

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

«Затверджено»

на засіданні кафедри комп'ютеризованих та інформаційних  
технологій у приладобудуванні протокол № 9

від «18» квітня 2016 р.

Тираж 30 екземплярів

Вимогам, що ставляться до  
навчально-методичної літератури,  
відповідає

В.о зав. кафедри КІТ П \_\_\_\_\_ **В.Я. Гальченко**

**Фізичні основи надійності медичних приладів  
та систем:**

конспект лекцій для студентів усіх форм навчання  
приладобудівних спеціальностей

Весь цифровий і фактичний матеріал та бібліографічні відомості  
перевірено. Зауваження рецензентів враховано.

В.о. зав. кафедри КІТ П \_\_\_\_\_ **В.Я Гальченко**

Укладачі:

**Т.Ю.Кісіль**  
**Р.В.Трембовецька**  
**В.В.Тичков**

Відповідальний редактор \_\_\_\_\_ **В.Я Гальченко**

Рецензент \_\_\_\_\_ **В.Я. Гальченко**

**ЧЕРКАСИ, ЧДТУ 2016**

**Фізичні основи надійності медичних приладів та систем: конспект лекцій для студентів усіх форм навчання приладобудівних спеціальностей / Укл.:Т.Ю.Кісіль, Р.В.Трембовецька, В.В. Тичков - Черкаси: ЧДТУ, 2016 – 55 с.**

**Укладачі: Кісіль Т.Ю., к.т.н., доцент**

**Трембовецька Р.В., к.т.н., доцент**

**Тичков В.В., ст. викладач**

**Рецензент: Гальченко В.Я., д.т.н., професор**

# Зміст

## ***1. Лекція 1. Основи теорії надійності***

- 1.1. Проблеми надійності виробів
- 1.2. Основні поняття, терміни й визначення надійності
- 1.3. Ушкодження і відмови. Класифікація

## ***2. Лекція 2. Теоретичні основи розрахунку надійності***

- 2.1. Етапи аналізу і показники надійності систем
- 2.2. Фактори, що впливають на надійність медичного обладнання
- 2.3. Технологічні особливості забезпечення надійності в медичних системах
  - 2.3.1. Властивості медичної системи, що впливають на надійність її роботи
  - 2.3.2. Поняття про структурну й функціональну надійність медичних систем

## ***3. Лекція 3. Основні поняття і короткі відомості з теорії ймовірностей***

- 3.1. Основи теорії множин
- 3.2. Основні поняття теорії ймовірностей
  - 3.2.1. Класифікація подій
  - 3.2.2. Алгебра подій

## ***4. Лекція 4. Математичні моделі теорії надійності. Статистична обробка результатів випробувань***

- 4.1. Загальні поняття про моделі надійності
- 4.2. Статистична обробка результатів випробувань і визначення показників надійності
- 4.3. Залежність інтенсивності відмов від часу

## ***5. Лекція 5. Прогнозування показників надійності***

- 5.1. Вибір і обґрунтування показників надійності
- 5.2. Призначення норм надійності
- 5.3. Розподіл норм надійності у елементах

**6. *Лекція 6. Стратегії підвищення надійності функціонування медичного обладнання***

6.1. Основи розрахунку надійності систем. Загальні поняття

6.2. Системи з резервуванням. Загальні поняття

**7. *Лекція 7. Надійність відновлювальних об'єктів. Надійність об'єктів при поступовій відмові***

7.1. Постановка задачі. Загальна розрахункова модель

**8. *Лекція 8. Класифікація методів діагностики медичного обладнання. Діагностичні моделі***

8.1. Структурні та діагностичні параметри стану

8.2. Класифікація й коротка характеристика методів діагностики

Список літератури

# ЛЕКЦІЯ 1.

## ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ

Середина 20-го сторіччя ознаменувалася якісним стрибком у теорії надійності – широким поширенням великих і малих автоматизованих систем керування. Однак нова техніка, що виконує відповідальні функції, має право на існування лише тоді, коли вона надійна. З розвитком техніки ускладнюється й проблема її надійності, для рішення якої було розроблено новий науковий напрямок - теорію надійності. Предметом її досліджень є вивчення причин, що викликають відмови об'єктів, визначення закономірностей, яким відмови підкоряються, розробка засобів кількісного виміру надійності, методів розрахунку та випробувань, розробка шляхів і засобів підвищення надійності. Теорія імовірностей, математична статистика, теорія імовірнісних процесів дають можливість врахувати випадковий характер виникаючих у системі подій і процесів. Теорія графів, дослідження операцій, теорія інформації, технічна діагностика, теорія моделювання, основи проектування систем і технологічних процесів дозволяють обґрунтовано вирішувати завдання надійності.

**Основні напрямки розвитку теорії надійності проявляються на таких рівнях:**

1. Розвиток математичних основ теорії надійності. Узагальнення статистичних матеріалів про відмови й розробка рекомендацій з підвищення надійності об'єктів дозволили визначати математичні закономірності, яким що описують відмови, а також розробляти методи кількісного виміру надійності та інженерних розрахунків її показників. Так сформувалась математична теорія надійності.

2. Розвиток методів збору і обробки статистичних даних про надійність. Обробка статистичних матеріалів в області надійності потребувала розвитку існуючих методів і призвела до нагромадження великої статистичної інформації про надійність досліджуємих об'єктів. Так з'явилися

статистичні характеристики надійності закономірності відмов, що полягло в основу формування статистичної теорії надійності.

3. Фізична теорія надійності. Наука про надійність не може розвиватися без досліджень фізико-хімічних процесів, тому велика увага приділяється фізичній природі відмов, впливу старіння й міцності матеріалів на надійність, різноманітних зовнішніх і внутрішніх впливів на працездатність об'єктів. Сукупність досліджень фізико-хімічних процесів, що впливають на надійність об'єктів, полягли в основу фізичної теорії надійності.

### **1.1. Проблеми надійності виробів**

Причини виникнення проблеми надійності обладнання полягає у різкому ускладненні виробів, електронної апаратури, збільшення кількості елементів сучасного електротехнічного обладнання. Чим складніша і точніша апаратура, тим менш вона надійна; зріст складності системи перевищує зріст надійності елементів у цій системі; «відповідальність» функції виробу (елемента системи), при відмові якого простій або поломка всієї системи економічно недоцільна; складність умов, у яких здійснюється експлуатація виробу/системи.

Для застосування при аналізі надійності вагомої теорії імовірності система освітлення повинна бути надлишковою (надмірність – додаткові засоби та можливості для виконання системою заданих функцій). Надмірність системи виступає в наступних формах.

1. **Резервування** (підвищення надійності дублюванням елементів і функцій, надання додаткового часу для виконання завдання, використання надмірної інформації при керуванні);

2. **Удосконалення конструкцій і матеріалів**, з яких виконані елементи системи, підвищення їх запасів міцності, довговічності, стійкості несприятливим явищам зовнішнього та внутрішнього середовища;

3. **Удосконалення технічного обслуговування**, оптимізація періодичності і глибини капітальних і профілактичних ремонтів, зниження тривалості аварійних ремонтів;

4. **Удосконалювання систем контролю і керування процесами** в електротехнічному обладнанні. Проблема надійності керування електротехнічним обладнанням систем освітлення (як і інших технічних систем) за останні 2-3 десятиріччя різко загострилась.

**Це зумовлено наступними причинами:**

1. Різким збільшенням складності систем, що включають складні елементи і вузли;

2. Екстремальністю умов експлуатації багатьох елементів систем освітлення;

3. Підвищення вимог до якості роботи (ефективність, високі вимоги до вихідних параметрів);

4. Збільшення відповідальності функцій виконуваних системою, високою економічною й технічною ціною відмови;

5. Повною або частковою автоматизацією, широким використанням комп'ютерів для керування роботою системи, і як наслідок, виключенням або зменшенням безпосереднього контролю людиною роботи системи і її окремих елементів.

## **1.2. Основні поняття, терміни й визначення надійності**

Теорія надійності опирається на сукупність різних понять, визначень, термінів і показників, які строго регламентуються в державних стандартах (ДСТУ). Всі терміни й визначення даються стосовно до технічних об'єктів цільового призначення, розглянутим у періоди проектування, виробництва, експлуатації й випробуванні на надійність. Уведемо деякі терміни й поняття, використовувани в теорії надійності. **Система** – це технічний об'єкт, призначений для виконання певних функцій. Окремі частини системи

(конструктивно відособлені, як правило) називаються елементами. Однак необхідно помітити, що той самий об'єкт залежно від того завдання, що хоче вирішити конструктор (дослідник, проектувальник, розроблювач), може розглядатися як система або як елемент. Наприклад, радіостанція звичайно розглядається як система. Однак вона може стати елементом більшого об'єкта - радіорелейної лінії, розглянутої, як система. Отже, можна дати ще одне більше повне визначення елемента. **Елемент** - це об'єкт, що представляє собою найпростішу частину системи, окремі частини якої не представляють самостійного інтересу в рамках конкретного розгляду. При проектуванні система (пристрій) повинна задовольняти всім технічним вимогам. Ці вимоги можна розділити на: - основні, що забезпечують виконання заданих функцій; - допоміжні, зв'язані, зі зручністю експлуатації, зовнішнім виглядом і т.д. Відповідно до цього всі елементи системи ділять на основні й допоміжні. Допоміжні елементи не зв'язані безпосередньо з виконанням заданих функцій системи й не впливають на виникнення відмови.

Надійність містить у собі наступні властивості: безвідмовність, довговічність, збережність та ремонтпридатність.

**Безвідмовність** - властивість будь-якої технічної системи (ТС) безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого наробітку.

Здатність об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів називається **довговічністю**.

**Збережність** - це властивість ТС безупинно зберігати справний і працездатний стан протягом і після зберігання і транспортування. Збережність характеризується здатністю об'єкту протистояти негативному впливу умов зберігання та транспортування на його безвідмовність і довговічність. Тривале зберігання і транспортування об'єктів можуть знизити їх надійність при наступній роботі порівняно до об'єктів, які не піддаються зберіганню та транспортуванню.



**Ремонтопридатністю** називають властивість об'єкту, що полягає в пристосованості до попередження і виявлення причин виникнення відмов, ушкоджень і усуненню їх наслідків шляхом проведення ремонту та технічного обслуговування. Дана властивість є дуже важливою, тому що вона характеризує ступінь стандартизації і уніфікації елементів ТС, зручність їх розміщення з погляду доступності для контролю і ремонту, пристосованість до регулювальних операцій тощо. Технічний стан ТС у дійсний момент часу характеризується справністю або несправністю, працездатністю або непрацездатністю, а також граничним станом.

