

## ЛЕКЦІЯ 1

### ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

#### 1.1. Основні поняття і визначення

#### 1.2 Організація діагностування і оцінка технічного стану машини

#### 1.3. Системи контролю

#### 1.1. Основні поняття і визначення

Дослідження технічного стану устаткування є предметом **технічного діагностування**, мета якого - вивчення проявів (ознак) різних технічних станів, розробка методів їх визначення, а також принципів побудови і використання систем діагностування.

**Технічне діагностування** - галузь науково-технічних знань, суть яких складають теорія, методи і засоби виявлення і пошуку дефектів об'єктів технічної природи.

**Цілі діагностування** - своєчасне виявлення порушень функціонування і працездатності об'єктів і запобігання серйозним наслідкам можливих відмов.

Досліджуваний об'єкт може знаходитися в одному з наступних технічних станів (рис. 1):



Рис. 1. Стан досліджуваного об'єкту

- 1) справний або несправний;
- 2) працездатний або непрацездатний;
- 3) стан правильного або неправильного функціонування.

Об'єкт, що задовольняє усім вимогам нормативно-технічної документації, є справним. Справний об'єкт знаходиться в справному технічному стані. Об'єкт працездатний, якщо він може виконувати усі задані йому функції із збереженням значень заданих параметрів в необхідних межах. Працездатний об'єкт знаходиться в працездатному стані.

Таким чином, **справний об'єкт** повністю задовольняє усім технічним вимогам. **Несправний об'єкт** - об'єкт, що має дефект. **Дефект** - будь-яка невідповідність властивостей об'єкту заданим, необхідним або очікуваним його властивостям.

Для несправного об'єкту можливі два стани: працездатне і непрацездатне. **Працездатний об'єкт** - об'єкт, у якого технічним вимогам відповідають лише властивості, що характеризують здатність виконання заданих функцій. Перехід справного об'єкту в працездатний стан називається **ушкодженням**. Перехід працездатного об'єкту в непрацездатний стан називається **відмовою**.

**Правильно функціонуючим є об'єкт**, значення параметрів якого в даний момент часу знаходяться в необхідних межах. Об'єкт може також знаходитися в несправному стані і в стані неправильного функціонування.

В умовах експлуатації необхідно підтримувати (як мінімум) працездатний стан. Це покладається на систему технічного обслуговування (ТО) і ремонтів. Основний зміст ТО - контроль стану устаткування і його обслуговування в цілях підтримки справності або працездатності. Завдання ремонту - відновлення справності або працездатності.

**Основним завданням діагностування** є своєчасне виявлення і пошук дефектів, тобто визначення їх наявності, характеру і місця знаходження. **Виявлення дефекту** - встановлення факту наявності дефекту у об'єкті. **Пошук дефекту** - вказання з певною точністю його місцезнаходження в об'єкті.

**Призначення технічного діагностування** полягає в підвищенні надійності об'єктів на етапі експлуатації, а також запобігання виробничому браку на етапі виготовлення. Вимоги, яким повинен задовольняти об'єкт, визначаються відповідною нормативно-технічною документацією.

Проведення діагностичних робіт, отримання безперервної інформації про контрольовані параметри за допомогою контрольних приладів дозволяє виявити закономірності прояву відмов і втрати працездатності машини і розробити систему профілактичних заходів.

Діагностування при цьому пов'язане з профілактикою машини і її вузлів. Як діагностування, так і профілактика повинні бути безперервними.

Діагностування невіддільне від процесів дослідження надійності і працездатності машин і подальшого прогнозування стану подій. Цей процес можна характеризувати як визначення стану машини для даного періоду експлуатації в зв'язку зі зміною або порушенням в часі технологічних функцій і фізико-

механічних властивостей, її механізмів і вузлів. Діагностування супроводжується і характеризується безперервним контролем параметрів, виявленням причин виникнення відмов і втрати працездатності безпосередньо в період експлуатації, прогнозуванням подальшого стану машини і виявленням закономірностей зміни параметрів у часі. Діагностування оцінює вплив процесів, що протікають, на зміну технічного стану машини в період її експлуатації; прогнозує можливі наслідки стану обладнання, вибір шляхів і засобів усунення шкідливих наслідків. В цьому випадку діагностування буде направлено на попередження та виявлення причин втрати працездатності.

