

## Лекція №1

### 1.1. Вступ. Проблема надійності техніки і її народногосподарське значення

Надійність технічних пристроїв здавна є однією з основних інженерних проблем. Різні технічні вироби (устаткування, апарати, конструкції, пристрої і т.п. технічні об'єкти) повинні насамперед надійно виконувати свої функції. Інакше ефективність їхнього використання може бути зведена до нуля.

Наприклад, технічні засоби електрифікованої ділянки залізниці (тягові підстанції, контактна мережа, пристрої СЦБ, електрорухомий склад і рейковий шлях) постійно повинні знаходитися в працездатному стані, забезпечуючи рух поїздів із заданими інтервалами, масою і швидкостями. Якщо то один те інший об'єкт цієї складної технічної системи не зможе виконувати свої функції, тобто буде відмовляти, і до того ж довго простоювати на відновленні, то при визначеній частоті відмовлень рух поїздів може взагалі припинитися.

Давно вже було зрозуміле, що забезпечити надійну роботу технічних пристроїв простіше всього за рахунок надмірності, тобто введення необхідних, а іноді і надмірних, запасів механічної чи електричної міцності виробів; резервуванням основних робочих елементів пристроїв і т.п. Однак, надмірність вимагає великих додаткових витрат, що повинні бути обґрунтовані і виправдані. Для відносно простих технічних пристроїв це вдавалося робити з тим чи іншим ступенем наближення до оптимальних рішень без спеціальної теорії і математичних методів.

У ХХ столітті проблема надійності техніки сильно загострилася. Головна причина - безупинний ріст складності технічних систем, їхня автоматизація, розширення кола розв'язуваних ними задач, підвищення відповідальності виконуваних ними функцій, ріст ваги наслідків їхніх відмовлень. Саме в ці роки з'явилися й одержали розвиток авіація і космічна техніка, електрифікований транспорт і сучасна енергетика (у т.ч. атомна), телебачення й автотелеуправління, обчислювальна техніка, що інформаційно-керують системи і т.д. і т.п. (Порівняти по складності і наслідкам відмовлень конторська рахівниця і мікрокалькулятор, віз і автомашину, теплову й атомну ел. станцію).

Сучасні технічні системи складаються з десятків і сотень тисяч окремих елементів, кожний з яких за певних умов може привести до відмовлення всієї системи зі значним збитком (Приклади з практики роботи енергосистем, тягових підстанцій, контактної мережі і ЕРС. Чорнобиль!!!).

Безупинно підвищується інтенсивність режимів роботи технічних пристроїв, зростає складність умов їхньої експлуатації і навантаження: ростуть швидкості, температури, тиски, електрична напруга (!) і т.п. режимні параметри.

Зростають вимоги до якості технічних систем, до їхньої ефективності, росте їхня відповідальність і вага наслідків відмовлень.

Повна чи навіть часткова автоматизація (а тепер і роботизація)

виключає особисту участь людини у виконанні системою її функцій, робить недоцільним безупинне спостереження і контроль з боку оператора за правильністю функціонування системи. Її функції передаються підсистемам діагностування, контролю і керуванню, вимоги до надійності яких дуже високі. Вони повинні робити це краще людини.

Усе це обумовило появу і бурхливий розвиток до середини ХХ століття нової науки - теорії надійності і методів її практичного використання.

## **1.2. Предмет і задачі курсу.**

*Теорія надійності* - це наука, що вивчає закономірності виникнення відмовлень технічних об'єктів і тривалого збереження ними заданих властивостей.

Базується ця "молода" наука на класичній теорії імовірностей, широко використовує прикладну математичну статистику і теорію масового обслуговування. Для практичного використання теорії надійності в тій чи іншій області техніки потрібно знати конкретну техніку, надійність якої потрібно забезпечити.

Предметом вивчення І-ої частини дисципліни є теорія надійності і її практичний додаток до системи ЕЛП електричних залізнь.