**Справним станом (справністю)** ТС називається такий її стан, при якому вона відповідає всім вимогам, установленим нормативно-технічною документацією (НТД). Якщо ТС не відповідає хоча б одному із цих вимог, то вона перебуває в несправному стані. Якщо ТС перебуває в стані, у якому вона здатна виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, установлених нормативно-технічною документацією (НТД), то вона перебуває в працездатному стані. Непрацездатним станом ТС називається стан, при якому значення хоча б одного заданого параметру не відповідає встановленим вимогам НТД. Поняття справності ширше поняття працездатності. Несправна система може бути працездатною і непрацездатною - все залежить від того, яким вимогам НТД не задовольняє розглянута система. Так, наприклад, якщо погнути корпус світильника, порушено його лакофарбове покриття, ушкоджена оптика, однак параметри джерела світла перебувають у межах норми, таким чином технічна система (ТС) вважається несправною, але в той же час працездатною. Справна ТС завжди працездатна. При тривалій експлуатації ТС може досягти граничного стану, при якому її подальша експлуатація повинна бути припинена через непереборне порушення вимог безпеки, при відході заданих параметрів за встановлені межі, або непереборного зниження ефективності експлуатації нижче припустимої, або необхідності проведення середнього або капітального ремонту.

**Відновлюваною** називається така система, працездатність якої у випадку виникнення відмови підлягає відновленню в розглянутій ситуації, якщо ж у розглянутій ситуації відновлення працездатності даної системи при її відмові 10 по якимось причинах вважається недоцільною або нездійсненною, така система називається невідновлюваною.

**Системою, що підлегла ремонту,** називається така система, несправність або працездатність якої у випадку виникнення відмови або ушкодження підлягають відновленню. У протилежному випадку, об'єкт називається неремонтуємым (найпростішим прикладом неремонтуємого об'єкту є розрядні джерела світла). Неремонтуємий пристрій завжди є невідновлюваним (наприклад, резистор, конденсатор, і т.п.). У той же час, ремонтуємий пристрій може бути як відновлюваним, так і невідновлюваним – все залежить від існуючої системи технічного обслуговування та ремонту, конкретної ситуації в момент відмови. Наприклад, в умові експлуатації освітлювальної установки, у якій відмовило ЕМПРА, є системою невідновлюваною; але на ремонтному заводі - уже відновлюваною. Загальним поняттям є поняття ремонтпридатності.

**Ремонтпридатність** - властивість об'єкту, що полягає в пристосованості до виконання його ремонту та техобслуговування. На практиці часто бувають такі ситуації, у яких потрібно, щоб пристрій, перебуваючи в режимі очікування, і, потім, почавши працювати в довільний момент часу, проробило б безвідмовно протягом необхідного проміжку часу. Стан працездатності пристрою в довільно обраний момент часу називається готовністю. Якщо при цьому працездатність пристрою буде зберігатися протягом заданого інтервалу часу, то тоді забезпечується так звана оперативна готовність пристрою. Якість електротехнічного обладнання систем освітлення - сукупність властивостей, що визначають ступінь придатності системи по призначенню;

**Крім цього медичним системам, як об'єктам (системам) для дослідження надійності властиві в повній або частковій мірі наступні властивості:**

- ✓ **старіння** - процес поступової зміни параметрів, викликаний дією різних факторів, незалежних від режиму роботи об'єкту;
- ✓ **зношування** - процес поступової зміни параметрів, викликаний дією факторів, наявність яких залежить від режиму роботи об'єкту;
- ✓ **резервування** - спосіб підвищення надійності об'єкту шляхом включення до нього додаткових елементів при проектуванні або в процесі експлуатації, а так само за рахунок використання надлишкової інформації або надлишкового часу;
- ✓ **гнучкість** - пристосованість об'єкту до збереження працездатності шляхом забезпечення різних режимів роботи;
- ✓ **термін служби** - календарна тривалість експлуатації об'єкту від початку або поновлення після ремонту до настання граничного стану;
- ✓ також готовність; оперативна готовність; відновлюваність; невідновлюваність.

Стосовно до перерахованих властивостей систем освітлення, як об'єкту вивчення надійності під показником надійності будемо розуміти кількісну характеристику одного або декількох її властивостей. У техніці при дослідженні надійності, поняття системи розглядається як сукупність елементів взаємодіючих між собою в процесі виконання заданих функцій. Для системи освітлення - це виробництво, передача і розподіл світлової енергії. Елементи системи – завершені пристрої, здатні виконувати локальні функції в системі. Для системи освітлення - це світлові прилади, джерела світла, трансформатори, лінії, розподільні мережі тощо. Будь-який елемент, у свою чергу, може розглядатися як окрема система. Наприклад, лінія складається з елементів: ізолятори, опори, фундаменти, проведення, троси, заземлювачі та ін. Розглядаючи властивості і характеристики елементів і систем при вивченні їх надійності, припускають їх як предмети певного

цільового призначення - об'єкти. Наприклад, при дослідженні надійності освітлювальної установки окремого архітектурного об'єкту вважаємо її системою, а елементи: світлові прилади, джерела світла, вимикачі тощо. Якщо розглядаємо надійність світлового приладу, то елементи – джерело світла, ПРА, відбивач тощо. Розподіл системи на елементи залежить від характеру розгляду (функціональне, конструктивне, схемне, оперативне й т.д.), точності дослідження, наявності статистичних матеріалів, масштабності об'єкта в цілому

### **1.3. Ушкодження і відмови. Класифікація**

Іншими важливими поняттями в теорії надійності і практиці експлуатації технічних систем (ТС) є ушкодження і відмови. Ушкодженням називається подія, що полягає в порушенні справності ТС або її складових частин через вплив зовнішніх умов, що перевищують рівні, установлені науково-технічною документацією.

**Відмова** - це випадкова подія, що полягає в порушенні працездатності ТС під впливом ряду випадкових факторів. Ушкодження може бути істотним і з'явитися причиною відмови й несуттєвим, при якому працездатність ТС зберігається. Стосовно до відмови і ушкодження розглядають критерій, причину, ознаки прояву, характер і наслідки. Працездатний стан ТС визначаються безліччю заданих параметрів і допусками на них - припустимими межами їхньої зміни. Критерієм відмови є ознаки виходу хоча б одного заданого параметра за встановлений допуск.

Критерії відмови повинні вказуватися в науково-технічній документації на об'єкт. Причинами відмови можуть бути прорахунки, допущені при конструюванні, дефекти виробництва, порушення правил і норм експлуатації, ушкодження, а також природні процеси зношування й старіння.

Ознаки відмови або ушкодження проявляють безпосередні або непрямі впливи на органи почуттів спостерігача (оператора) явищ, характерних для непрацездатного стану об'єкта, або процесів з ними зв'язаних. Відмови об'єктів технічних систем можуть бути різних видів і класифікуються за різними ознаками (табл. 1.1).

**Таблиця 1.1 – Класифікація відмов**

Ознаки відмови	Тип відмови	Характеристика відмови
1	2	3
Характер зміни параметру до моменту виникнення відмови	Раптовий	Стрибкоподібна зміна значень одного або декількох параметрів технічної системи
	Поступовий	Поступова зміна одного або декількох параметрів за рахунок повільного, поступового погіршення якості системи. (Наприклад, зменшення світлового потоку джерела світла із часом - поступова відмова)
Зв'язок з відмовами інших елементів (вузлів, пристроїв)	Незалежний (первинний)	Відмова не обумовлена ушкодженнями або аномаліями інших елементів (вузлів)
	Залежний (вторинний)	Відмова обумовлена ушкодженнями або відмовами інших елементів (вузлів, пристроїв). (Наприклад, внаслідок пробую конденсатора може згоріти інший елемент пристрою)
Можливість використання елемента після відмови	Повний	Повна втрата працездатності, що виключає використання технічної системи за призначенням
	Частковий	Подальше використання системи можливо, але з меншою ефективністю

## ЛЕКЦІЯ 2.

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ

#### 2.1. Етапи аналізу і показники надійності систем

Існують два основних етапи аналізу надійності будь-якої медичної технічної системи.

Перший етап називається **апріорним аналізом надійності** й звичайно проводиться на стадії проектування системи. Цей аналіз базується на апріорних (імовірнісних) характеристиках надійності, які лише приблизно відбивають дійсні процеси в апаратурі системи. Проте, цей аналіз дозволяє на стадії проектування виявити слабкі з погляду надійності місця в конструкції, вжити необхідні заходи до їх усунення, а так само відвернути незадовільні варіанти побудови системи. Тому апріорний аналіз (або розрахунок) надійності має істотне значення в практиці проектування систем і становить невід'ємну частину технічних проектів.

Другий етап називається **апостеріорним аналізом надійності**. Його проводять на підставі статистичної обробки експериментальних даних про працездатність і відновлюваність системи і її елементів, отриманих у процесі їхнього відпрацювання, випробувань і експлуатації. Метою таких випробувань є одержання оцінок показників надійності об'єкта досліджень. Ці оцінки одержують методами математичної статистики за результатами спостережень (обмеженого об'єму). При цьому найчастіше припускають, що результати спостережень є випадковими величинами, які підкоряються певному закону розподілу з невідомими параметрами. У кожному разі під аналізом надійності ТС будемо розуміти визначення (обчислення) конкретних значень показників надійності (апріорний аналіз), або статистичних оцінок показників надійності (апостеріорний аналіз). Показниками надійності називаються кількісні характеристики одного або декількох властивостей, що визначають надійність елемента (системи).

Розрізняють два основних види показників надійності (ПН).

**Одиничний ПН** - це кількісна характеристика одного з розглянутих раніше властивостей надійності.

**Комплексний ПН** - це кількісна характеристика, що визначає дві або більше властивості надійності одночасно. Вибір ПН багато в чому залежить від призначення системи і характеру її функціонування. При виборі ПН варто мати на увазі, що ці показники повинні досить повно описувати властивості надійності системи, бути зручними для аналітичного розрахунку та експериментальної перевірки за результатами випробувань, повинні мати розумний фізичний зміст і, нарешті, допускати можливість переходу до показників якості й ефективності.

## **2.2. Фактори, що впливають на надійність медичного обладнання**

При аналізі надійності доцільно розглядати три етапи в створенні системи або окремого виробу:

1. Проектування
2. Виготовлення
3. Експлуатація

Фактори, що впливають на надійність медичного обладнання при проектуванні: Кількість і якість елементів у системі впливає на надійність. Збільшення кількості елементів, що використано, приводить до різкого погіршення надійності всієї системи в цілому. Крім того, застосування менш надійних елементів також приводить до погіршення надійності всієї системи.

**Режим роботи елементів.** Найнадійніші елементи, які працюють у важкому, непередбаченому режимі, можуть стати джерелом частих відмов. Для кожного елемента встановлюються технічні умови на режим його роботи, які необхідно вибирати у відповідності зі строго регламентованими нормами.

**Застосування стандартних і уніфікованих елементів різко підвищує надійність системи.** Технологія виробництва цих елементів відпрацьована, надійність їх відома.

Конструктор/проектувальник зобов'язаний передбачити легкий доступ до блоків, елементам системи/установки, передбачити сигналізацію про відмову якого-небудь елемента для оперативного вилучення ушкодженого.

