програми отриманого пошуку складають інструкцію черговості застосування тестів в залежності від результатів попередніх перевірок, наприклад, якщо тест  $T_k$  успішний, то далі провести тест  $T_i$  (див. рис. 8.2).

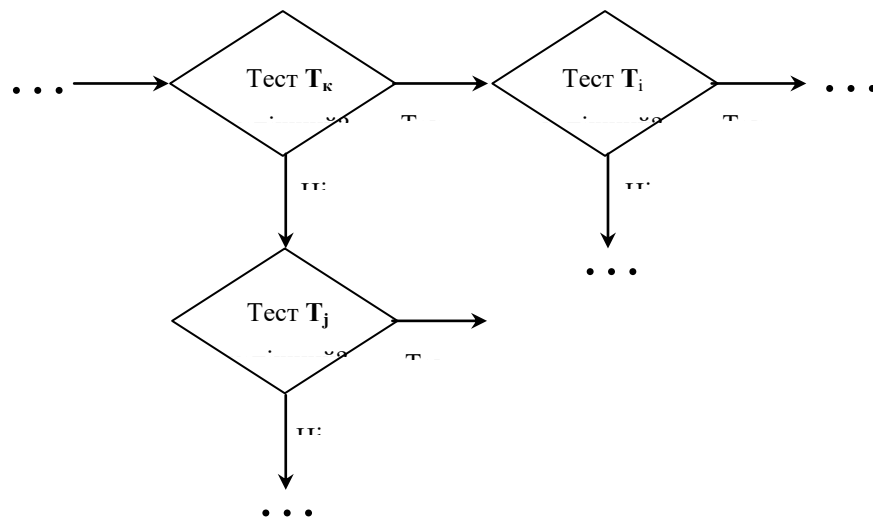


Рис. 8.2. Приклад інструкції для перевірки системи

Приклад 8.1. Система складається з 6 елементів. Вона може бути перевірена 5 тестами. Опис тестів наведено в табл. 8.1.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 50

Витрати, які пов'язані з проведенням кожного тесту, відповідно складають:

$$t_1=1, t_2=2, t_3=1.2, t_4=1.5, t_5=2.5.$$

Припускається, що величина  $t_i$  не залежить від порядку застосування тестів.

Апріорні імовірності відмови елементів відповідно дорівнюють:

$$q_1=0.1; q_2=0.1; q_3=0.2;$$

$$q_4=0.3; q_5=0.1; q_6=0.05.$$

Відомо, що в системі є тільки один відмовлений елемент. Необхідно знайти цей елемент при мінімальних середніх витратах на проведення необхідних для цього тестів.

Таблиця 8.1

Номер елемента	Тест				
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
1	+			+	+
2	+	+			
3			+		+
4		+			+
5	+		+		
6	+		+	+	

Рішення.

1) знаходимо величини  $\tilde{q}_i$  для кожного елемента:

$$\tilde{q}_1 = 0.11; \tilde{q}_2 = 0.11; \tilde{q}_3 = 0.25;$$

$$\tilde{q}_4 = 0.43; \tilde{q}_5 = 0.11; \tilde{q}_6 = 0.05;$$

2) обчислюємо величини  $Q_j^{(0)}$  для кожного тесту:

$$Q_1^{(0)} = \tilde{q}_1 + \tilde{q}_2 + \tilde{q}_5 + \tilde{q}_6 = 0.38; \quad Q_2^{(0)} = \tilde{q}_2 + \tilde{q}_4 = 0.54;$$

$$Q_3^{(0)} = \tilde{q}_3 + \tilde{q}_5 + \tilde{q}_6 = 0.41; \quad Q_4^{(0)} = \tilde{q}_1 + \tilde{q}_6 = 0.16;$$

$$Q_5^{(0)} = \tilde{q}_1 + \tilde{q}_3 + \tilde{q}_4 = 0.79;$$

3) визначаємо для кожного тесту величини  $g$ :

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ			Ф-20.10-
	ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»			05.01/141.00.1/Б/
	Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 51

$$g_1^{(0)} = \frac{1}{0.38} = 2.63; \quad g_2^{(0)} = \frac{2}{0.54} = 3.70;$$

$$g_3^{(0)} = \frac{1.2}{0.41} = 2.93; \quad g_4^{(0)} = \frac{1.5}{0.16} = 9.37;$$

$$g_5^{(0)} = \frac{2.5}{0.79} = 3.16;$$

Із обчислення  $g_i$  видно, що першим тестом повинен бути  $T_1$ , так як  $g_1$  є найменшою величиною.