Технічне діагностування в умовах експлуатації машини дозволяє досліджувати і вивчати питання працездатності, форми прояву відмов і методи їх локалізації, розпізнавання і прогнозування прихованих дефектів без розбирання технічного об'єкта.

Технічне діагностування проводиться в наступних випадках:

- машина знаходиться в одному з станів: працездатному або непрацездатному (в стані відмови);
- в технологічному обладнанні можна виділити вузли, механізми, які характеризують один зі станів (працездатне або неробочий);
- з числа техніко-експлуатаційних параметрів машини можна виділити і проконтролювати конкретні параметри і їх значення.

У процесі технічного діагностування здійснюється безперервний контроль технічного стану і параметрів машини. Під час контролю технічного стану виконується перевірка відповідності значень контрольованих параметрів машини вимогам техніко-експлуатаційної документації. В результаті проведення контролю та виконання діагностування здійснюється пошук місця і визначення причин відмови і появи несправностей. Результати діагностування використовуються для прогнозування технічного стану машини і її поведінки в наступні періоди експлуатації.

Достовірність діагностування багато в чому залежить від технічного стану автоматичних контрольних пристроїв, датчиків, приладів, від можливості використання пристроїв і приладів не тільки для діагностування, але і для моніторингу. В процесі експлуатації машини виникає можливість здійснення основного обсягу діагностичних операцій по вимірах, роботі та технічному стану вузлів і механізмів, умов роботи.

Основними об'єктами діагностування стають найбільш навантажені вузли і механізми, що працюють в складних і важких умовах застосування, при підвищених температурах, хімічному і електричному впливі, незадовільних умовах доступності до обслуговування, мащення. До таких вузлів можуть бути віднесені найбільш рухливі та високошвидкісні механізми і вузли, установки, пневмо- і гідроапаратура, автоматична апаратура і системи управління.

Діагностування машини супроводжується сукупністю перевірок і зняття тестів взаємопов'язаних параметрів, для яких встановлені межі допустимих відхилень.

Програмне забезпечення передбачає наявність вбудованих діагностичних тестів для виявлення місця відмови. Проведення діагностичних тестів з можливістю моніторингу становить основу отримання достовірної інформації, необхідної для визначення місця відмови і елемента, що відмовив.

Автоматичний контроль і діагностування включають виявлення і усунення відмов, систематичне спостереження за роботою механізмів і вузлів. Виконується безперервна фотографія роботи машини, проводиться хронометраж простоїв і статистика відмов. У період фотографії часу роботи машини враховуються і фіксуються всі види і причини простоїв, час простоїв і усунення причин простоїв і неполадок. Враховують простої як з технічних, так і не з технічних причин. Результати діагностування або автоматично реєструються, або заносяться в карту спостережень. Потім слід статистична обробка результатів діагностування і розробляються заходи щодо забезпечення надійності і працездатності машини, виявляються резерви підвищення ресурсу та її надійності.

Контроль працездатності об'єкта здійснюється з виконанням необхідного числа і частоти контрольних перевірок. Кожна перевірка дає інформацію про значення контрольованих параметрів машини з отриманням позитивного результату, якщо значення контрольованого параметра знаходиться в зоні допуску, і негативного, якщо значення контрольованого параметра знаходиться за межами допуску. Машина буде вважатися працездатною, якщо в процесі діагностування отримані значення показників в заданій послідовності мають позитивні результати. Необхідна ступінь деталізації і якості діагностування визначається вимогами, що пред'являються до техніко-експлуатаційних параметрів машини.

