

## ЛЕКЦІЯ 7 ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ (4 ГОД)

### 7.1. Основні поняття і визначення

### 7.2 Організація діагностування і оцінка технічного стану машини

### 7.3. Системи контролю

### 7.4 Класифікація методів проведення технічного діагностування машин, вузлів і механізмів

### 7.5 Основні положення прогнозування стану працездатності технологічного обладнання

#### 7.1. 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-вимірної інформації.

**Контроль і діагностування вирішують наступні завдання:**

1. Створення контролепридатного виробу.
2. Розробка системи контрольних засобів.
3. Розробка методів обробки і аналізу контрольної-вимірної 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).

## **7.2 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 машини 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 гідرو- 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-фіксуючих 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.



### 7.3. 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.

#### **7.4 Класифікація методів проведення технічного діагностування машин, вузлів і механізмів**

Інформація, що надходить від датчиків і пристроїв зворотного зв'язку і автоматичних контрольно-вимірювальних приладів, може використовуватися для діагностики стану машини, функціонування її вузлів і механізмів.

Інформація також застосовується для прогнозування роботи машини і подальшого контролю стану працездатності. Необхідно вміти визначити і оцінити стан машини з контролю техніко-експлуатаційних параметрів на основі діагностики. Крім того, необхідно мати дані про стан керованості машини, її механізмів, вузлів.

Існує взаємозв'язок методів діагностування та технічних засобів діагностування та оцінки стану надійності. Засоби оцінки стану машини, технічні засоби діагностування, прилади та апаратура для контролю і діагностування знаходяться в повному взаємозв'язку з застосовуваними методами діагностування. Можна виділити окремі методи діагностування з проведенням контролю стану машини по експлуатаційним параметрам.

**Метод діагностування по ефективності роботи машини.** Застосовується для проведення діагностування та виявлення загального технічного стану машини по вихідним експлуатаційним параметрам, наприклад, таким як вимір і втрата потужності, витрата електроенергії, контроль часу робочого циклу і циклової продуктивності, контроль виконання технічних умов і технічних вимог, експлуатаційних характеристик, якості виробів, що випускаються. Застосовуються технічні засоби діагностики, бортові комп'ютери, прилади.

**Метод діагностування по герметичності робочих органів і систем.** заснований на вимірі витоку повітря, газів і рідин в розподільній апаратурі, системі трубопроводів, в пневмогідроапаратурі. Метод отримав широке застосування для оцінки ступеня зношеності циліндро-поршневих груп, герметичності з'єднань, герметичності системи гальмування і системи охолодження, системи мастила, гідро- і пневможивлення і живлення двигуна. Оцінюються герметичність і цілісність міжкорпусних і міжвузлових ущільнень.

**Метод діагностування по геометричним параметрам.** Застосовується для визначення зазорів і люфтів, що дозволяє оцінювати технічний стан і роботу вузлів устаткування. Визначаються осьові і радіальні биття обертових і рухомих механізмів. Особливе значення має діагностування биття деталей в підшипникових вузлах, геометричної точності, контроль направляючих по сполучаються поверхонь рухомих сполук механізмів і вузлів машини.

**Диференціальний метод.** Відноситься до числа необхідних для діагностування стану різних видів передач: зубчастих, ремінних, ланцюгових. Діагностуються кінематичні пари, передачі, визначаються зазори, биття, лю-

фти в трансмісіях, здійснюються контроль і дотримання норм точності виготовлення деталей.

**Тепловий метод діагностування.** Заснований на оцінці вимірювання температури в характерних точках під час роботи механізмів і вузлів. Досліджуються в процесі експлуатації закономірності зміни температури вузлів, механізмів, підшипникових опор в межах допустимих обмежень.

**Віброакустичний метод** – метод діагностування по виникненню коливальних процесів. Він заснований на дослідженні параметрів вібрації та акустичних шумів при роботі вузлів. Метод використовується для контролю стану електродвигунів, передач, шпиндельних вузлів, коробок і вузлів подачі. Контроль появи і розпізнавання стуку розглядається як наслідок підвищеної зношеності вузлів і механізмів. Із застосуванням сучасних приладів і комп'ютерної техніки віброакустичний метод отримує велике поширення.