Фактори, що впливають на надійність медичного обладнання у процесі виготовлення:

1. Якість матеріалів. Необхідний якісний вхідний контроль матеріалів і комплектуючих виробів, що надходять від інших підприємств;
2. Якість зберігання матеріалів і комплектуючих виробів;
3. Чистота робочих місць, обладнання у приміщенні, охайність робітника;
4. Дотримання технології виготовлення та збірки: термообробка, антикорозійні покриття і т.і.

Фактори, що впливають на надійність медичного обладнання у процесі експлуатації:

1. Кваліфікація обслуговуючого персоналу. Цей фактор доведений практикою.
2. На надійність впливають зовнішні умови: кліматичні умови, вібрації, перевантаження, удари. Також небажаним зовнішнім фактором є часте вмикання та вимикання апаратури.
3. Фактор часу впливає на надійність. Тривалість експлуатації апаратури з моменту випуску до капітального ремонту може становити декілька років. До кінця цього періоду підвищується небезпека виникнення відмов окремих елементів.

**2.3. Технологічні особливості забезпечення надійності в медичних системах**



При вирішенні будь-якої задачі з оцінки надійності технологічних систем виходять з наступних передумов:

1) Надійність технологічних систем повинна оцінюватися тільки за тими параметрами і показниками якості виготовленої продукції, рівень яких залежить від даної операції. Наприклад, при шліфуванні валу обробці підлягає тільки одна поверхня, а інші не змінюються. За цим оцінка надійності такої операції залежить від умов забезпечення необхідного розміру і шорсткості тільки оброблюваної поверхні.

Багато показників ергономічності і технічної естетики однозначно визначаються конструкцією виробу і не залежать від надійності технологічних операцій (наприклад, розташування та кількість точок змащення в виготовлюваному виробі, оглядовість і т. д.). Тому при розрахунку надійності технологічних операцій такі показники якості готового виробу не повинні враховуватися.

2) При розрахунку надійності технологічних систем слід виходити з того, що в конструкторській документації однозначно задані номінальні значення і показники якості готового виробу. При оцінці ж надійності технологічних операцій (як у процесі технологічної підготовки виробництва, так і в серійному виготовленні) слід лише враховувати, наскільки процес виготовлення забезпечує дотримання встановлених вимог, і не розглядати при цьому відповідності сучасному рівню показників, закладеному у конструкторській документації. Це означає, що технологічний процес може мати високої надійністю, хоча отримана при його реалізації продукція може ставитися до другої категорії якості.

3) При оцінці надійності технологічних систем в умовах серійного виробництва слід виходити із заданих у технологічній документації технологічних маршрутів, режимів та засобів технологічного оснащення.

4) Відпрацювання технологічних операцій і процесів за показниками надійності на етапі підготовки виробництва повинна проводитися шляхом

відшукування кращого технологічного рішення за економічними критеріями та ймовірності виконання завдання за показниками якості виготовленої продукції та параметрами продуктивності.

Оцінка надійності технологічних систем зводиться до диференційованої оцінки показників безвідмовності, довговічності і ремонтпридатності або до обчислення, при необхідності, комплексних показників, що характеризують одночасно всі складові властивості надійності.

Оцінка безвідмовності зводиться до визначення:

- Ймовірності того, що даний технологічний процес (або операція) забезпечить виготовлення продукції відповідно до необхідних технічною документацією показниками якості протягом заданого інтервалу часу без вимушених перерв при одночасному забезпеченні заданого обсягу виробництва в одиницю часу (ритму запуску);

- Середнього напрацювання до відмови;

- Параметра потоку відмов.

При оцінці показників безвідмовності не враховуються вимушені простої обладнання, зумовлені організаційними причинами.

Для безперервних технологічних операцій за напрацювання приймається тривалість (ч); для дискретних технологічних операцій (штампування і т. д.) - число оброблених деталей або число оброблених прутків (при виготовленні деталей з пруткового матеріалу).

При оцінці безвідмовності автоматичних ліній, а також технологічних операцій, за одиницю напрацювання приймається кількість виготовлених деталей після фінішної операції.

Операція контролю повинна розглядатися як невід'ємна частина відповідних технологічних операцій.

Відмовою технологічної системи за показниками якості не слід вважати подію після операції обробки відхилення від вимог технічної документації по одному з показників якості, виявлене при операції, в результаті чого

дефектна деталь або ізольована або спрямована на доопрацювання (переробку). При оцінці безвідмовності за параметрами продуктивності час виготовлення дефектної продукції повинно враховуватися як час, витрачений на усунення відмови.

Для дорогих і трудомістких у виготовленні виробів безвідмовність повинна оцінюватися для операції обробки і окремо для контрольної операції.

Оцінка довговічності зводиться до визначення:

- Тривалості функціонування технологічної системи до відмови, капітального ремонту, між ремонтами, до повної заміни;

- Напрацювань системи до тих же періодів.

Оцінка ремонтпридатності технологічної системи зводиться:

- До визначення показників, що характеризують тривалість і вартість виявлення та усунення відмов;

- До встановлення часу, потрібного для приведення системи в робочий стан;

- До усунення показників, що характеризують трудомісткість і вартість операцій технічного обслуговування технологічних систем, подналадок, зміни інструмента.

Оцінка надійності технологічних систем проводиться шляхом обчислення показників надійності на етапах технологічної підготовки виробництва, серійного виготовлення, а також після капітального ремонту або найважливіших елементів технологічних систем.

Основна мета оцінок надійності технологічних систем - приведення технологічних процесів в такий стан, при якому забезпечується виготовлення продукції відповідно до встановлених у технічній документації параметрами і показниками якості при одночасному забезпеченні максимальної продуктивності і мінімумі втрат від браку. У залежності від етапу проведення оцінок можуть вирішуватися приватні задачі:

- При плануванні - встановлення обсягів виробництва окремих ділянок і цехів, визначення обґрунтованих норм точності;

- При технологічній підготовці виробництва - вибір оптимальних технологічних процесів (вибір режимів обробки, встановлення місць контрольних операцій у технологічному процесі і планів контролю);

- При серійному виробництві - визначення відповідності параметрів технологічної системи встановленим вимогам, виявлення негативних факторів і розробка заходів щодо підвищення надійності або точності і стабільності технологічних процесів;

- Після проведення ремонтів технологічних систем – оцінка якості ремонту.

Ці ж методи можуть бути використані для організації приймально-здавальних випробувань після ремонту основних елементів технологічних систем або після їх модернізації.

В основу сучасного розвитку робіт з теорії надійності можуть бути покладені такі передумови:

- Більшість відмов, які з'являються при експлуатації виробів, можна було передбачити заздалегідь, тому їх не можна вважати випадковими;

- Більшість раптових відмов пояснюються недоробкою і помилками конструювання, виготовлення і збірки, тому необхідно не просто констатувати факти появи раптових відмов, а розробляти способи, що виключають їх можливість;

- Більшість методів промислового контролю в дійсності не дозволяє виявити дефекти; потрібні нові методи контролю, що дають можливість прогнозувати моменти появи відмов з метою своєчасного прийняття необхідних заходів, що виключають раптовий характер відмов;

- Надійність технічних систем повинна оцінюватися ще на стадії проектування;

- Управління надійністю повинно носити комплексний характер і забезпечуватися на етапах проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту.

### **2.3.1. Властивості медичної системи, що впливають на надійність її роботи**

- ✓ безперервність і твердий зв'язок у часі процесів виробництва, розподілу й споживання медичної апаратури;
- ✓ імовірнісний характер формування навантажень, обумовлених умовами функціонування;
- ✓ швидкість протікання аварійних процесів;
- ✓ вирішальний вплив вимог до надійності медичного обладнання, високі вимоги до системи керування;

### **2.3.2. Поняття про структурну й функціональну надійність медичних систем**

Виділення в надійності медичної системи складових: структурної і функціональної дозволяє спростити методи її аналізу й точніше намітити заходи щодо зміни її рівня.

**Структурна надійність** - обумовлена взаємодією елементів медичної системи, їх зв'язками, пропускними здатностями без врахування їх функцій у системі (особливо важливою є структурна надійність в проектуванні).

**Функціональна надійність** – її прогнозування опирається на аналізі режимів, їх обмежень, пропускної здатності при зміні структури медичної системи (особливо важливою є функціональна надійність при експлуатації). Показники структурної надійності визначають для вузлів навантаження (імовірність безвідмовної роботи, імовірність відмови, параметр потоку відмов, наробіток до відмови із заданою імовірністю її максимуму, іноді

збиток). Для оцінки структурної надійності використовують імовірнісні моделі, засновані на середніх імовірностях станів елементів ( $K_r$ ,  $K_p$  - змушеного простою, потоку відмов (частоти)).

**Допущення:** відмови елементів - незалежні, виключаються відмови від загальних факторів (ураган, ожеледь); час безвідмовної роботи багато більше часу відновлення.

### ЛЕКЦІЯ 3.

## ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І КОРОТКІ ВІДОМОСТІ З ТЕОРІЇ ІМОВІРНОСТЕЙ

В історії теорії ймовірностей можна виділити наступні етапи.

1. Передісторія теорії ймовірностей. У цей період, початок якого губиться в далечині століть, ставилися й примітивно вирішувалися елементарні задачі, які пізніше будуть віднесені до теорії ймовірностей. Ніяких спеціальних методів у цей період не виникає. Іде нагромадження матеріалу. Цей період кінчається в XVI в. роботами Кардано, Пачолі, Тарталья й ін.

2. Виникнення теорії ймовірностей як науки. У цей період виробляються перші специфічні поняття, такі, як математичне очікування. Установлюються перші теореми-теореми додавання й множення ймовірностей. Початок цього періоду пов'язане з іменами Паскаля, Ферма, Гюйгенса. Цей період триває від середини XVII в. до початку XVIII в. У цей час теорія ймовірностей знаходить свої перші застосування в демографії, страховій справі, в оцінці помилок спостереження.

3. Наступний період починається з появи роботи Я. Бернуллі «Мистецтво припущення» (1713 р.). Це перша робота, у якій була строго доведена гранична теорема — найпростіший випадок закону більших чисел. Теорема Бернуллі дала можливість широко застосовувати теорію ймовірностей до статистики. До цього періоду ставляться роботи Муавра, Лапласа, Гаусса, Пуассона й ін.; теорія ймовірностей починає застосовуватися в різних областях природознавства. Центральне місце в цьому періоді займають граничні теореми.

4. Наступний період розвитку теорії ймовірностей зв'язаний, насамперед, з росіянці (Петербурзької) школою. Тут можна назвати такі імена, як Чебишев П.Л., Марков А.А., Ляпунов А.М. У цей період поширення закону більших чисел і центральної граничної теореми на різні класи випадкових величин досягає своїх природних границь. Закони теорії ймовірностей стали застосовуватися до залежних випадкових величин. Все це дало можливість прикласти теорію ймовірностей до багатьох розділам природознавства, у першу чергу - до фізики. Виникає статистична фізика, що розвивається у взаємозв'язку з теорією ймовірностей.