У процесі вивчення І-ої частини дисципліни має бути засвоєні наступні її розділи:

1. Фізична природа і випадковий характер відмовлень технічних об'єктів;
2. Основні поняття теорії надійності стосовно до автоматизованих системи;
3. Кількісні характеристики і показники надійності пристроїв автоматики;
4. Методи оцінки надійності за даними експлуатації;
5. Методи розрахунку надійності;
6. Фактичний рівень і динаміка експлуатаційної надійності систем і пристроїв автоматики.

*Надійність це багатогранна і комплексна властивість технічної системи, що закладається в процесі її розрахунків, конструювання і проектування; забезпечується в процесі виготовлення устаткування і його монтажу на будівельному майданчику і, нарешті, систематично підтримується правильною експлуатацією технічної системи, планомірним технічним обслуговуванням і ремонтом.*

## **1.3. Зв'язок надійності з технічним обслуговуванням і ремонтом.**

Останнє твердження пояснює другу частину назви дисципліни, показує зв'язок надійності з технічним обслуговуванням (ТО) і ремонтом (Р) техніки.

Цей зв'язок полягає в тому, що саме ТО і Р забезпечують підтримку і відновлення чи справності працездатності технічних об'єктів у процесі їхньої

експлуатації. Рівень надійності устаткування в значній мірі залежить від своєчасності, досконалості і якості ТО і Р. У цьому значенні говорять, що ТО і Р цей засіб керування надійністю технічних об'єктів. Але про це в наступному семестрі.

#### 1.4. Фізична сутність , випадковий характер відмов

Особливістю кількісних характеристик надійності є їхня ймовірностатистична природа. В умовах експлуатації відмовлення технічних об'єктів (тобто втрата ними працездатності) відбуваються в самі несподівані і на перший погляд зовсім непередбачені, тобто випадкові моменти.

А чи існують узагалі які-небудь закономірності в появі відмов? Існують! Але для їхнього встановлення потрібно вести спостереження не за одним, а за багатьма, які знаходяться в експлуатації та на спеціальних іспитах об'єктами і для одержання узагальнених результатів застосовувати методи теорії імовірностей і математичної статистики.

Чому ж технічні пристрої втрачають працездатність? Більш того, з яких причин одночасно введені в експлуатацію і працюючі в однакових умовах однотипні пристрої відмовляють у різний час, причому точно вказати заздалегідь момент відмовлення даного конкретного екземпляра пристрою неможливо?

Відповісти на ці питання, пізнати закономірності виникнення відмов можна тільки вивчаючи одночасно їхню фізичну сутність й ймовірнісну природу.

Кожен елемент складного технічного пристрою має своє цільове призначення для виконання якого йому надаються визначені властивості: механічна чи електрична міцність, електропровідність, герметичність, пружність і т.д. Кожне з цих властивостей характеризується відповідним йому одним чи декількома параметрами. (Наприклад, електропровідність характеризується питомим опором матеріалу).

Будь-яка властивість технічного об'єкта виявляється лише при його взаємодії з зовнішнім середовищем. Зовнішня середа - це сукупність зовнішніх стосовно об'єкта навантажень, що він сприймає і витримує завдяки наявності в нього визначених властивостей. Якщо об'єкт втрачає хоч одну властивість, то він не зможе витримати те відповідне навантаження зовнішнього середовища. Це рівносильно втраті працездатності, тобто відмовленню.

Наприклад, прохідний ізолятор повинний володіти мінімум 3-ма властивостями: електрична міцність його ізоляції, електропровідність струмоведучого стрижня і механічна міцність усієї конструкції. Чи силовий діод володіє, як мінімум, 4-ма властивостями:

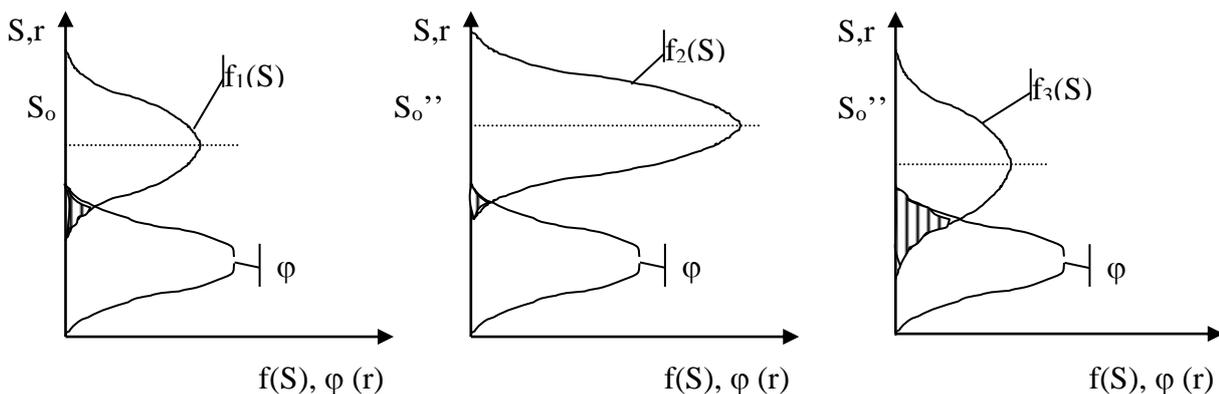
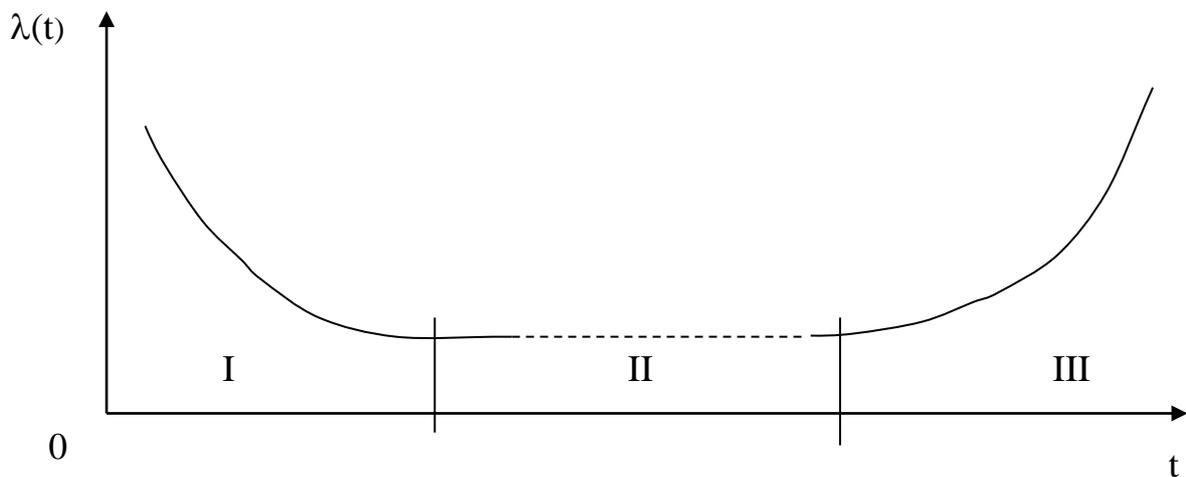
- вентиляна одnobічна провідність;
- гарний тепловідвід від р-n переходу;
- електрична міцність ізоляції між А и К;
- механічна міцність усієї конструкції.

Утрата кожного з цих властивостей приведе до відмовлення ізолятора чи діода.

Утрата працездатності не завжди є результатом повної абсолютної втрати об'єктом якоїсь властивості. У нормативно-технічній документації обмовляються припустимі межі зміни властивостей і відповідних їм параметрів, при яких об'єкт залишається працездатним. Тому відмовленням вважають не тільки “загибель” об'єкта в результаті повної втрати якоїсь властивості (наприклад, пробій ізоляції), але і вихід параметрів, що характеризують ця властивість, за припустимі межі. Таке відмовлення називають параметричним чи частковим. (у нашому прикладі для ізоляції це вихід за припустимі межі значень струму витoku при нормованій величині іспитової напруги ( $\text{tg } \delta$  і т.п.).