Діагностування застосовується в практиці управління технічним станом машини, реєстрації і запису змін параметрів машини і її вузлів, одержуваних безперервно в процесі експлуатації. Це дозволить виявити не тільки поточний стан параметрів, але і визначити тенденції їх зміни в часі. Аналізуючи значення параметрів, можна виявляти зміну параметрів і часу перебування їх в допустимих межах. На основі чого вживаються заходи, спрямовані на запобігання втрати працездатного стану машини, що, в свою чергу, призведе до запобігання поломок, виникнення аварій, грубих порушень експлуатації техніки. У процесі діагностування можна стежити за швидкістю зміни і погіршення значень контрольованих параметрів і здійснювати прогнозування, контролювати залишковий технічний ресурс. Прогнозування працездатності на основі діагностування вирішує завдання діагнозу технічного стану машини і подальшої зміни надійності вузлів і механізмів.

*Діагностування використовує* результати дослідження фізичної суті процесів функціонування виробу, методи теорії надійності, теорії вимірів і аналізу інформації. Діагностування ґрунтується на результатах технічного контролю. **Технічний контроль** - перевірка відповідності продукції або процесу встановленим технічним вимогам.

Технічний контроль здійснюється на різних стадіях життєвого циклу виробу. Зокрема велике значення має *експлуатаційний контроль*:

1. Контроль параметрів виробу при його функціонуванні з використанням штатних приладів контролю.
2. Періодичний контроль правильності функціонування з використанням штатних сигналізаторів.
3. Контроль з метою виявлення відхилень в роботі виробу з використанням штатних засобів контролю.
4. Діагностування технічного стану з використанням спеціальних діагностичних алгоритмів на основі контрольної-вимірювальної інформації.

***Контроль і діагностування вирішують наступні завдання:***

1. Створення контролепридатного виробу.
2. Розробка системи контрольних засобів.
3. Розробка методів обробки і аналізу контрольної-вимірювальної інформації.
4. Обґрунтування і реалізація способів представлення діагностичної інформації.
5. Розробка рекомендацій по використанню результатів контролю і діагностування і ухвалення необхідних рішень.

Процеси виявлення і пошуку дефектів здійснюються при визначенні технічного стану об'єкту і об'єднуються терміном "діагностування". Завдання діагностування - перевірка справності, працездатності і правильного функціонування об'єкту, а також завдання виявлення і пошуку дефектів.

У діагностиці для об'єкту часто використовується термін "**контролепридатність**" - властивість об'єкту, що характеризує його пристосованість до проведення контролю заданими засобами.

Рівень контролепридатності об'єкту визначає міру ефективності рішення завдань тестового контролю. Контролепридатність забезпечується в результаті перетворення структури об'єкту, що перевіряється, до виду, зручного для діагностування. Наприклад, до складу об'єкту вводять додаткову апаратуру і передбачають додаткові контрольні точки.

### **Завдання технічного діагностування**

При визначенні технічного стану об'єкту можна виділити три типи вирішуваних завдань:

1. Визначення поточного стану об'єкту - завдання діагностування.
2. Пророцтво технічного стану об'єкту в майбутній момент часу - завдання прогнозування.
3. Визначення технічного стану об'єкту для минулого моменту часу - завдання генезу (наприклад, розслідування аварії).

## **1.2 Організація діагностування і оцінка технічного стану машини**

Тільки правильно організований процес діагностування може забезпечити високий рівень працездатності машини. Виконуючи діагностування, фор-

мують область технічного стану і встановлюють фактичний рівень надійності машини.

Технічний стан для кожного вихідного параметра формується як область, в якій знаходяться всі його значення для прийнятих умов і режимів роботи машини. Зміна області стану відбувається з плином часу і залежить від процесів старіння, зносу, умов і режимів експлуатації машини. У зв'язку з цим закон імовірнісного розподілу  $F(x)$  буде характеризувати ймовірність знаходження в заданій точці значень  $x$ . Область станів визначається не тільки значеннями параметрів, але і імовірнісними характеристиками: математичним очікуванням, дисперсією, коефіцієнтом асиметрії, а повною характеристикою стає функція закону розподілу  $F(x)$ .

Для оцінки технічного стану машини в період діагностування визначаються значення встановлених вихідних параметрів для різних умов експлуатації та проведення розрахунків на основі показників існуючого рівня надійності машини. При експлуатації машини показники будуть змінюватися, і другим етапом оцінки надійності стає проведення прогнозування зміни області станів вихідних параметрів машини під впливом очікуваних процесів старіння.