5. Сучасний період розвитку теорії ймовірностей почався із установлення аксіоматики. Цього в першу чергу, вимагала практика, тому що для успішного застосування теорії ймовірностей до фізики, біології й іншим галузям науки, а також до техніки й військової справи необхідно було уточнити й привести в струнку систему її основні поняття. Завдяки аксіоматиці теорія ймовірностей стала абстрактно-дедуктивною математичною дисципліною, тісно пов'язаною з теорією множин, а через неї-з іншими математичними дисциплінами. Це обумовило небувалу широту досліджень по теорії ймовірностей, починаючи від хазяйновито – прикладних питань і закінчуючи самими тонкими питаннями кібернетики. Перші роботи цього періоду пов'язані з іменами Бернштейна, Мизеса, Бореля. Остаточне встановлення аксіоматики відбулося в 30-е роки ХХ в., коли була опублікована, і одержала загальне визнання аксіоматика А.Н. Колмогорова.

В останні час намітилися нові підходи до основних понять теорії ймовірностей. Про це свідчить появу теорії надійності, теорії інформації, теорії масового обслуговування й т.п.



Розглянемо динаміку розвитку визначення поняття ймовірності; такого поняття в теорії ймовірностей, як математичне очікування, а також відомого закону більших чисел.

Простеживши розвиток цих понять від найпростіших уявлень до закінчених і обміркованих їхніх форм, можливо глибше зрозуміти їхній зміст, що, безсумнівно, важливо з методичної точки зору.

### 3.1. Основи теорії множин

Теорія імовірностей - математична наука, що вивчає закономірності у випадкових явищах. Одним з основних понять є поняття випадкової події (надалі просто подія). **Подією** називається всякий факт (результат), що у результаті досвіду (випробування, експерименту) може відбутися або не відбутися. Кожному з таких подій можна поставити у відповідність певне число, назване його ймовірністю і є мірою можливого здійснення цієї події. Сучасна побудова теорії ймовірностей ґрунтується на аксіоматичному підході й опирається на елементарні поняття теорії множин.

**Множина** – це будь-яка сукупність об'єктів довільної природи, кожний з яких називається елементом множини. Множини позначаються по-різному: або однією великою буквою або перерахуванням його елементів, даним у фігурних дужках, або вказівкою (у тих же фігурних дужках) правила, по якому елемент ставиться до множини. Наприклад, кінцева множина  $M$  натуральних чисел від 1 до 100 може бути записане у вигляді

$$M = \{1, 2, \dots, 100\} = \{i - \text{ціле}; 1 \text{ і } 100\}.$$

Припустимо, що проводиться деякий дослід (експеримент, випробування), результат якого заздалегідь невідомий, випадковий. Тоді множина  $\Omega$  всіх можливих ісходів дослідження представляє простір елементарних подій, а кожний його елемент  $\alpha \in \Omega$  (один окремий результат дослідження) є елементарною подією. Будь-який набір елементарних подій (будь-яке їх сполучення) вважається підмножиною (частиною) множини  $\Omega$  і є

випадковою подією, тобто будь-яка подія  $A$  – це підмножина множини  $\Omega$ :  $A \subseteq \Omega$ . Наприклад, простір елементарних подій при включенні лише одного з шести рівнів освітлення становить шість можливих ісходів  $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ . З урахуванням порожньої множини  $\emptyset$ , що взагалі не містить елементів, у просторі може бути виділене в цілому  $2^6 = 64$  підмножини:

$$\emptyset; \{1\}; \dots; \{6\}; \{1, 2\}; \dots; \{5, 6\}; \{1, 2, 3\}; \dots; \Omega.$$

У загальному випадку, якщо множина  $\Omega$  містить  $n$  елементів, то в ньому можна виділити  $2^n$  підмножин (подій). Розглядаючи подію  $\Omega$  (адже кожна множина є своя власна підмножина), можна відзначити, що вона є достовірною подією, тобто здійснюється при будь-якому досліді. Порожня множина  $\emptyset$  як подія є неможливою, тобто при будь-якому досліді свідомо не може відбутися. Для попереднього прикладу: достовірна подія  $\Omega = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\} = \{\text{включення лише одного з шести рівнів освітлення}\}$ ; неможлива подія  $\emptyset = \{7\} = \{\text{включення двох рівнів освітлення при вмиканні одного вимикача}\}$ .

**Сумісні (неспільні) події** – такі події, поява одної з яких не виключає (виключає) можливості появи іншої.

**Залежні (незалежні) події** – такі події, поява одного з яких впливає (не впливає) на появу іншої події. Протилежна подія щодо деякого обраної події  $A$  – подія, що складається з не появи цієї обраної події (позначається  $\bar{A}$ ).

**Повна група подій** – така сукупність подій, при якій у результаті досліді має відбутися хоча б одна з подій цієї сукупності. Відомо, що події  $A$  і  $\bar{A}$  становлять повну групу подій. Одна із причин застосування теорії множин у теорії імовірностей полягає в тому, що для множин визначені важливі перетворення, які мають просте геометричне подання і полегшуюче розуміння змісту цих перетворень. Воно зветься діаграмою Ейлера-Венна, і на ній простір  $\Omega$  зображується у вигляді прямокутника, а різні множини – у вигляді плоских фігур, обмежених замкнутими лініями. Приклад діаграми, що ілюструє включення множин  $C \subseteq B \subseteq A$ , наведений на рис. 3.1.

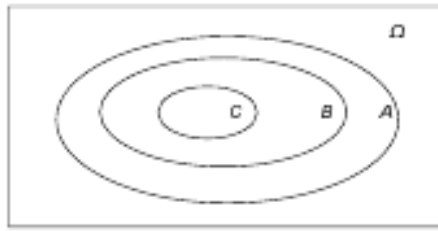


Рис. 3.1 – Включення множин  $C \subset B \subset A$

Згідно рис. 3.1.  $B$  є підмножиною  $A$ , а  $C$  – підмножиною  $B$  (і одночасно підмножиною  $A$ ).

### 3.2. Основні поняття теорії ймовірностей

Надійність виробу залежить від численного комплексу факторів, обумовлених як внутрішніми властивостями виробу, так і впливом зовнішніх умов. Це приводить до того, що процес виникнення відмов, а також інші характеристики надійності носять випадковий характер. Для дослідження випадкових явищ використовуються імовірнісні методи. Розглянемо поняття «подія».

**Подія** - це всякий факт, що у результаті досліду може відбутися або не відбутися. Прикладом події може служити безвідмовна робота виробу. Подія достовірна - якщо вона обов'язково з'являється в результаті даного досліду.

**Неможлива подія** - якщо вона не може з'явитися в результаті даного досліду.

**Випадкова подія** - подія, що може з'явитися, а може й не з'явитися в результаті даного досліду.

**Імовірність події** - це ступінь можливості появи цієї події. Більше ймовірними є ті події, які відбуваються частіше. Менш ймовірними є ті події, які відбуваються рідше. Мало ймовірними є ті події, які майже ніколи не відбуваються. Достовірній події можна приписати ймовірність, рівну одиниці. Неможливій події можна приписати ймовірність, рівну нулю.  $P(A)$  - ймовірність події  $A$ . Розглянемо послідовність  $n$  однакових дослідів. Припустимо, що в результаті кожного досліду реєструється поява або

непоява деякої події  $A$ . Нехай:  $m$  - число появ події  $A$  при  $n$  дослідах;  $n$  - загальне число зроблених досвідів.

$$P(A) = m/n ;$$

Тут  $P(A)$  - частота події  $A$ .

При  $n \rightarrow \infty$   $(P A) \rightarrow (P A)$ .

Частота події  $P(A)$  при  $n \rightarrow \infty$  сходиться за імовірністю до імовірності цієї події  $P(A)$ .

### 3.2.1. Класифікація подій

Кілька подій у даному досвіді утворюють повну групу подій, якщо в результаті досвіду повинне з'явитися хоча б одне з них. Прикладом подій, що утворюють повну групу можуть служити безвідмовна робота виробу і його відмова.

Неспільні події: кілька подій називаються неспільними в даному досвіді, якщо ніякі два з них не можуть з'явитися разом. Якщо в даному досвіді можуть мати місце дві неспільних події, то вони називаються протилежними.  $A$  - подія (безвідмовна робота виробу)  $\bar{A}$  - протилежна подія (відмова виробу).

Сумою декількох подій називається подія, що складається в появі хоча б одного із цих подій

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

Добутком декількох подій називається подія, що складається в спільній появі всіх цих подій

$$A = A_1 * A_2 * \dots * A_n$$

### 3.2.2. Алгебра подій

У прикладних задачах основними є не прямі, а непрямі методи обчислення зазначених імовірностей, подій через імовірності інших, з ними

зв'язаних. Для цього потрібно вміти виражати події, що цікавлять нас, через інші, тобто використати алгебру подій.

Відзначимо, що всі поняття, що нижче вводяться, справедливі тоді, коли події про які мова йде, являють собою підмножини того самого простору елементарних подій.

Сума або об'єднання подій  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – така подія  $A$ , поява якого в досліді еквівалентно появі в тім же досліді хоча б одного з подій  $A_1, A_2, \dots, A_n$ .

Добуток або перетин подій  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – така подія  $A$ , поява якої у досліді еквівалентна появі в тому же досліді всіх подій  $A_1, A_2, \dots, A_n$  одночасно.

Операції додавання і множення подій володіють рядом властивостей, властивих звичайним додаванню й множенню, а саме: переместительним, сполучним і розподільною властивостями, які очевидні й не мають потреби в поясненні. Діаграми Ейлера-Венна для суми (а) і добутку (б) двох подій  $A_1$  і  $A_2$  наведені на рис. 3.2.

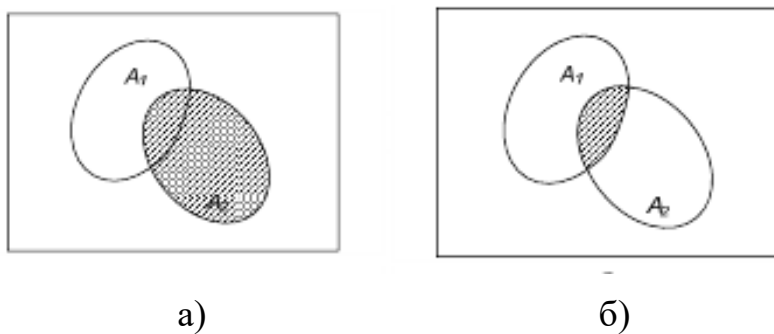


Рис.3.2 – Діаграма Ейлера-Венна:

а - сума двох подій, б - добуток двох подій

Сумою (об'єднанням) подій  $A_1$  і  $A_2$  є подія, що складається в появі хоча б одного із цих подій (заштрихована область на рис. 3.2, а). Добуток подій  $A_1$  і  $A_2$  ця подія, що складається в спільному виконанні обох подій (заштриховане перетинання подій  $A_1$  і  $A_2$  – рис. 3.2, б).