Граничне значення відповідного властивості (параметра) об'єкта узагальнено називають “опірністю” і позначають “S”. Будемо вважати, що у всіх випадках, коли зовнішнє навантаження “(” перевищує опірність об'єкта ( $( > S$ ) настають повне чи часткове (параметричне) відмовлення.

Досвід експлуатації більшості технічних об'єктів показав, що частота появи відмовлень у часі підкоряється визначеній закономірності, що наочно виражає класична залежність інтенсивності відмовлень від наробітку  $\lambda(t)$ - див. малюнок. На цій залежності завжди можна виділити три характерні періоди експлуатації: I -приробний, II - сталий нормальної експлуатації і III - чи старіння інтенсивного зносу.



Чому ж експлуатація зовсім різних об'єктів техніки і, більш того, людське життя підкоряються цієї класичної закономірності?

Уникнемо в суть кожного з цих періодів залежності ((t). Для цього в кожному періоді будемо розглядати процеси, що впливають на закономірності зміни зовнішніх навантажень і опору об'єктів, характеризуючи ці зміни густинами імовірності їхньої появи (Нагадати поняття щільності розподілу!).

Потрапляючи в експлуатацію технічний об'єкт піддається дії експлуатаційних навантажень. Величина навантажень  $\rho$  випадкова (наприклад токові навантаження чи підстанцій перенапруги).

Вичерпною характеристикою умов експлуатації служить щільність розподілу навантажень  $\varphi(\rho)$ . Будемо вважати, що для всіх періодів експлуатації розподіл  $\varphi(\rho)$  нормальне й однакове (див. малюнок).

У нових технічних об'єктів (I період) величини опору навантаженням можуть різко відрізнятись і мають великий розкид. Унаслідок помилок при виготовленні і монтажі навіть в одній партії однакових пристроїв мають ся екземпляри як з “заниженою” так і з “завищеною” опірністю. У цілому опірність  $S$  сукупності нових однотипних об'єктів може бути описана щільністю розподілу  $f_1(S)$ , причому прорахунки допущені при конструюванні, виготовленні і виборі режимів експлуатації приводять до зсуву цієї кривої у бік менших значень опору. Розподіл  $S$  у цей період, як правило, нормальний (див. малюнок).

Заштрихована область перетинання кривих  $f_1(S)$  і  $\varphi(\rho)$  характеризує імовірність перевищення навантаженням  $\rho$  опірності  $S$ , тобто імовірність відмовлення в початковий період експлуатації. У цей період в експлуатації знаходяться об'єкти, що володіють як низкою так і високою опірністю, але оскільки “слабкі” об'єкти можуть відмовити і при порівняно невеликих навантаженнях, то на початковому етапі експлуатації основну частку відмовлень дають “слабкі”, некондиційні об'єкти. Саме тому в цей початковий приробний період інтенсивність відмовлень, як правило висока, але в міру виходу з чи ладу заміни “слабких” об'єктів кондиційними, вона поступово знижується.

Однак, в окремих випадках, коли вводяться в експлуатацію об'єкти досить однорідні (якісно изготовленні і змонтовані, перед введенням в експлуатацію проведені пуско-налагодочные іспити і пускові тренування) і розсіювання їх опору незначне то період приробляння може практично бути відсутнім.

Таким чином, до кінця періоду приробітки, тобто до початку II-го сталого періоду нормальної експлуатації “слабкі” об'єкти з малою опірністю відбраковані. Це приводить до зменшення розкиду значень опірності об'єктів, що залишилися, до підвищення її середнього рівня (крива  $f_2(S)$  на малюнку). Тому в II-м періоді випадки перевищення навантаженням опору окремих об'єктів стають дуже рідкими. Відмовлення відбуваються, як правило, лише при значних випадкових збільшеннях навантажень (наприклад к.з., перенапруги) і тому називаються раптовими.

