

ЛЕКЦІЯ №2

Основні поняття, терміни й визначення надійності систем

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

Безвідмовність (reliability) – властивість будь-якого об'єкту безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого наробітку.

Довговічність (durability) – здатність об'єкту зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонтів.

Збережність (storability) – це властивість об'єкту 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 зберігання та транспортуванню.

Ремонтпридатність (maintainability) – 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 об'єкту, зручність їх розміщення з погляду доступності для контролю і ремонту, пристосованість до регулювальних операцій тощо.

Технічний стан – сукупність властивостей об'єкта, що характеризуються у певний час ознаками, встановленими технічною документацією на цей об'єкт. Технічний стан об'єкту у будь-якій момент часу характеризується наступними основними станами та подіями:

- **справність (good stale)** – стан об'єкту, при якому він відповідає всім вимогам, установленим нормативно-технічною документацією (НТД). Якщо об'єкт не відповідає хоча б одному із цих вимог, то він перебуває в несправному стані;

- **працездатність (up state)** – об'єкт перебуває в стані, у якому він здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих параметрів у межах, установлених НТД. Якщо значення хоча б одного заданого параметру не відповідає встановленим вимогам НТД, то він перебуває в непрацездатному стані. 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 обладнання, порушено його лакофарбове покриття, однак його параметри перебувають у межах норми об'єкт вважається несправним, але в той же час працездатним. Справний об'єкт завжди працездатний;

- **непрацездатність** – стан, у якому значення хоча б одного заданого параметра, який визначає здатність об'єкта виконувати задані функції, відповідає вимогам нормативно-технічної документації. Перехід виробу з працездатного до непрацездатного стану в заданих умовах застосування називається **відмовою**. При тому самому існуючому технічному стані об'єкт може бути працездатним для одних умов застосування і непрацездатним для інших.

- **правильне функціонування** означає, що об'єкт, що застосовується за призначенням, в поточний момент часу виконує запропонований алгоритм функціонування. Об'єкт може бути у такому непрацездатному стані, у якому він правильно функціонує в одних режимах роботи і неправильно в інших. Працездатний об'єкт правильно працює у всіх режимах роботи.

- **граничний стан (limiting state)** – стан об'єкту, при якому його 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.

Критерій граничного стану – ознака чи сукупність ознак граничного стану, встановлених НТД.

Для виявлення технічного стану об'єктів використовуються спеціальні методи та технічні засоби контролю.

Під контролем технічного стану розуміється процес визначення виду технічного стану об'єкта, для цього використовується сукупність операцій із перевірки працездатності, локалізації та прогнозування відмов об'єкта. Складовими елементами контролю є вимірювання та оцінка контрольованих параметрів об'єкта, обробка отриманих даних із метою розпізнавання виду стану та місця відмови із заданою глибиною (деталізацією), а також управління процесом контролю.

Ступінь деталізації при технічному діагностуванні, що вказує, для якої складової частини об'єкта визначається місце відмови, називається **глибиною пошуку дефекту**.

Будь-який об'єкт, стан якого піддається перевірці, називається **об'єктом контролю (ОК)**. Процес оцінки стану об'єкта контролю є складним завданням, особливо при непрямих методах вимірювання, коли значення параметра визначається не безпосереднім вимірюванням, а обчислюється за результатами вимірювань якихось інших параметрів. Прикладами можуть бути процеси визначення значень коефіцієнтів підсилення, коефіцієнтів та сталих часу передатних функцій в автоматичних системах та інших. У випадку визначення показників динамічних систем одним із завдань є їх ідентифікація, що передбачає процедуру побудови оптимальної математичної моделі об'єкта на основі реалізації його вхідних та вихідних сигналів. Несправні ОК, що вимагають визначення місця та причини відмови, називаються **об'єктами діагностування**. Отже, шляхом діагностування визначаються прийняті до розпізнавання конкретні стани з відомого класу технічних станів об'єктів. Наприклад, якщо шляхом контролю стану визначено, що об'єкт непрацездатний, діагностування забезпечує пошук місця відмови із заданою глибиною. Об'єкт діагностування є і ОК, оскільки в процес технічного діагностування як обов'язкова частина входять операції контролю. У певних умовах ОК може бути одночасно і об'єктом діагностування. Так, у польоті екіпаж контролює працездатність бортових систем. При відмові тієї чи іншої системи потрібно, як правило, її вимкнути і використовувати резервне обладнання, не займаючись питаннями діагностування, тобто пошуком елемента, що відмовив у системі. Технічне діагностування часто здійснюється на землі за результатами контролю та реєстрації параметрів у польоті.