Для проведення діагностування призначають сукупність контрольно-діагностичних операцій. Може бути запропонована система технічного діагностування, яка включає технічні засоби - ТСД, алгоритм діагностування, тобто, сукупність приписів про проведення діагностування, вибір методу діагностування - функціональний або тестовий.

При проведенні діагностування можуть бути використані аналітичні та графоаналітичні дослідження функціонування вузлів і механізмів, включаючи розробку системи диференціальних рівнянь і передавальних функцій, що зв'язують вхідні і вихідні параметри і функціонування. У процесі діагностування можуть вирішуватися такі завдання: розробка та аналіз функціональних і структурних схем, побудова математичної моделі функціонування машини із залученням програмних продуктів, вибір і призначення діагностичних параметрів і контрольних точок, мінімізація тестів і оптимізація процедур пошуку і локалізації несправностей, прогнозування майбутнього стану діагностованих об'єктів, виявлення умов, що визначають доцільність відновлення працездатності вузлів і механізмів машини шляхом заміни і ремонту вузлів і механізмів.

Діагностування проводиться з повним вивченням об'єктів діагностики, уточненням критеріїв працездатності, діагностичних параметрів і контрольних точок на основі розробленої методики діагностування та алгоритмів побудови програм.

Методики діагностування повинні містити розроблені методи і алгоритми проведення досліджень, включно з документацією. Документація по проведенню діагностування підрозділяється на організаційну і технологічну. Організаційна документація містить опис методів проведення діагностування з зазначенням періодичності, послідовності виконання робіт, а також основні положення організації робіт, нормативи, інструкції з техніки безпеки та ви-

робничої санітарії, форми планування та обліку виконуваних робіт, в тому числі діагностичні карти.

Технологічна документація включає перелік і опис операції по проведенню робіт, технічних засобів діагностування, черговість виконання робіт, технічні умови і вимоги до виконання операцій.

У висновку про технічний стан вказується залишковий технічний ресурс стану машини, визначаються етапи проведення подальших робіт з технічного обслуговування і ремонту. Результат діагностування повинен задовольняти наступні умови: відображати зміни показників, що визначають надійність, працездатність і довговічність машини в майбутньому, тобто в наступний період експлуатації.

Автоматичний контроль в процесі діагностування передбачає здійснення сукупності операцій контролю і перевірок в заданій послідовності виконання.

Діагностування в залежності від організації обслуговування і ремонту технічних об'єктів, а також технологічного призначення підрозділяють на спеціалізоване і суміщене. В цьому випадку діагностування стає частиною єдиної системи технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) і служить засобом отримання інформації про технічний стан для вжиття заходів планування ТО і ПР.

Метод спеціалізованого діагностування для вирішення завдань проведення ТО і ПР передбачає управління технологічними процесами ТО і ПР. Його проводять переважно для контролю технічного стану машини і її механізмів по окремим узагальненими критеріями і параметрами.

Метод суміщеного діагностування передбачає проведення всебічного діагностування, включаючи поглиблений контроль якості стану машини і вузлів. Тоді технічні засоби та обладнання для діагностування розміщують безпосередньо на контрольних ділянках або в боксах проведення ТО і ПР.

Аналіз схем ТО і ПР (рис. 2) дозволяє виявити такі закономірності в організації діагностування з можливістю проведення ТО і ПР.



Рис. 2 Закономірності в організації діагностування з можливістю проведення ТО і ПР

В процесі виконання діагностичних робіт крім виявлення значень параметрів працездатності і надійності для досягнення і забезпечення високого рівня якісного стану і функціонування механізмів і вузлів машин робиться контроль техніко-експлуатаційних параметрів. Можуть вимірюватися наступні параметри в процесі контрольних випробувань і діагностування:

- шлях, швидкість, прискорення ведених і провідних ланок механізму або приводу;
- кінцеві положення ланок механізмів, розкид їх положення, позиціонування;
- нерівномірність обертання або поступального переміщення ланок механізмів;
- зусилля і моменти, що діють на ланки механізмів і приводу;
- тиск в гідро- і пневмосистемах;
- потужність, споживана електродвигунами;
- момент часу подачі команд включення апаратів, муфт та приладів;
- час початку і кінця роботи механізмів (по циклограмме);
- температура і області зміни температурного поля;
- параметри жорсткості і пружних деформацій окремих ланок механізмів;
- рівень шуму і вібрацій при роботі механізмів;
- спрацьовування і плавність переміщення золотників, соленоїдів і пристроїв системи управління;
- вузли повороту і точності кулачкових, поворотно-фіксуєчих механізмів.