## ЛЕКЦІЯ 4.

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

#### 4.1. Загальні поняття про моделі надійності

Для рішення завдань оцінки надійності і прогнозування працездатності об'єкта необхідно мати математичну модель, що представлена аналітичними виразами одного з показників роботи об'єкту досліджень  $P(t)$  або  $f(t)$  або  $\lambda(t)$ . Основний шлях для одержання моделі складається в проведенні випробувань, обчисленні статистичних оцінок і їх апроксимації аналітичними функціями. Вигляд аналітичної функції, що описує зміну показників надійності  $P(t)$ ,  $f(t)$  або  $\lambda(t)$ , визначає закон розподілу випадкової величини, що обирається залежно від властивостей об'єкту, умов його роботи й характеру відмов.

#### 4.2. Статистична обробка результатів випробувань і визначення показників надійності

*Постановка завдання* Підбор закону розподілу здійснюється на основі апроксимації (згладжування) експериментальних даних про напрацьовування до відмови, які повинні бути представлені в найбільш компактному графічному вигляді. Вибір тої або іншої апроксимуючої функції носить характер гіпотези, що висуває дослідник. Експериментальні дані можуть із більшою або меншою правдоподібністю підтверджувати або не підтверджувати справедливість тої або іншої гіпотези. Тому дослідник повинен одержати відповідь на таке питання: чи відповідають результати експерименту гіпотезі про те, що випадкова величина напрацьовування підпорядкована обраному закону розподілу? Відповідь на це питання надається в результаті розрахунку спеціальних критеріїв. Алгоритм обробки

результатів і розрахунку показників надійності Формування статистичного ряду. При великій кількості випробовуваних об'єктів отриманий масив напрацьовувань  $\{\dots, t_i, \dots\}$  є громіздкою і мало наочною формою запису випадкової величини  $T$ . Тому для компактності та наочності вибірка представляється в графічному зображенні статистичного ряду - гістограмі напрацьовування до відмови (рис. 4.1.). Для побудови діаграми необхідно:

- установити інтервал напрацьовування  $[t_{\min}, t_{\max}]$  і його довжину;
- розбити інтервал напрацьовування  $[t_{\min}, t_{\max}]$  на  $k$  інтервалів рівної ширини  $t$  – крок гістограми.
- отриманий статистичний ряд представляється у вигляді гістограми, на якій по осі абсцис ( $t$ ) відкладаються інтервали  $t$ , на кожному з яких, як на підставі, будується прямокутник, висота якого пропорційна (в обраному масштабі) відповідній частоті (рис. 4.1.).

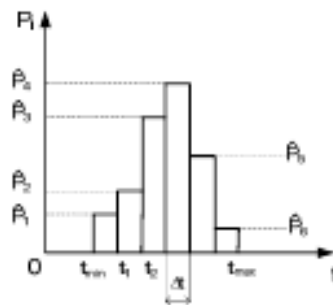


Рис. 4.1 – Стандартний вигляд гістограми напрацьовування до відмови

### 4.3. Залежність інтенсивності відмов від часу

Для більшості технічних систем характерні три види залежностей інтенсивності відмов від часу, які відповідають трьом «періодам життя» цих пристроїв - період приробітку, у якому проявляються дефекти технології і виготовлення і які не властиві конструкції; період нормальної експлуатації, протягом якого виникають раптові відмови, властиві самої конструкції; період зношування, викликаного процесами старіння. Апріорний (імовірнісний) аналіз надійності електротехнічного обладнання систем освітлення, як будь-якої технічної системи, полягає у визначенні конкретних

значень показників надійності. При цьому розподіл імовірностей безвідмовної роботи системи від моменту включення до моменту відмови, що називається математичною моделлю безвідмовності, у різних об'єктів протікає по-різному. Інакше кажучи, час між сусідніми відмовами для елементів, вузлів, блоків, підсистем і систем є безперервною випадковою величиною, що характеризується певним законом розподілу, що залежить і від «періодів життя» самої системи, і від її окремих вузлів, блоків і т.д., і від типу самої технічної системи в цілому.

**Експоненційний розподіл.** При експоненційному законі розподілу часу безвідмовної роботи деякої випадкової величини інтенсивність відмов досліджуваної системи є величиною постійної:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const}$$

Експоненційний закон надійності справедливий для опису раптових відмов, коли вироб не встигає ще зноситися, тобто не старіє. Для експоненційного закону розподілу імовірність безвідмовної роботи на деякому інтервалі часу не залежить від минулого часу  $\tau$ , а залежить лише від  $\tau$ . (рис. 4.4).

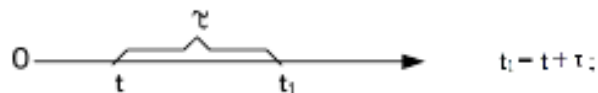


Рис. 4.4 – Графічне подання імовірності безвідмовної роботи для експоненційного закону розподілу



## ЛЕКЦІЯ 5.

### ПРОГНОЗУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ

#### 5.1. Вибір і обґрунтування показників надійності

При проектуванні медичного обладнання необхідно здійснювати ряд заходів щодо забезпечення надійності. Основними з них є наступні: Вибір і обґрунтування принципів техобслуговування. Вибір основного показника надійності. Призначення норм надійності. Розподіл норм надійності системи по елементах.

1. Вибір і обґрунтування принципів техобслуговування. Існують наступні три основних види технічного обслуговування й ремонту: За календарними строками незалежно від напрацьовування об'єкту. За виробленням встановлених заздалегідь міжремонтних ресурсів. За технічним станом. Техобслуговування і ремонт за календарними строками приводять до невиправданих матеріальних витрат, тому що не враховують чи використовувався об'єкт раніше. Техобслуговування і ремонт за виробленням ресурсу незначно ускладнює конструкцію об'єкта (за рахунок вимірника напрацьовування). Організація техобслуговування залишається тут порівняно простою. Однак економія засобів використовується не повністю. При техобслуговуванні за технічним станом періодично контролюється визначальний параметр. Рішення про заміну, ремонт і техобслуговування приймається за результатами контролю, коли визначальний параметр характеризує наближення системи до відмови або до границі допуску. При цьому значно скорочуються витрати на обслуговування, на дорогі елементи і підвищується надійність.

2. Принципи вибору показників надійності. При порівнянні об'єктів за надійністю виявляється, що показники надійності нерівнозначні. Звідси випливає необхідність розробки методики вибору нормованих показників надійності. У наші дні нерідко використовують загальну методику вибору

показників надійності. Вона полягає у наступному: Збирають відомості про систему, в яку входить розглянутий об'єкт, і послідовно аналізують фактори, що впливають на вибір показників надійності.

Установлюють призначення об'єкта. При цьому всі об'єкти поділяються на три групи:

а) об'єкти, призначені для роботи в системах, ефективність яких може бути оцінена економічними показниками;

б) об'єкти, функціонування яких може бути пов'язане із забезпеченням безпеки;

в) об'єкти, для яких не можна вказати призначення систем, у яких вони будуть використані.

Розглянемо об'єкти першого типу. Більшість застосовуваних показників економічної ефективності є функціями від математичного очікування  $\xi$  і  $\eta$ , де:  $\xi$  - вихідний корисний ефект,  $\eta$  - витрати на техобслуговування й експлуатацію. Величини  $\xi$  і  $\eta$  залежать від випадкових величин: напрацьовування до відмови  $T$ , часу (напрацьовування) між відмовами  $T$ , часу відновлення  $T_v$ . Для відновлюваних об'єктів, коли перерви в роботі припустимі, маємо залежність:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \xi(\tilde{T}, T_v) \\ \eta &= \eta(\tilde{T}, T_v) \end{aligned} \right\}$$

Таким чином, для відновлюваних об'єктів, у яких припустимі перерви в роботі, основними показниками надійності є  $T_{cp}$  і  $T_{срв}$  або комплексний показник КГ, що залежить від цих двох показників. Для відновлюваних об'єктів, у яких перерви в роботі не припустимі, маємо релейну залежність функції  $\phi$ , тобто корисний ефект може бути отриманий лише при безвідмовній роботі протягом заданого часу ( $t_j, t_{j+1}$ ). Тому для таких систем обирається інтервальний показник надійності - імовірність безвідмовної роботи протягом заданого інтервалу часу. При призначенні показників надійності систем другого типу (з умов безпеки) необхідно виділити основні фактори, що впливають на безпеку. Відповідні математичні моделі повинні

враховувати випадкові процеси, що протікають у системі після появи відмов.

38 Для третьої групи об'єктів, для яких не можна вказати тип системи, доцільно призначати одну будь-яку повну характеристику надійності: Для неремонтуємих виробів - функція надійності  $P(t)$  або щільність розподілу наробітку до відмови  $f(t)$ , або інтенсивності відмов  $\lambda(t)$ . Для ремонтуємих виробів, що є невідновлюваними у процесі застосування, обчислюють або імовірність безвідмовної роботи  $P(t_1, t_2)$  на інтервалі часу  $(t_1, t_2)$ , або параметр потоків відмов  $Q(t)$ . Для ремонтуємих відновлюваних у процесі застосування виробів показники надійності обчислюють в календарному часі. Для виробів, перерви в роботі яких припустимі, у якості показників надійності використовують функцію готовності  $G(t)$ . Для виробів, перерви в роботі яких неприпустимі, у якості показника надійності використовують імовірність безвідмовної роботи  $P(t_1, t_2)$ .

На практиці, якщо відомо або передбачається певний тип закону розподілу часу безвідмовної роботи (напрацьовування до відмови), доцільно задавати:

1. При показовому розподілі один з наступних показників:
  - інтенсивність відмов  $\lambda$ ;
  - середнє напрацьовування до відмови  $T_{ср}$ ;
  - імовірність безвідмовної роботи  $P(\Delta t_i)$  на заданому інтервалі часу  $\Delta t_i$ .
2. При двопараметричному законі розподілу напрацьовування до відмови або між відмовами використовують два показники (наприклад, при нормальному розподілі):
  - $T_{ср}$ ,
  - $\sigma T$ ;

$P(t_1)$ ,  $P(t_2)$  - значення імовірності безвідмовної роботи при двох значеннях інтервалу часу роботи  $(0, t_1)$  і  $(0, t_2)$ .

Якщо тип закону невідомий, то рекомендується задавати значення:

- $P(t)$  або  $\lambda(t)$ ;
- або  $q(t)$  - параметр потоку відмов;

- або інші показники надійності не менш чим при трьох значеннях заданого напрацьовування (часу).