При контролі об'єктів виконуються вимірювання та оцінка певних вихідних та додаткових (внутрішніх) параметрів. Параметрами можуть бути такі фізичні величини: напруга; струм; частота струму та імпульсів; електричний опір; температура; тиск; переміщення; швидкість руху та інші. Допустимі області значень параметрів, що перевіряються, або їх функцій називаються **допусками на контрольовані параметри**.

Визначення технічного стану ОК на майбутній інтервал часу називається прогнозуванням технічного стану. Метою прогнозування може бути визначення інтервалу часу, протягом якого збережеться дійсний на цей час стан об'єкта.

Концепція контролю, тобто система поглядів, ідей та принципів, які визначають загальну методологію контролю, багато в чому залежить від завдань контролю.

Наприклад, основними завданнями контролю приладового обладнання рухомих об'єктів є:

- одержання інформації про фактичний стан ОК;
- прийняття рішення про придатність чи непридатність конкретної системи для виконання певних функцій;
- у разі прийняття рішення про непридатність контрольованої системи – здійснення діагностики несправностей до змінного блоку;

- на підставі результатів діагностики – прийняття рішення або про заміну блоку, що відмовив, або про необхідність регулювання, або про відправку в ремонт, або про списання пристрою;

- одержання вихідних даних для аналізу впливу умов експлуатації, конструкції, схемних рішень та технології виробництва на якість функціонування об'єктів.

Стан об'єкта, відмінний від справного, з'являється внаслідок різних порушень технічних умов. Такі порушення виникають на всіх стадіях життєвого циклу: розробки, виробництва та експлуатації. В залежності від впливу на них людського чинника, вони можуть бути як суб'єктивними, і об'єктивними. Об'єктивні порушення називатимемо **дефектами**.

Суб'єктивні порушення називатимемо **помилками**. Обидва види порушень утворюють несправність, під якою у цьому контексті можна розуміти прояв чи модель дефекту.

Події, що відповідають переходу об'єкта з одного технічного стану в інший у напрямку погіршення його параметрів, поділяють на наступні стани (види несправності):

- ушкодження;
- відмови;
- збій;
- руйнування.

Структурно-логічна схема, що відображає взаємозв'язок наведених понять, показана на рис. 1.



Рис.2.1. Структурно-логічна схема несправних станів

Виходячи з можливості подальшого використання після відмови і пристосованості до відновлення все об'єкти можна класифікувати в такий спосіб (рис.2.2):

Відновлюваним (**restorable item**) називається такий об'єкт, працездатність якого у випадку виникнення відмови підлягає відновленню в розглянутій ситуації, якщо ж у розглянутій ситуації відновлення працездатності даного об'єкту при його відмові по якимось причинах вважається недоцільною або нездійсненною, такий об'єкт називається невідновлюваним (**non-repaired item**).

Ремонтованим об'єктом (**repairable item**), називається такий об'єкт, несправність або працездатність якого у випадку виникнення відмови або ушкодження підлягають відновленню. У протилежному випадку, об'єкт називається не ремонтованим (**nonrepairable item**) (найпростішим прикладом неремонтованого об'єкту є запобіжник).

Не ремонтований об'єкт завжди є невідновлюваним (наприклад, резистор, конденсатор, і т.п.). У той же час, ремонтований пристрій може бути як відновлюваним, так і невідновлюваним – все залежить від існуючої системи технічного обслуговування та ремонту, конкретної ситуації в момент відмови.

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**.