При проведенні діагностування та оцінки контрольованих параметрів можливий диференційований метод визначення стану машин з урахуванням технічних і експлуатаційних даних, режимів функціонування, ступеня впливу техніко-експлуатаційних параметрів на працездатність і надійність. В результаті діагностичних робіт готується інформація для проведення економічних розрахунків про витрати на виконання профілактичних і ремонтних робіт, технічного обслуговування.

При виконанні економічних розрахунків враховуються наступні критерії: продуктивність, ймовірність безвідмовної роботи, сумарне напрацювання, параметри точності, якісні та техніко-експлуатаційні характеристики. При проведенні розрахунків параметрів в процесі діагностування надійності доступними стають методи визначення зносостійкості і міцності, методи дослідження інтенсивності зношування, вивчення форми і мікрошліфів зношених поверхонь, втомної міцності, умов змащення в рухомих з'єднаннях. Діагностування дозволяє здійснювати із застосуванням приладів хронометражу часу роботи і простоїв, витрат часу на відновлення працездатності, визначення причин відмов і інші роботи на даному проміжку часу проведення досліджень.

### **1.3. Системи контролю**

Оснoву системи діагностування складає експлуатаційний контроль об'єкту. Експлуатаційний контроль об'єктів є системою визначення його технічного стану. На підставі отриманих при контролі даних приймається рішення про допустимість подальшої експлуатації об'єкту або про необхідність ремонту і його об'єм. Система експлуатаційного контролю повинна забезпечити виявлення і ідентифікацію дефектів (власне діагностування), а також прогнозування їх розвитку.

Термін "контроль" означає усю сукупність процедур, необхідних для ухвалення рішення по забезпеченню нормальної експлуатації об'єкту. Об'єм випробувань при експлуатаційному контролі визначається виходячи з досвіду експлуатації. Періодичність контролю визначається швидкістю розвитку дефектів і встановлюється в результаті ряду повторюваних випробувань.

Найбільшою мірою цілям діагностування відповідає контроль по прогнозуючому параметру, тобто по такому параметру, який найтісніше пов'язаний з відмовою. Зазвичай цей зв'язок носить стохастичний характер. Достовірність прогнозування залежить від того, наскільки тісний цей зв'язок.

Сучасна система діагностування має в першу чергу бути системою раннього виявлення дефектів, що розвиваються. *Для створення ефективної системи контролю необхідно:*

1. На підставі досвіду експлуатації виявити дефекти, що призводять до відмов, причини їх виникнення і хід розвитку.
2. Визначити спостережувані характеристики (діагностичні параметри) об'єкту, зміна яких пов'язана з виникненням і розвитком дефектів.
3. Виявити зв'язки між значеннями параметрів і технічним станом устаткування. Встановити граничні значення параметрів, що характеризують перехід об'єкту в інший клас технічних станів.
4. Розробити методи виміру цих параметрів в умовах експлуатації.
5. Визначити об'єм і періодичність випробувань, а також їх послідовність (алгоритм контролю).
6. Встановити критерії бракування.

*При створенні діагностичної системи для певного об'єкту вирішуються наступні завдання:*

1. Вивчення функціональних властивостей об'єкту і основних параметричних залежностей.
2. Визначення найбільш ефективних способів інструментального контролю.
3. Формування діагностичних ознак на основі параметричної інформації.
4. Формування діагностичних алгоритмів на основі параметричної інформації.
5. Розробка програмно-математичного забезпечення.
6. Відробіток методів ідентифікації результатів діагностування.

7. Розробка методів і правил використання результатів діагностування для ухвалення рішень.