Сталий період нормальної експлуатації самий тривалий. У цьому

періоді приробітка вже закінчена, але ще як правило, не спостерігаються помітні зміни властивостей об'єктів, що обумовлюють їхню здатність давати опір зовнішнім впливам. Навантаження, що діють у цей період (якщо вони в межах припустимих), не приводять до необоротних змін первісних властивостей об'єктів. Виникаючі в цей період відмовлення найчастіше зв'язані зі значними перевантаженнями. Інтенсивність відмовлень у цей період стабілізується на найнижчому рівні і залишається незмінною.

У той же час у II-м періоді поряд із раптовими відмовленнями можуть виникати і невиявлені в I-м періоді відмовлення, зв'язані зі схованими приробними дефектами окремих об'єктів, а також що поступово розвиваються відмовлення, зв'язані з прискореним зносом неправильно експлуатованих об'єктів. Тому в II-м періоді частка раптових відмовлень у загальній їхній кількості залежить від виду об'єкта й умов його експлуатації. Для деяких типів об'єктів раптові відмовлення переважають, для інших - вони нехарактерні. Для пристроїв, що працюють в умовах різкої зміни зовнішнього середовища при високих механічних, теплових чи електричних перевантаженнях у період нормальної експлуатації раптові відмовлення виявляються у виді поломок, руйнувань, пробоїв без попередніх симптомів про їхнє наближення і складають основну частку їхнього загального числа. Однак, у пристроях працюючих у спокійних стаціонарних умовах без ударів, вібрацій, без перевантажень - раптових відмовлень практично може і не бути.

Нарешті, унаслідок нагромадження необоротних змін в елементах технічного об'єкта, настає III-й період, коли опірність зовнішнім навантаженням помітно знижується (крива  $f_3(S)$  на малюнку). Випадки перевищення зовнішнім навантаженням опірності об'єкта стають усе більш частими. Особливо яскраво цей процес виявляється в, так названому, усталостному руйнуванні механічних елементів, викликаному багаторазовою циклічною зміною навантажень: руйнуються паяні з'єднання і контакти, погіршуються діелектричні властивості ізоляції, знижується пружність пружин, еластичність прокладок, збільшуються зазори в рухливих з'єднаннях і т.д. і т.п. Відмовлення виявляються як у формі поломок і руйнувань, так і у формі виходу основних параметрів об'єкта за встановлені межі (поява в третьовій парі зазору вище норми, зниження  $R_{из}$  нижче припустимого і т.д.).

В усіх випадках настання відмовлення полягає в тому, що об'єкт не може сприйняти діючі на нього навантаження, забезпечуючи при цьому встановлені документацією параметри функціонування.

Відмовлення, зв'язані з поступовою втратою об'єктом первісних властивостей у результаті зносу і старіння, називають поступовими чи износомми, а відповідний їм період експлуатації - періодом зносу (старіння). У цей період інтенсивність відмовлень безупинно і "катастрофічно" зростає.

У чому ж, таким чином, складається розходження між приробним, раптовими і зносомми відмовленнями по їх фізичній сутності? Якщо розглядати лише ті повні відмовлення, що приводять до "загибелі" об'єкта, то між перерахованими видами відмовлень різниці немає. Усі вони є результатом однократного випадкового перевищення навантаженням

опірності об'єкта. Різниця лише в причинах відмовлень і в механізмі їхнього розвитку.

У початковий період основна частка відмовлень відбувається через введення в експлуатацію деякої частини об'єктів з недостатньою опірністю (брак заводів-виготовлювачів, монтажників і т.п.). На етапі нормальної експлуатації - через випадкових значних по величині перевантажень, а в період зносу основна частка відмовлень є наслідком зниження опору об'єктів зовнішнім навантаженням. Це не виключає, однак, можливості появи як раптових, так і поступових (розрегулюючих) відмовлень на всіх етапах експлуатації.

Наприклад, у початковий період експлуатації, для якого характерні приробні відмовлення, можливі також часті раптові відмовлення через перевантаження, зв'язаних із помилками експлуатаційників. Їхня кваліфікація і досвід на нових об'єктах часто недостатні, вони набираються досвіду, учаться на власних помилках, тобто теж прироблюються до техніки.