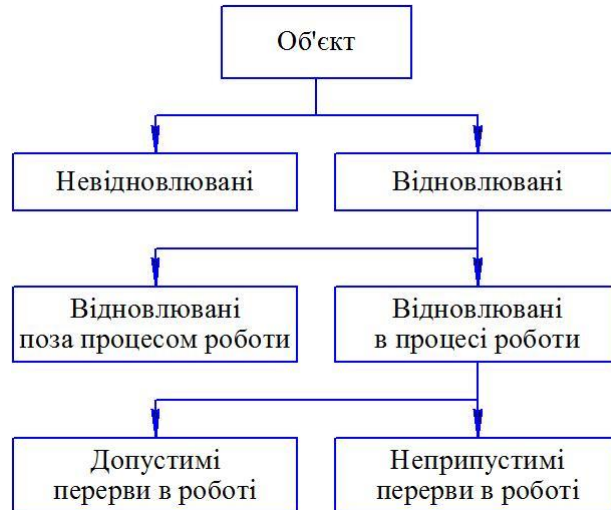


Рис.2.2 Класифікація об'єктів

Якість обладнання – сукупність властивостей, що визначають ступінь придатності системи по призначенню; Крім цього обладнанню і його окремим елементам як об'єктам для дослідження надійності притаманні 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;
- **готовність** – стан працездатності об'єкту в довільно обраний момент часу;
- **оперативна готовність** – стан об'єкту при якому його працездатність буде зберігатись протягом завданого інтервалу часу.

Стосовно до перерахованих властивостей обладнання, 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 електрообладнання – це виробництво, передача і розподіл електричної енергії.

Елементи системи – завершені пристрої, здатні виконувати локальні функції в системі. Для електрообладнання – це джерела та споживачі електричної енергії, 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 електрообладнання окремого архітектурного об'єкту вважаємо її системою.

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.

Ушкодження і відмови. Класифікація

Іншими важливими поняттями в теорії надійності і практиці експлуатації технічних систем є пошкодження і відмови.

Пошкодженням (damage) називається подія, що полягає в порушенні справності об'єкту або його складових частин через вплив зовнішніх умов, що перевищують рівні, установлені нормативно - технічною документацією (НТД).

Відмова (failure) – це випадкова подія, що полягає в порушенні працездатності об'єкта під впливом ряду випадкових факторів.

Пошкодження може бути істотним і з'явитися причиною відмови й несуттєвим, при якому працездатність об'єкту зберігається.

Стосовно до відмови і пошкодження розглядають критерій, причину, ознаки прояву, характер і наслідки.

Працездатний стан об'єкту 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 нормативно-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.

Характер відмови або пошкодження визначають конкретні зміни, що відбулися в об'єкті.

До наслідків відмови або пошкодження відносяться явища і події, що виникли після відмови або пошкодження і в безпосередній причинний зв'язку з ним.

Відмови об'єктів технічних систем можуть бути різних видів і класифікуються за різними ознаками (табл.2.1).

Кожну відмову характеризує:

- **критерій відмови (failure criterion)** – ознака чи сукупність ознак порушення працездатного стану об'єкта, встановлені у нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації;

- **причина відмови (failure cause)** – обставини під час проектування, виробництва чи використання об'єкта, які привели до відмови;

- **механізм відмови; характер виникнення відмови (failure mechanism)** – фізичний, хімічний або інший процес, що привів до відмови;

- **вид відмови (failure mode)** – форма прояви відмови. Видами відмови є, наприклад, обрив чи закоротіння кола, зміна коефіцієнта підсилення тощо;

- **наслідки відмови (failure effect)** – явища, процеси, події та стани, зумовлені виникненням відмови об'єкта;

- **критичність відмови (failure criticality)** – сукупність ознак, що характеризують наслідки відмови. Класифікацію відмов за критичністю, наприклад, за рівнем прямих та

непрямих втрат, пов'язаних з появою відмови, чи трудомісткістю відновлення після відмови встановлюють в нормативній та (або) конструкторській (проектній) документації за згодою з замовником на підставі техніко-економічних міркувань і вимог до забезпечення безпеки.

На підставі викладеного слід підкреслити, що поняття надійності є фундаментальним поняттям, що охоплює всі сторони технічної експлуатації елементів, вузлів, блоків і систем. При цьому надійність є частиною більш широкого поняття – ефективності.

Ефективність – це властивість об'єкта виконувати задані функції з необхідною якістю. Причому на ефективність функціонування об'єкта поряд з надійністю впливають і інші характеристики, такі як точність, швидкодія, стійкість і т.д.

Таким чином, основним завданням при проектуванні об'єкта різного призначення можна назвати підвищення ефективності і якості, а, отже, поліпшення таких його характеристик, як надійність, міцність, швидкодію і т.п.