**Профілактичний метод візуального контролю.** Процес діагностування передбачає обстеження основних вузлів, візуальний контроль і виявлення місць порушення роботи машин і можливих причин виникнення відмов. Застосовуються переносні прилади, електронні датчики, контрольні пристрої, перевіряється робота пневмогідроапаратури, здійснюється контроль стану силового електроживлення і електричних ланцюгів управління.

**Метод контролю за нормативними даними.** Заснований на порівнянні фактичних або експериментальних значень параметрів (зусилля, тиск, потужність, температура і ін.) з нормативними даними, паспортними значеннями, технічними умовами. Метод передбачає, що для діагностується вузла призначається сукупність детермінованих контрольних параметрів. Кожному вхідному параметру повинно відповідати строго заданий значення вихідного параметра. Кожному вихідному параметру можуть відповідати кілька передбачуваних вихідних значень, що дозволяють задавати допустимі відхилення в залежності від вимог замовника і якості виробів, що виготовляються.

**Метод розрахункових залежностей.** Заснований на порівнянні експериментально отриманих функціональних залежностей параметрів вузла, що перевіряється, з заданими нормативними залежностями, отриманими експериментальним або розрахунковим шляхом.

**Метод контролю нестационарних значень параметрів машини.** Є методом контролю невстановлених значень параметрів, описуваних законами імовірнісного розподілу з урахуванням зміни параметрів у часі.

**Метод контролю із застосуванням осцилографів.** Заснований на аналізі і вимірі параметрів із застосуванням осцилографів і контрольно-яка реєструє техніки.

**Кореляційний метод** дослідження. Будуються кореляційні залежності зміни параметрів.

**Метод спектрального аналізу.** Діагностування починається з аналізу параметрів, що хронометруються за даними діагностичних спостережень і досліджень.

## **7.5 Основні положення прогнозування стану працездатності технологічного обладнання**

### **Прогнозування рівня розвитку технологічного обладнання**

Прогнозування вимагає проведення досліджень і розробку методів прогнозу технічного стану і працездатності технологічного обладнання.

При цьому проведені процеси діагностування та інформаційного забезпечення стану машини, напрацювання за минулий період експлуатації служать необхідною інформаційною базою для прогнозування і оцінки майбутнього стану машини зі збереженням технічного ресурсу і забезпечення надійності машини в наступний період експлуатації.

Дані діагностування та моніторингу є основою для прогнозування подій і технічного стану технологічного обладнання. Прогнозування являє собою процес, в результаті якого отримують імовірнісні дані про майбутній стан прогнозованого процесу і в цілому технологічного обладнання.

Для проведення прогнозу потрібна інформація про об'єкт прогнозування, яка розкриває його стан в попередній період протікання подій для виявлення закономірностей і характеру зміни стану в наступний період розвитку подій і стану машини.

Інформація в питаннях прогнозування ґрунтується на поточній (хронологічній) інформації стану та поведінки вузлів і механізмів технологічного обладнання, в тому числі отриманої інформації при діагностуванні і в процесі моніторингу діючих машин. При наявності хронологічній інформації, отриманої в процесі довготривалих спостережень, виявляються закони поведінки і зміни параметрів  $\{p_n\}$  надійності і працездатності в часі поточного періоду експлуатації, закони подальшого імовірнісного зміни параметрів.

Смисл, вкладений в поняття «науково-технічне прогнозування», вимагає пояснення і більшої точності у вживанні. Прогнозування спрямоване не тільки на виявлення поточного стану техніки, підтримання її надійності і працездатності, а й на нововведення і застосування нових технічних досягнень для підвищення техніко-експлуатаційних параметрів технологічного обладнання.

Існує **короткострокове прогнозування** і **довгострокове**, що відображає тактику і стратегію планування та прийняття рішень. При короткостроковому прогнозуванні необхідно брати до уваги, що повнота виявлення тенденцій може бути не забезпечена з необхідним рівнем імовірності. Не всі відхилення і зміни можуть бути враховані. При довгостроковому прогнозуванні зміна подій в минулому дає більш повну і точну інформацію для стратегічного планування розвитку подій і вжитих заходів, але потрібен тривалий період для отримання хронологічній інформації.