## 5.2. Призначення норм надійності

Після вибору основних показників надійності необхідно задати чіткі значення цих показників. При цьому необхідно враховувати економічні розрахунки і можливості виробництва. Спочатку знаходять норми надійності, що відповідають можливостям виробництва. Потім їх уточнюють і вибирають заходи щодо підвищення надійності, найбільш вигідні економічно. При складанні технічного завдання обґрунтувати кількісні норми (вимоги) за надійністю та інші експлуатаційні властивості звичайно вдається лише після розгляду відповідних характеристик вже існуючих аналогів. Таким чином, необхідно мати прототип і враховувати тенденції зміни його характеристик.

Значення норм надійності прототипу необхідно коректувати з урахуванням наступних факторів:

- Технічних характеристик проектного об'єкта;
- Технічного прогресу за час його проектування і виготовлення;
- Змін умов експлуатації;
- Факторів, що лімітують (вартість, вага, габарити і т.і.);
- Значення наслідків відмов;
- Кваліфікації операторів і деяких інших специфічних для кожного виробу факторів.

Врахування технічних характеристик проектного об'єкта проводять шляхом порівняння показників знову проектного об'єкта з аналогічними показниками існуючих об'єктів з відомою надійністю. Щоб одержати такі залежності зазвичай будують графіки. У цих графіках по вертикальній осі відкладають значення показника надійності (y), по осі абсцис – значення досліджуваної технічної характеристики (x). На графіку у вигляді окремих

точок нанесені дані для технічної системи розглянутого типу. Через точки графіка проводять прямі  $y=a+bx$ . Параметри цих прямих підбирають за методом найменших квадратів. Якщо графіки будують для декількох технічних характеристик  $x_1, \dots, x_n$ , тоді аналогічно можуть бути мінімізовані суми квадратів різниць  $(a+b_1x_1+\dots+b_nx_n-y_1)$  і обчислені значення  $a, b_1, \dots, b_n$ ...

Врахування технічного прогресу. Між випуском об'єктів, дані про які за надійністю відомі, і об'єктом, що повинен бути виготовлений, до моменту його випуску звичайно проходить декілька років. За цей час вдосконалюється конструкція і технологія виготовлення як самих об'єктів, так і елементів, з яких вони виготовлені. Відповідно до цього змінюються і значення показника надійності. Отже, при складанні вимог до проєктованих об'єктів необхідно екстраполювати зміну показника їх надійності аж до моменту виготовлення нових об'єктів. Для цього необхідно знати надійність всіх аналогічних об'єктів, що випускали раніше. Потім будується графік, що враховує технічний прогрес по роках. По цьому графіку обчислюється коефіцієнт КТП, що враховує технічний прогрес. Він дорівнює відношенню показників надійності проєктованого об'єкту і прототипу. Врахування змін роботи. Проєктований об'єкт і прототипи звичайно працюють у різних умовах. Тому необхідно зробити перерахунок показників надійності прототипу на умови застосування проєктованого об'єкта. Для цього знаходять коефіцієнт умов застосування КУ. Він дорівнює відношенню значень показників надійності розглянутого об'єкту і прототипу. Існують чотири методи такого перерахунку: Метод поправочних коефіцієнтів. Метод, що використовує гіпотези Н.М. Седякіна про ресурс надійності об'єкта. Метод, що використовує розрахункові графіки. Метод, заснований на обліку розкиду значень параметрів режимів застосування об'єктів. При використанні першого методу спочатку знаходять значення інтенсивності відмов або параметру потоку відмов у лабораторних умовах. Потім коефіцієнт навколишнього середовища - Кокр. Цей коефіцієнт показує у скільки разів інтенсивність відмов за даних умовах більше, ніж при лабораторних.

Коефіцієнт застосування КУ дорівнює відношенню значень коефіцієнта Копр проектного об'єкту і прототипу. У методі, що використовує гіпотезу Седякіна, застосовують поняття «ресурс (запас) надійності» об'єкту.

Гіпотеза полягає в тому, що імовірність безвідмовної роботи об'єкту в певних умовах залежить від значення виробленого в минулому ресурсу  $r$  і не залежить від того, яким чином був вироблений цей ресурс. Цей метод у наш час використовують надзвичайно рідко. Метод розрахункових графіків є одним з основних методів перерахування показників надійності прототипу на умови застосування проектного об'єкту. Він заснований на використанні графічної залежності показників надійності (рис. 5.1) від параметрів режимів роботи (температури, навантаження і т.і.). Як показники надійності у такому випадку зазвичай використовують інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  і рідше – параметр потоку відмов  $q(t)$ . Уточнення норм надійності і вибір заходу щодо її підвищення. Це фактор коректування норм надійності враховують в основному для виробів, ефект від експлуатації яких може бути визначений економічно. Середній сумарний ефект  $\Sigma$  від експлуатації об'єкту залежить від наступних показників: вартості, показників надійності, економічних показників експлуатації.

До числа економічних показників експлуатації відносять:

- економічний ефект від виконання завдання;
- середні втрати від відмови;
- збиток в одиницю часу через змушений простій об'єкту.

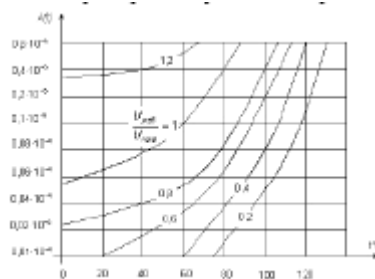


Рис.5.1 – Графічні залежності показників надійності від параметрів режимів роботи об'єкту

Справа в тому, що підвищення надійності виробу звичайно веде до підвищення його собівартості. У той же час експлуатація більш надійного виробу обходиться, як правило, багато дешевше, тому що скорочується збиток через відмови, а також зменшуються витрати на ремонт і профілактичні роботи. У зв'язку із цим виникає проблема призначення таких норм надійності, які забезпечували б максимальний економічний ефект. Внаслідок того, що витрати на підвищення надійності і втрати через ненадійність об'єктів відбуваються в різні інтервали часу, необхідно розглядати наведений до певного моменту часу (звичайно початку експлуатації) середній вихідний ефект.

### **5.3. Розподіл норм надійності у елементах**

При розрахунку надійності будь-якої технічної системи на першому ж етапі проектування (етап ескізного проектування) необхідно знайти значення показників надійності її блоків і вузлів за заданим у технічному завданні значенню показників надійності на всю систему в цілому.

При цьому вибір того або іншого способу розподілу норм надійності у блоках, функціональних вузлах і елементах багато в чому залежать від наявної у розробника інформації про систему.

Існує чотири основні прийоми розподілу норм надійності:

1. За принципом рівнонадійності елементів.
2. З урахуванням існуючого співвідношення показників надійності елементів.
3. З урахуванням перспектив удосконалення елементів.
4. З урахуванням вартості проектування, виробництва і експлуатації елементів. Розглянемо всі ці способи на прикладах під час практичних занять.

## ЛЕКЦІЯ 6

# СТРАТЕГІЇ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 6.1. Основи розрахунку надійності систем. Загальні поняття

Завдання розрахунку надійності: визначення показників безвідмовності системи, що складається з невідновлюваних елементів, за даними про надійність елементів і зв'язки між ними. Ціль розрахунку надійності: обґрунтувати вибір того або іншого конструктивного рішення; з'ясувати можливість і доцільність резервування; з'ясувати, чи досяжна необхідна надійність при існуючій технології розробки й виробництва.

Розрахунок надійності складається з наступних етапів:

1. Визначення складу показників надійності, що розраховуються.
2. Складання (синтез) структурної логічної схеми надійності (структури системи), засноване на аналізі функціонування системи (які блоки включені, у чому складається їх робота, перелік властивостей справної системи й т.п.), і вибір методу розрахунку надійності.

3. Складання математичної моделі, що зв'язує показники системи, що розраховуються, з показниками надійності елементів.

4. Виконання розрахунку, аналіз отриманих результатів, коректування розрахункової моделі. Склад показників, що розраховуються: Системи з невідновлюваними елементами - середнє напрацьовування до відмови ( $T_{0c}$ ); - імовірність безвідмовної роботи до заданого напрацьовування  $P_c(t)$ ; - імовірність відмов до заданого напрацьовування  $z(t)$ ; - щільність відмов до заданого напрацьовування  $f_c(t)$ . Системи з відновлюваними елементами -  $T_{0z}$ ;  $P_c(t)$ ; коефіцієнт готовності, коефіцієнт оперативної готовності, параметр потоку відмов.

**Структура системи** – логічна схема взаємодії елементів, що визначає працездатність системи або інакше графічне відображення елементів



системи, що дозволяє однозначно визначити стан системи (працездатна/непрацездатна) за станом (працездатний/ непрацездатний) елементів. За структурою системи можуть бути без резервування (основна система) і з резервуванням. Для тих самих систем можуть бути складені різні структурні схеми надійності залежно від виду відмов елементів:

**Математична модель надійності** – формальні перетворення, що дозволяють одержати розрахункові формули. Моделі можуть бути реалізовані за допомогою: методу інтегральних і диференціальних рівнянь; на основі графа можливих станів системи; на основі логіко-імовірнісних методів; на основі дедуктивного методу (дерево відмов). Найбільш важливим етапом розрахунку надійності є складання структури системи й визначення показників надійності складових її елементів. По-перше, класифікується поняття (вид) відмов, що істотно впливає на працездатність системи. По-друге, до складу системи у вигляді окремих елементів можуть входити електричні з'єднання пайкою, стиском або зварюванням, а також інші з'єднання (штепсельні та ін.), оскільки на їх частку доводиться 10-50% загального числа відмов. По-третє, є неповна інформація про показники надійності елементів, тому доводиться або інтерполювати показники, або використати показники аналогів.

Практично розрахунок надійності проводять у декілька етапів:

1. На стадії складання технічного завдання на проєктовану систему, коли її структура не визначена, проводять попередню оцінку надійності, виходячи з апіорної інформації про надійність близьких за характером систем і надійності комплектуючих елементів.

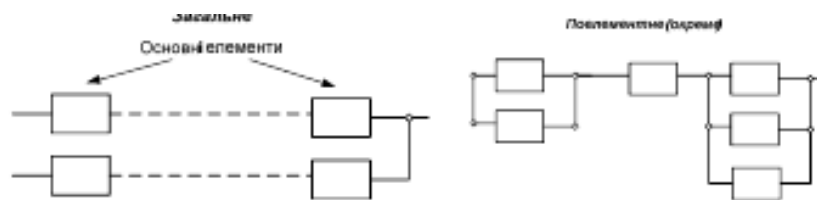
2. Складається структурна схема з показниками надійності елементів, заданими при нормальних (номінальних) умовах експлуатації.

3. Остаточний (коефіцієнтний) розрахунок надійності проводиться на стадії завершення технічного проєкту, коли завершена експлуатація досліджуваних зразків і відомі всі можливі умови експлуатації. При цьому

коректуються показники надійності елементів, часто убiк їхнього зменшення, вносяться зміни в структуру - вибирається резервування.