Проведення тесту  $T_1$  може бути успішним і неуспішним. Розглянемо перший результат, тобто несправний елемент знаходиться серед тих елементів, які не були охоплені тестом  $T_1$ . Таким чином, залишається множина елементів  $G^{(1)} = \{3,4\}$ .

4) обчислимо  $Q_j^{(1)}$  для кожного із залишених тестів:

$$Q_2^{(1)} = \tilde{q}_2 + \tilde{q}_4 = 0.54; \quad Q_3^{(1)} = \tilde{q}_3 + \tilde{q}_5 + \tilde{q}_6 = 0.41;$$

$$Q_4^{(1)} = \tilde{q}_1 + \tilde{q}_6 = 0.16; \quad Q_5^{(1)} = \tilde{q}_1 + \tilde{q}_3 + \tilde{q}_4 + \tilde{q}_5 = 0.9;$$

5) обчислимо величину  $g_i$ :

$$g_2^{(1)} = \frac{2}{0.54} = 0.37; \quad g_3^{(1)} = \frac{1.2}{0.41} = 2.92;$$

$$g_4^{(1)} = \frac{1.5}{0.46} = 9.37; \quad g_5^{(1)} = \frac{2.5}{0.9} = 2.77.$$

Таким чином, після успішного тесту  $T_1$  слід проводити  $T_5$ . В свою чергу проведення тесту  $T_5$  може бути успішним і неуспішним. Розглянемо на цей раз другий результат: несправний елемент знаходиться у множині серед елементів  $G^{(1)} = \{3,4\}$ , тобто це один із елементів 3 або 4, що відноситься до множини  $G^{(2)} = \{3,4\}$ ;

5) обчислимо величину  $Q_j^{(2)}$  для кожного із залишених тестів:

$$Q_2^{(2)} = \tilde{q}_2 = 0.11; \quad Q_3^{(2)} = \tilde{q}_3 = 0.25;$$

$$Q_4^{(2)} = 0;$$

6) обчислимо величини  $g_j$ :

$$g_2^{(2)} = \frac{2}{0.11} = 18.18; \quad g_3^{(2)} = \frac{1.2}{0.25} = 4.8.$$

Із обчислення видно, що слід проводити тест  $T_3$ .

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 52

Якщо проведення цього тесту буде неуспішним, то несправність системи знайдена – це елемент 3. Якщо проведення тесту  $T_3$  буде успішним, то несправним елементом системи є елемент 4.

На рис. 8.3 наведено інструкцію перевірки системи для прикладу 8.1.

В колах вказані номери несправних елементів, які були виявлені даною перевіркою.

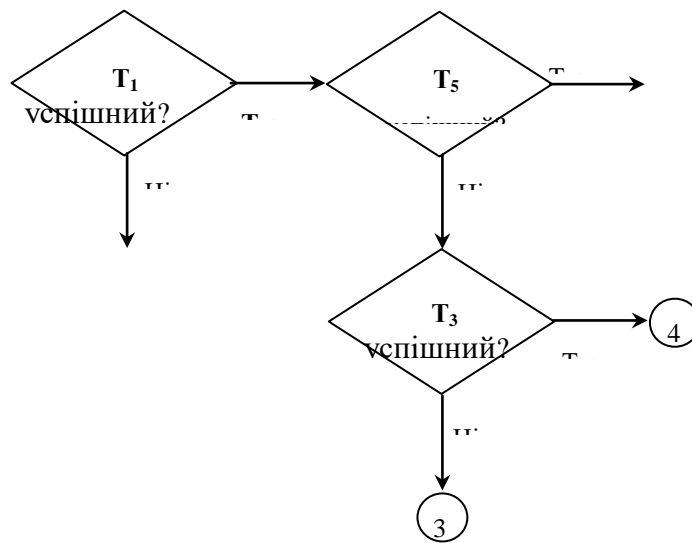


Рис. 8.3

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 53

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### *Основна література*

1. Основи теорії надійності технічних систем : навч. посіб. / О. М. Павлюк, М. О. Медиковський, Н. К. Лиса, І. В. Ізонін; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2021. – 208 с.
2. Якість і надійність технологічних систем [Текст]: посіб. для студентів техн. спец. / Г. П. Клименко, Я. В. Васильченко, М. В. Шаповалов ; Донбас. держ. машинобуд. акад. (ДДМА). - Краматорськ : ДДМА, 2018. - 199 с.
3. Теорія технічних систем: особливості побудови створення та розвитку: навчальний посібник / Володимир Крупа. – Тернопіль : Осадца Ю.В., 2023. – 308 с
4. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем [Текст] : практикум / Л. М. Заміховський, С. В. Зікратий, Л. О. Штаєр ; Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. - 191 с.
5. Eder, W.E. Theory of Technical Systems – Educational Tool for Engineering. Universal Journal of Educational Research 4(6): 1395-1405, 2016.
6. Dr David J Smith, 2022. Reliability, Maintainability and Risk. Practical Methods for Engineers, Tenth Edition.