Вивчаючи прогнозування технічного стану технологічного обладнання, розглянемо прогнозування стосовно технічного розвитку. Просування рівня стану техніки від попереднього до наступного вимагає безперервного розвитку технологічного обладнання в процесі його експлуатації. Темп розвитку

буде сповільнюватися або прискорюватися в залежності від прийнятих рішень, різноманітних зовнішніх подій, умов зовнішнього середовища. Прогноз розвитку технологічного обладнання може ставитися до будь-якого елементу, вузлу, механізму аналізованого події, до різних рівнів розвитку події в часі.

В основі прогнозування технічного розвитку лежить виявлення перспективних напрямків і пошук технічних рішень. При цьому технічний розвиток залежить від зміни технічних параметрів у часі (рис. 3).

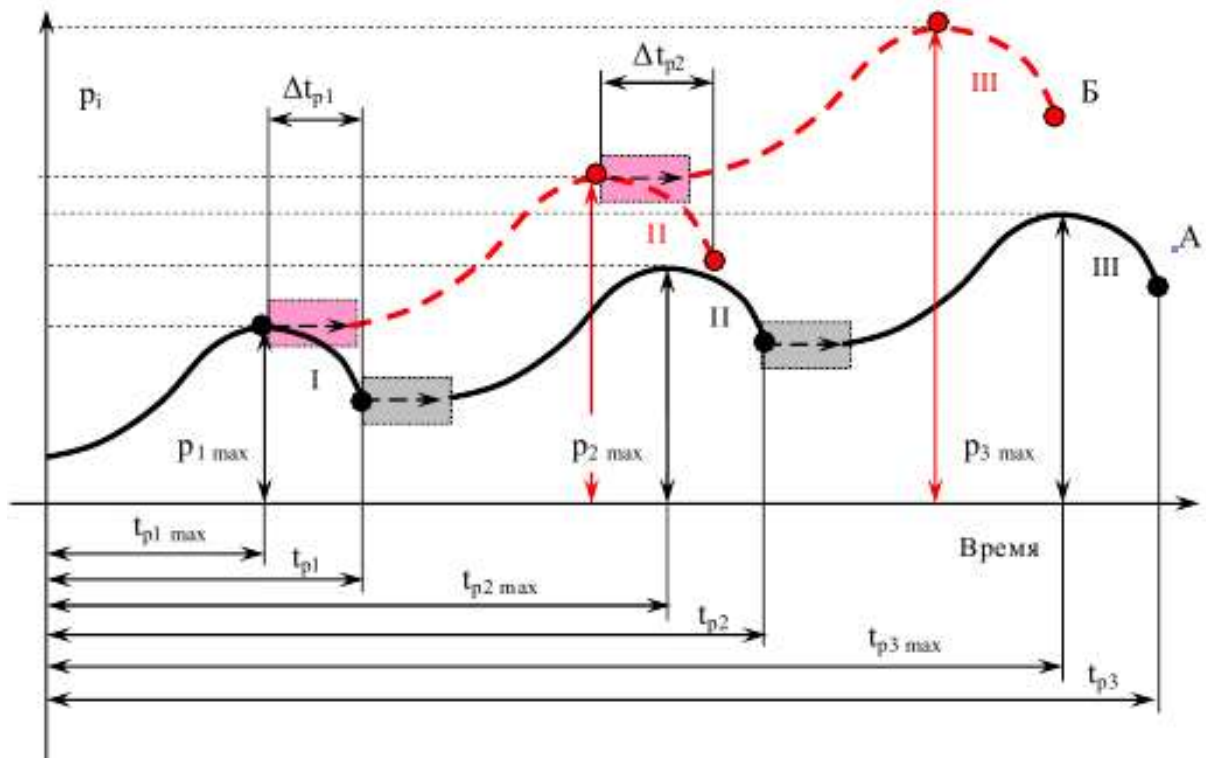



Рис. 3. Графік зміни технічних параметрів розвитку техніки

На рис. 3 позначено: А - поточний варіант розвитку техніки; Б - прогресуючий варіант розвитку техніки; I, II, III - етапи зміни технічного стану техніки і її вдосконалення;  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  - досягнуті рівні розвитку техніки для різних етапів технічного стану;  $\Delta t_{p1}$ ,  $\Delta t_{p2}$  - зміщення початку чергового етапу розвитку техніки.