## 6.2. Системи з резервуванням. Загальні поняття

Працездатність систем без резервування вимагає працездатності всіх елементів системи. У складних технічних пристроях без резервування ніколи не вдається досягти високої надійності навіть, якщо використати елементи з високими показниками безвідмовності. Система з резервуванням – це система з надмірністю елементів, тобто з резервними складовими, надлишковими стосовно мінімально необхідної (основної) структурі їй виконуючими ті ж функції, що й основні елементи. У системах з резервуванням працездатність забезпечується доти, поки для заміни основних елементів, що відмовили, є в наявності резервні. Типи структурного резервування представлені на рис. 6.1. пасивне (навантажене) – резервні елементи функціонують нарівні з основними (постійно включені в роботу); активне (ненавантажене) – резервні елементи вводяться в роботу тільки після відмови основних елементів (резервування заміщенням).



(система резервується в цілому) (резервуються окремі елементи або групи елементів системи)

Рис. 6.1 – Типи структурного резервування:

а) система резервується в цілому; б) резервуються окремі елементи або групи елементів системи

**За типом резервування підрозділяють на:**

При навантаженому резервуванні резервні елементи витрачають свій ресурс, мають однаковий розподіл наробітків до відмови й інтенсивність відмов основних  $\lambda_{про}$  і резервні  $\lambda_{н}$  елементів однакова ( $\lambda_{про} = \lambda_{н}$ )

При навантаженому резервуванні розходження між основними і резервними елементами часто умовне. Для забезпечення нормальної роботи (збереження працездатності) необхідно, щоб число працездатних елементів не ставало менше мінімально необхідного. Різновидом навантаженого резервування є резервування з полегшеним резервом, тобто резервні елементи також перебувають під навантаженням, але меншою, чим основні. Інтенсивність відмов резервних елементів  $\lambda_{\text{про}}$  нижче, ніж в основних  $\lambda_{\text{про}}$ , тобто  $\lambda_{\text{про}} > \lambda_{\text{про}}$ . При навантаженому резервуванні резервні елементи не піддаються навантаженню, їх показники надійності не змінюються і вони не можуть відмовити за час знаходження в резерві, тобто інтенсивність відмов резервних елементів  $\lambda_x=0$ . Приклади ненавантаженого резервування представлені на рис. 6.2. Резервні елементи включаються в роботу тільки після відмови основних елементів. Перемикання виробляється вручну або автоматично (автоматично - включення резервних машин і елементів в енергетику, у бортових мережах судів і літаків і т.і.; вручну - заміна інструмента або оснащення при виробництві, включення ескалаторів у метро у часи «пік» і т.і.).

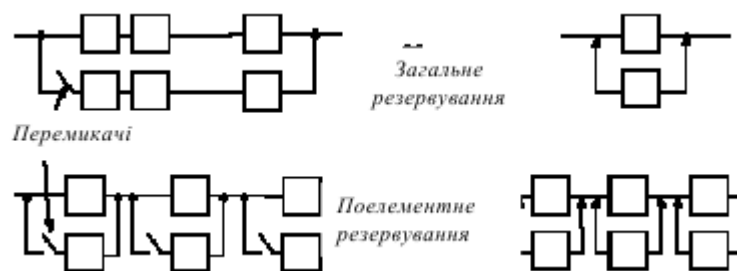
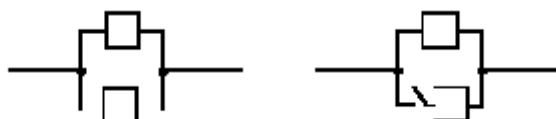


Рис. 6.2 – Приклади ненавантаженого резервування:

а) загальне резервування; б) поелементне резервування.

Різновидом ненавантаженого резервування є ковзне резервування, коли той самий резервний елемент може бути використаний для заміни кожного з елементів основної системи. Якщо розглянути два характерних види резервування:

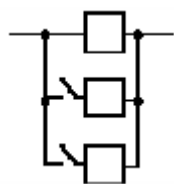


то очевидно, що при рівності числа основних і резервних елементів ненавантажений резерв забезпечує більшу надійність. Але це справедливо тільки тоді, коли перехід резервного елемента в роботу відбувається абсолютно надійно (тобто імовірність безвідмовної роботи перемикача повинна дорівнювати 1,0). Виконання цієї умови Поелементне резервування Загальне резервування Перемикачі зв'язано зі значними технічними труднощами або є іноді недоцільним за економічними або технічними причинами. Позначимо:  $n$  - число однотипних елементів у системі;  $r$  - число елементів, необхідних для функціонування системи. Кратність резервування – це співвідношення між загальним числом однотипних елементів і елементів, необхідних для роботи системи:

$$k = (n - r) / r \quad (6.1)$$

Кратність резервування може бути цілою, якщо  $r = 1$ , або дробовою, якщо  $r > 1$ .

Наприклад:



$$r = 1, k = (3 - 1) / 1 = 2.$$

## ЛЕКЦІЯ 7

### НАДІЙНІСТЬ ВІДНОВЛЮВАНИХ ОБ'ЄКТІВ. НАДІЙНІСТЬ ОБ'ЄКТІВ ПРИ ПОСТУПОВІЙ ВІДМОВІ

#### 7.1. Постановка задачі. Загальна розрахункова модель

При розрахунку показників надійності відновлюваних об'єктів і систем найпоширеніші допущення:

- 1) експонентний розподіл наробітку між відмовами;
- 2) експонентний розподіл часу відновлення.

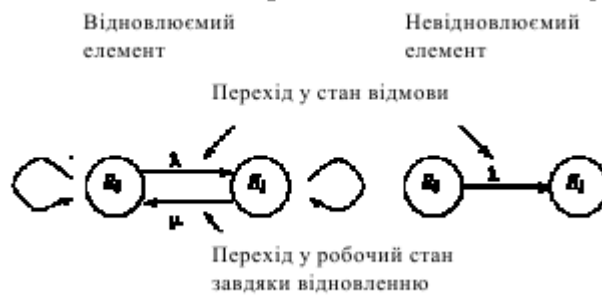
При експонентному розподілі наробітку між відмовами й часу відновлення, для розрахунку надійності використовують метод диференціальних рівнянь для ймовірностей станів (рівнянь Колмогорова-Чепмена). Процес у якій або фізичній системі  $S$ , називається марківським, якщо він має наступну властивість: для будь-якого моменту  $t_0$  імовірність стану системи в майбутньому ( $t > t_0$ ) залежить тільки від стану в сьогодні (  $t = t_0$  ) і не залежить від того, коли і яким образом система прийшла в цей стан (інакше: при фіксованому сьогодні майбутнє не залежить від передісторії процесу - минулого).



Марківський процес, як процес без післядії, не означає повної незалежності від минулого, оскільки воно проявляється в сьогодні. При використанні методу, у загальному випадку, для системи  $S$ , необхідно мати математичну модель у вигляді множини станів системи  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , у які вона може перебувати при відмовах і відновленнях елементів. майбутнє дійсне минуле

Основні правила складання моделі:

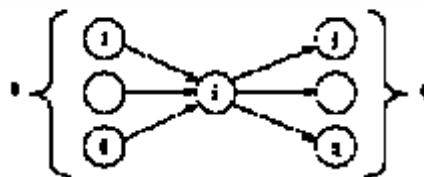
1. Математичну модель зображують у вигляді графа станів. Елементи графа: а) кружки (вершини графа  $S_1, S_2, \dots, S_n$ ) – можливі стани системи  $S$ , що виникають при відмовах елементів; б) стрілки – можливі напрямки переходів з одного стану  $S_i$  в інше  $S_j$ . Над/під стрілками вказуються інтенсивності переходів. Приклади графа:



$S_0$  – працездатний стан;  $S_1$  – стан відмови. «Петлею» позначаються затримки в тім або іншому стані  $S_0$  і  $S_1$  відповідні: - справний стан триває; - стан відмови триває (надалі петлі на графах не розглядаємо). Граф станів відбиває кінцеве (дискретне) число можливих станів системи  $S_1, S_2, \dots, S_n \dots$  Кожна з вершин графа відповідає одному зі станів.

2. Для опису випадкового процесу переходу станів (відмова/відновлення) застосовують імовірності станів

3. За графом станів складається система звичайних диференціальних рівнянь першого порядку (рівнянь Колмогорова-Чепмена)



У загальному випадку, інтенсивності потоків  $\lambda_j$  і  $\mu_j$  можуть залежати від часу  $t$ . При складанні диференціальних рівнянь користуються простим мнемонічним правилом:

- а) у лівій частині – похідна за часом  $t$  від  $P_i(t)$ ;
- б) число членів у правій частині дорівнює числу стрілок, що з'єднують розглянутий стан з іншими станами;

в) кожний член правої частини дорівнює добутку інтенсивності переходу на ймовірність того стану, з якого виходить стрільця;

г) знак добутку позитивний, якщо стрілка входить (спрямована вістрям) у розглянутий стан, і негативний, якщо стрілка виходить із нього. Перевіркою правильності складання рівнянь є рівність нулю суми правих частин рівнянь.

4. Щоб вирішити систему диференціальних рівнянь для ймовірностей станів  $P_1(t), P_i(t), \dots, P_n(t)$  необхідно задати початкове значення ймовірностей  $P_1(0), P_i(0), \dots, P_n(0)$ , при  $t = 0$ , сума яких дорівнює одиниці:

## ЛЕКЦІЯ 8

### КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ. ДІАГНОСТИЧНІ ПАРАМЕТРИ

#### 8.1. Структурні та діагностичні параметри стану

Структурні та діагностичні параметри стану підрозділяють на ресурсні й функціональні. Ресурсним називається параметр, зміна якого вище граничного значення обумовлює втрату працездатності складової частини освітлювальної системи через вичерпання ресурсу. Цей параметр відновлюється за допомогою ремонту або заміни складової частини. Функціональним називається параметр, зміна якого вище граничного значення обумовлює втрату працездатності або несправність однієї складової частини. Він відновлюється при технічному обслуговуванні освітлювальної установки. Задачею технічного діагностування є визначення: причин відмови апаратів або систем, фактичного технічного стану системи в окремий проміжок часу, необхідності ремонтів, регулювань або заміни апаратів при технічному обслуговуванні, а також оцінка якості виконання робіт при технічному обслуговуванні й ремонті та прогнозування залишкового ресурсу на основі аналізу відмов системи тобто передбачення з певною вірогідністю зміни фактичного стану системи для будь-якого моменту часу. Ефективна експлуатація засобів диспетчеризації потребує вдосконалювання методів і засобів діагностування з перспективою повної автоматизації процесу діагнозу. Таким чином, технічна діагностика – це контроль працездатності й справності обстежуваного об'єкта за результатами спеціально проведених випробувань, вимірів, спостережень.