Таблиця 2.1 – Класифікація відмов

Ознаки відмови	Тип відмови	Характеристика відмови
Характер виникнення	Раптова відмова (sudden failure)	Відмова, яку неможливо передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом
	Поступова відмова (gradual failure; <i>drift failure</i>)	Відмова, спричинена поступовими змінами значень одного чи декількох параметрів об'єкта. Поступову відмову можна передбачити попередніми дослідженнями чи технічним оглядом, інколи її можна підвернути заходами технічного обслуговування
Характер усунення	Середня	Відмова не обумовлена ушкодженнями або аномаліями інших елементів (вузлів)
	Важка	Відмова обумовлена ушкодженнями або відмовами інших елементів (вузлів, пристроїв). (Наприклад, внаслідок пробою конденсатора може згоріти інший елемент пристрою)
Можливість подальшого використання	Повна відмова (complete failure)	Відмова, що призводить до повної неспроможності об'єкта виконувати жодну з потрібних функцій
	Часткова відмова (partial failure)	Відмова, що призводить до неспроможності об'єкта виконувати частину з потрібних функцій
	Критична відмова (critical failure)	Відмова, що за оцінками може привести до травмування людей, значних матеріальних збитків чи до інших неприйнятних наслідків
Характер прояву	Збій (interruption)	Само усувна відмова або одноразова відмова, яку незначним втручанням усуває оператор
	Повторювальна відмова (intermittent failure)	Само усувна відмова одного й того ж характеру, що виникає багаторазово
	Систематична відмова (systematic failure; <i>reproducible failure</i>)	Відмова, однозначно пов'язана з певною причиною, яку можна усунути лише тільки після модифікації проекту чи виробничого процесу, правил експлуатації, документації чи інших чинників, що враховуються

Продовження таблиці 2.1

Причина виникнення відмови	Конструкційна відмова (design failure)	Відмова, спричинена недосконалістю чи порушенням встановлених правил і (чи), норм проектування та конструювання об'єкта
	Виробнича відмова (manufacturing failure)	Відмова, спричинена невідповідністю виготовлення об'єкта до його проекту чи до норм виробничого процесу
	Відмова через перевантаження (misuse failure)	Відмова, спричинена діями під час використання об'єкта навантажень, що перевищують його встановлену спроможність
	Відмова через неправильне поводження (mishandling failure)	Відмова, спричинена неправильним чи необережним поводженням з об'єктом
	Відмова через неміцність (weakness failure)	Відмова, спричинена неміцністю самого об'єкта, коли дії навантаження на об'єкт не перевищують встановлену спроможність об'єкта. Примітка. Неміцність може бути властива об'єктові чи запозичена
Час виникнення	Ресурсна відмова (marginal failure)	Відмова, внаслідок якої об'єкт досягає граничного стану
	Деградовна відмова (degradation failure)	Відмова, спричинена процесами деградації в об'єкті при дотриманні усіх встановлених правил і (чи) норм його проектування, виготовлення та експлуатації
Легкість виявлення	Явна відмова (explicit failure)	Відмова, що виявляється візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностування під час підготовки об'єкта до використання чи в процесі його використання за призначенням
	Прихована відмова (latent failure)	Відмова, що не виявляється візуально чи штатними методами і засобами контролю та діагностики, але виявляється під час проведення технічного обслуговування чи спеціальними методами діагностики
Характер впливу	Ураховувана відмова (relevant failure)	Відмова, яку належить заносити у пояснювальну записку до наслідків випробувань чи експлуатації або у розрахунок величини показника безвідмовності. Повинні бути встановлені критерії врахування відмови
	Невраховувана відмова (non-relevant failure)	Відмова, яку належить вилучити з пояснювальної записки до наслідків випробувань чи експлуатації або з розрахунків величини показника безвідмовності. Повинні бути встановлені критерії вилучення відмови
Характер залежності	Залежна відмова (secondary failure)	Відмова об'єкта, спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта
	Незалежна відмова (primary failure)	Відмова об'єкта, не спричинена прямо чи непрямо відмовою або несправністю іншого об'єкта

Одним з методів підвищення надійності, широко використовуваним при проектуванні об'єкта, є **резервування** – метод підвищення надійності за рахунок введення

надмірності. Під надмірністю розуміють додаткові кошти і можливості понад мінімально необхідних для виконання об'єктом заданих функцій.