### *Допоміжна література*

1. Надійність технологічних систем : курс лекцій / Г. О. Іванов, В. І. Гавриш, П. М. Полянський, О. В. Гольдшмідт. – Миколаїв : МНАУ, 2015. – 40 с.
2. Оборський Г.О. Надійність технічних систем та обладнання : підручник / Г.О. Оборський – Одеса: Бахва, 2015. – 360 с.
3. Веселовська Н.Р., Худолій О.І. Надійність технологічних систем та обґрунтування інженерних рішень. Навчальний посібник. Вінниця.2014. – 123 с.
4. Сідашенко О.І. Ремонт машин і обладнання: підручник / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. К.: Аграр Медіа Груп, 2018. 632 с.
5. Вишнівський В.В., Василенко В.В., Гніденко М.П., Звенігородський О.С., Зінченко О.В., Іщеряков С.М. Основи надійності та діагностики інформаційних систем: Навчальний посібник. Київ: ННІТ ДУТ, 2020. – 184 с.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 54

### Питання для самостійної роботи

1. Що є предметом вивчення теорії надійності? Яку основну задачу вона розв'язує?
2. Якими кількісними показниками оцінюється надійність технічного об'єкта? Дайте визначення кожного показника.
3. Поясніть суть термінів: працездатність, непрацездатність, справний, несправний, відмова, дефект, збій, напрацювання, ресурс, термін служби.
4. Назвіть види відмов виробів та причини їх появи.
5. Дайте класифікацію виробів по показникам та методам оцінки надійності в залежності від призначення виробів.
6. Дайте визначення не відновлюваних виробів (виробів, що не ремонтуються) і назвіть основні показники надійності цих виробів.
7. Дайте математичне визначення показників надійності не відновлюваних виробів.
8. Дайте статистичну оцінку показників надійності не відновлюваних виробів.
9. Приведіть і поясніть графік зміни в часі інтенсивності відмов технічних виробів.
10. Дайте визначення відновлюваних виробів і назвіть основні показники надійності цих виробів.
11. Приведіть ймовірнісне та статистичне визначення середнього часу відновлення.
12. Що характеризують коефіцієнти готовності і простою технічного об'єкта і як вони визначаються математично?
13. Дайте визначення математичної моделі надійності технічного об'єкта і назвіть основні види таких моделей.
14. Як математично визначається ймовірність відмови і безвідмовної роботи для послідовної та паралельної логічної моделі надійності?
15. Приведіть математичну модель надійності у вигляді графа станів об'єкта і поясніть зміст, який вона відображає.
16. Поясніть, як складається система диференціальних рівнянь з використанням моделі графу станів технічного об'єкта.
17. Як математично визначаються ймовірність безвідмовної роботи та середній час безвідмовної роботи не відновлюваних нерезервованих систем при раптових відмовах?
18. Приведіть граф станів відновлюваного нерезервованого виробу і запишіть відповідну систему диференціальних рівнянь, нормувальну умову та початкові умови.
19. Приведіть вирази для функції готовності та функції простою відновлюваного нерезервованого виробу.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10-05.01/141.00.1/Б/ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 55