Результатами діагностики є:

1. Визначення стану обстежуваного обладнання.
2. Виявлення виду дефекту або ушкодження, його масштабів, місце розташування, причин появи, що є основою для ухвалення рішення про



ремонт (склад ремонту, об'єм, строки проведення і т.і.) або повну заміну обладнання.

3. Прогноз про строки (тривалості) збереження робочих якостей і властивостей протягом наступної експлуатації. Без прогнозу діагностика не може вважатися повноцінною. Стосовно до технологічно складного медичного обладнання діагностика означає контроль працездатності кожного функціонального вузла або елемента устаткування, кожної його системи. Діагностика електротехнічного обладнання систем освітлення реалізується у наступних формах: періодичний контроль із висновком контрольованого об'єкта з роботи (off-line); періодичний контроль під робочою напругою (on-line); безперервний автоматичний (on-line) контроль (моніторинг); комплексне діагностичне обстеження.

Періодичний контроль під робочою напругою найменш витратний, але не забезпечує виявлення дефектів, що розвиваються швидко.

Контроль обладнання із висновком з експлуатації надає більші можливості для обстеження, але порушує режим роботи електричної мережі в цілому.

Автоматичний контроль дає незалежні від кваліфікації персоналу результати, дозволяє відслідковувати динаміку зміни контрольованих параметрів у реальному часі, а також контролювати стан окремих вузлів і систем обладнання за допомогою математичних моделей з певною вірогідністю.

Комплексне діагностичне обстеження має на увазі формування агрегированого результату на підставі попередніх 3-х форм діагностики. Ухвалення рішення про стан обладнання є найбільш повним, однак період формування результатів стану є занадто тривалим і не дозволяє вчасно реагувати на динаміку зміни стану обладнання. Підсумкова оцінка формується як середньозважена оцінка, залежно від пропонованих до діагностики вимог. За результатами порівняння видно, що найбільш

перспективною формою діагностики є безперервний автоматичний (оп-нпе) контроль або безперервний контроль.

Разом з тим, жодна з форм діагностики не має абсолютну перевагу для максимально точного й ефективного визначення дефекту, що розвивається, прогнозування безвідмовної роботи при заданих умовах експлуатації, для розрахунку ризиків і ефективності використання обладнання при перевищенні номінальних експлуатаційних характеристик.

Контроль працездатності (справності) обладнання необхідний для рішення практичних задач, пов'язаних з експлуатацією медичних установок (МУ), із забезпеченням високих економічних показників і показників надійності роботи електричних мереж у цілому. Перше завдання – виключення або зниження числа раптових відмов, що супроводжуються значними масштабами ушкодження обладнання, негативними економічними і екологічними наслідками. Ця задача актуальна, насамперед, для діагностики обладнання електричної макросистеми. Для її рішення необхідні методи й технічні засоби контролю, що забезпечують виявлення небезпечних дефектів, що розвиваються, на ранніх стадіях і що дозволяють проводити безперервний контроль (на випадок дефектів, що розвиваються швидко). Друге завдання з'явилося у зв'язку із прийняттям нових «Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж» (2003 рік), якими скасована система планово-попереджувальних ремонтів зі строгою регламентацією строків і об'ємів ремонту всіх видів електроустаткування. Третє завдання – достовірна оцінка залишкового ресурсу обладнання, що відпрацювала свій номінальний ресурс (зазвичай 5 років щодо обладнання у самої ОУ та 25 років для обладнання електричних мереж). Актуальність цієї задачі або, точніше, проблеми обумовлена тим, що в електричних системах та зокрема системах освітлення обладнання, що відновило свій номінальний ресурс становить значну частку. Так наприклад, в українських електричних мережах у наш час перебувають в експлуатації порядку 2500 силових трансформаторів 110-750 кВ потужністю 120 мВА й більше. з них приблизно половина вже відновила номінальний

ресурс, а близько 10% проробили більше 40 років. Такий стан сучасних електричних мереж, зокрема мереж освітлення значною мірою таїть у собі небезпеку лавиноподібного зросту числа відмов, обумовлених процесами старіння. У таких умовах економічно доцільні послідовність, об'єми й строки заміни старого обладнання можуть бути встановлені лише на підставі достовірних оцінок залишкових ресурсів індивідуально для кожного з розглянутих об'єктів. Такий підхід до заміни старого обладнання новим за результатами оцінки залишкового ресурсу, а не по співвідношенню фактичної і нормованої тривалості експлуатації дасть істотний економічний ефект.

## **8.2. Класифікація й коротка характеристика методів діагностики**

Стратегічна діагностика допомагає оцінити ефективність стратегії контролю основних показників електрообладнання систем освітлення, виявити їх сильні та слабкі сигнали, щодо взаємодії їх окремих підсистем та системи в цілому з навколишнім середовищем. Інформація, отримана протягом такої діагностики є великим внеском у статистичний аналіз роботи подібних систем. Оперативна діагностика електрообладнання систем освітлення є базою для прийняття поточних, оперативних рішень щодо виключення погроз ушкодження обладнання. До методів оперативної діагностики відносять матеріальні та інформаційні потоки, оцінювання ризику ушкодження.

Експертні методи дослідження використовують для діагностики стану та подальшого прогнозування варіантів розвитку:

- об'єктів, розвиток яких або повністю, або частково не піддається предметному опису чи математичній формалізації;
- при умовах відсутності достатньої або достовірної статистики характеристик об'єкту;
- при умовах великої невизначеності середі функціонування об'єкту;

- у випадках, коли або час, або визначувані параметри не дозволяють дослідити проблеми із застосуванням формальних моделей;
- при умовах відсутності необхідних технічних засобів моделювання, наприклад, комп'ютерної техніки з необхідними характеристиками тощо;
- в екстремальних ситуаціях. Експертні оцінки широко використовують у практиці техніко- економічного аналізу, оскільки вони дозволяють отримати надійну, а іноді єдино можливу інформацію.

Статистичний аналіз, що є основою діагностики, складається з:

- методів математичної надійності;
- методів теорії вірогідності;
- теорії масового обслуговування;
- методів статистичних випробувань;
- методів статистичного імітаційного моделювання.

Недоліком статистичних методів є той факт, що результати їх використання достовірні лише з тою вірогідністю, яку задає дослід на початку дослідів. Крім того, для отримання результатів за допомогою цих методів необхідна обробка великої кількості статистичного матеріалу, недостовірність і суб'єктивність таких результатів також відносяться до недоліків статистичної обробки результатів діагностики електрообладнання систем освітлення.

Переваги статистичних методів діагностики: •такі методи дозволяють отримати результати навіть у тих випадків, коли невідомий аналітичний зв'язок між параметрами системи та результатом її функціонування; •дозволяють описувати та будувати моделі систем будь-якої складності. •Факторний аналіз заснован на багатомірних статистичних дослідженнях ряду факторів, що мають як негативний, так і позитивний вплив на результати функціонування освітлювальної установки.

Метою такого методу є вияв генеральних, головних факторів, визначаючих основні результати діяльності аналізуємого об'єкту. Методи математичного програмування застосовуються для знаходження

екстремальних значень (максимуму або мінімуму) деяких функцій змінних величин. Найбільшого поширення отримали наступні методи математичного програмування: лінійне, нелінійне, динамічне, статистичне, целочислене програмування.

Методи математичного програмування мають такі переваги:

- можливість вибору оптимального варіанту зі значною кількістю альтернатив;
- висока оперативність отримання результатів рішення за рахунок застосування комп'ютерної техніки;
- можливість вирішення великої кількості задач (лінійні, нелінійні, статистичні і т.і.)

Однак у цих методів також є свої недоліки:

- метод достатньо трудомісткий та потребує великого об'єму розрахунків;
- є необхідність описання альтернативних рішень та основних обмежень у вигляді математичних виразів.

**Математичне моделювання.** Математичні моделі дозволяють виявити особливості функціонування об'єкту та на основі цього передумовити перебіг функціонування при зміні зовнішніх параметрів.

Моделю, що використовують у діагностиці можна класифікувати наступним чином:

- Моделі макро- і мікрорівня;
- Теоретичні та прикладні моделі;
- Оптимізаційні та рівноважні;
- Статичні та динамічні моделі

Класифікація параметрів діагностики електротехнічного обладнання систем освітлення має шість рівнів:

1-й містить у собі основні агрегати й вузли, з яких складається діагностуємо система освітлення;

2-й містить з'єднання та елементи вузлів і агрегатів, що мають у процесі експлуатації найбільш відчутні зношування й відхилення структурних параметрів;

3-й містить у собі структурні параметри з'єднань і елементів. Склад структурних параметрів визначається на основі аналізу взаємодії елементів і з'єднань із урахуванням критеріїв експлуатаційної надійності;

4-й містить перелік можливих несправностей виробів електротехнічного обладнання систем освітлення;

5-й – перелік симптомів, за допомогою яких проявляється кожна несправність;

6-й попередній перелік всіх можливих діагностичних параметрів, з яких вибираються тільки задовольняючим вищезгаданим вимогам. Параметри 6-го рівня дозволяють оцінити працездатність освітлювальної системи без її розбирання і вказують на конкретну несправність.

Аналогічні блок-схеми необхідно складати для всіх підсистем досліджуваного об'єкту (освітлювальної установки і .т.п.). Для підвищення ефективності процесу діагностування треба із всіх можливих перевірок проводити тільки необхідні та у зовсім певній послідовності за алгоритмом. Будувати діагностичний процес потрібно як деяку процедуру, при якій не тільки оцінюються значення параметрів, але відбувається керування процесом збору інформації. Алгоритм діагностування електротехнічного обладнання систем освітлення має бути побудований таким чином, щоб по обраному переліку параметрів можна було б визначити працездатність системи й локалізувати наявні несправності.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыжкин А.А., Слюсарь Б.Н., Шучев К.Г. Основы теории надежности: Учеб. пособие. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2002. – 182 с. 2.
2. Кутин В.М., Брейтбурд В.И. Диагностирование электрооборудования электрических систем. Учеб. пособие. – К.: УМК ВО, 1991.
3. Ланецкий В.Н. Основы теории надежности, эксплуатации и ремонта радиоэлектронной аппаратуры зенитных ракетных систем. – Х.: ХВУ, 1998. – 400 с.
4. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
5. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. – М.: Энергоатом-издат, 1986. – 564 с.
6. Б.С. Гаспер, И.Н. Липатов. Решение задач по курсу прикладная теория надежности (Учебное пособие). – Пермь: ПГТУ, 1998.
7. Гнуденко В.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.А., Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965.
8. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с. 9. Колобов А. Б. Надежность технических систем.
9. <http://www.ispu.ru/library/lessons/Kolobov/index.htm>
10. Кубарев А.І. Надійність в машинобудуванні. - М., Изд-во стандартів, 1977.
11. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надійність машин. - М., Изд-во стандартів, 1988.
12. Проникаючи А.С. Основи надійності і довговічності машин. - М., Изд-во стандартів, 1986.