20. Як визначаються коефіцієнти готовності і простою відновлюваного нерезерованого виробу.
21. Як визначають коефіцієнти готовності та простою системи, що ремонтується і яка може бути відновлена в процесі експлуатації?
22. Як здійснюється оцінка надійності системи з урахуванням режимів її роботи?
23. Що таке резервування і які види резервування використовуються в технічних об'єктах.
24. Поясніть суть режимного, параметричного, функціонального та інформаційного резервування.
25. Поясніть суть навантаженого, полегшеного та не навантаженого структурного резерву і приведіть відповідні структурні схеми.
26. Як оцінюється виграш в показниках надійності резервованої системи.
27. Як визначається середній наробіток до відмови резервованої системи з загальним навантаженим резервом.
28. Як визначається середній наробіток до відмови резервованої системи з загальним не навантаженим резервом.
29. Як визначається середній наробіток до відмови резервованої системи з загальним полегшеним резервом.
30. Приведіть логічну модель і граф станів резервованої системи з обмеженим відновленням блоків при навантаженому резерві.
31. Приведіть логічну модель і граф станів резервованої системи з необмеженим відновленням блоків при не навантаженому резерві.
32. Чим відрізняються перераховані нижче стани об'єкта: працездатний, непрацездатний, критичний, граничний
33. Що характеризують перераховані нижче терміни: пошкодження, дефект, відмова, збій, несправність об'єкта?
34. Яка класифікація відмов використовується в теорії надійності?
35. Яка класифікація об'єктів використовується в теорії надійності?
36. Назвіть основні закони розподілу, що характеризують безперервні випадкові величини та покажіть їх основні характеристики.
37. Назвіть основні закони розподілу, що характеризують дискретні випадкові величини та покажіть їх основні характеристики.
38. Що таке математичне сподівання та дисперсія ?
39. Приведіть графіки законів розподілу відмов.
40. Дайте визначення виробам, що ремонтуються, але не можуть (або можуть) бути відновлені в процесі експлуатації.
41. Назвіть основні показники надійності виробів, що ремонтуються, але не можуть бути відновлені в процесі експлуатації та дайте їх математичне визначення.
42. Що таке простий потік відмов та його характеристики ?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ			Ф-20.10-
	ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 56

43. Назвіть основні показники надійності виробів, що ремонтуються, які можуть бути відновлені в процесі експлуатації.
44. Дайте математичне визначення експлуатаційних коефіцієнтів виробів, які можуть бути відновлені в процесі експлуатації.
45. Назвіть цілі визначення надійності виробів на стадії проектування і охарактеризуйте шляхи забезпечення необхідної надійності виробів.
46. Назвіть основні принципи технічного обслуговування виробів і поясніть, як вони впливають на надійність виробів.
47. Яким умовам повинен задовольняти основний показник надійності при включенні його в технічне завдання на виріб, що проектується?
48. Поясніть, як визначається основний показник надійності та встановлюється його норма надійності? Що визначає нормувальна умова?
49. Поясніть, як здійснюється розподіл норм надійності по елементам?
50. Як забезпечується надійність виробів при їх проектуванні?
51. Які цілі ставляться перед орієнтовним розрахунком надійності системи, при яких припущеннях такий розрахунок проводиться і що необхідно знати для розрахунку?
52. Як враховуються умови експлуатації виробів та їх навантаження при розрахунках надійності?
53. В чому полягає суть контрольних та визначальних випробувань на надійність?
54. Які плани випробувань на надійність застосовуються в умовах виробництва?
55. Як проводиться оцінка надійності пристроїв по результатам дослідної та підконтрольної експлуатації?
56. Поясніть, що таке точкові та інтервальні оцінки, як їх отримують по експериментальним даним і для чого вони використовуються?
57. Які задачі і як вирішує технічна діагностика?
58. Приведіть і поясніть схеми функціональної та тестової системи діагностики (СД).
59. Які математичні моделі об'єктів діагнозу (ОД) використовуються? В чому полягає суть функціонально-логічної моделі ОД ?).
60. Перерахуйте відомі вам методи пошуку несправності. В чому полягає суть послідовного методу пошуку несправності? Приведіть схему ОД і відповідний граф пошуку несправності.
61. В чому полягає суть методу половинної розбивки при пошуку несправності? Приведіть схему ОД і відповідний граф пошуку несправності.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015 та ДСТУ ISO 21001:2019			Ф-20.10- 05.01/141.00.1/Б/ ОК24-2025
	Випуск 2	Зміни 0	Екземпляр № 1	Арк 57 / 57

62. Поясніть суть оптимального методу пошуку одного несправного елемента і приведіть приклад побудови алгоритму тестування деякої системи.
63. Які задачі вирішують автоматизовані засоби контролю?
64. Дайте характеристику технічної системи як об'єкта контролю.
65. Які вимоги пред'являють до систем автоматизованого контролю.
66. Приведіть узагальнену структуру автоматизованої системи контролю.
67. Що таке ремонтпридатність та її основні показники?
68. Що таке поточний ремонт?
69. Із якої умови обчислюють норми запасних елементів .
70. Як проводиться обчислення норм запасних елементів для систем, що працюють в безперервному режимі.
71. Які є способи пошуку несправних елементів в пристроях?