Зона графічного зображення  на рис. 3 показує темп розвитку і переходу з одного рівня на інший.

Технічними параметрами  $\{p_i\}$  можуть бути в залежності від об'єкта швидкість, продуктивність, питоме споживання палива, витрата електроенергії, потужність, показники якості, витрати на технічне обслуговування і ремонт.

За рахунок чого досягається технічний розвиток? За рахунок модернізації і удосконалення конструкції, реалізації нових патентів, використання нових матеріалів і т. д.

Функції технічного розвитку показують, що існує безліч причин або факторів, що призводять до необхідності проведення прогнозів. Основні

чинники - знос, моральне і фізичне старіння техніки, необхідність безперервного вдосконалення конструкції, вдосконалення обслуговування і ремонту технологічного обладнання, розробка більш ефективної системи постачання запчастинами, недостатня кваліфікація, досвід і знання обслуговуючого персоналу і ін.

Тоді функція технічного розвитку технічного об'єкта запишеться

$$T_i = a(p_i)^{bc} \quad (1)$$

де  $p_i$  - поточне значення параметра технічного об'єкта;

$a$  - константа зміни поточного технічного стану (параметра  $p_i$ ) по відношенню до майбутнього зразком технічного об'єкта з кращими параметрами  $p_{\delta}$ ,

$$a = \frac{p_{\delta}}{p_i}$$

де  $p_{\delta}$  - значення прогнозованого параметра для майбутнього зразка технічного об'єкта;

$b$  - коефіцієнт впливу зовнішнього середовища;

$c$  - коефіцієнт темпу розвитку,

$$c = \frac{t_{p\delta}}{t_{pi}}$$

де  $t_{pi}$ ,  $t_{p\delta}$  - темп або час переходу з одного рівня розвитку на наступний. Параметри  $a$ ,  $p_i$ ,  $b$  є прогнозованими.

На темп розвитку (параметр  $c$ ) техніки впливають:

$L$  - кількість ефективно працюючого обслуговуючого персоналу;

$\alpha$  - показник середнього рівня освіти;

$\beta$  - показник технічної підготовки, середнього рівня досвідченості;

$I$  - рівень капіталовкладень;

$I$  - темп зміни рівня капіталовкладень;

$\delta$  - очікуваний темп зміни ринкового попиту, нахилу кривої збуту;

$\tau$  - темп поширення і впровадження удосконалень.

Відомо, що «майбутня техніка і події появи аварій і катастроф відкидають свою тінь і стають видимими і передбачуваними суспільству задовго до того, як її вплив зробиться значним. І повинні бути в змозі виявити ознаки майбутнього технічного зміни і систематично стежити за ним і приймати нові рішення». Це означає, що прогнозувати потрібно виходячи з існуючих подій.

За вищевикладеним визначень здійснюються стеження, діагностування і при необхідності моніторинг, які гуртуються на оцінці подій і фактів.

Моніторинг заснований на діагностиці параметрів стану технологічного обладнання і безперервному контролю його працездатності. Моніторинг, включаючи діагностування, являє собою систему спостережень і безперерв-

ного контролю, що здійснюються регулярно і циклічно за заданою програмою і розробленою методикою.

Моніторинг повинен включати:

1) вибір таких параметрів, варіантів планованих кроків, дій і рішень, які можна простежити, встановити значення цих параметрів, швидкість і напрямки розвитку, а також ефект застосування;

2) пошук ознак в навколишній обстановці, які можуть бути початковими параметрами вдосконалення і розвитку технологічного обладнання та майбутніх подій експлуатації та застосування машини, що дозволить передбачати майбутні події і зміни;

3) своєчасне відстеження і контроль даних, подання даних, отриманих на попередніх етапах, для прийняття рішень із застосуванням обчислювальної техніки;

4) забезпечення сприйнятливості системи прогнозування до виникнення і можливої зміни (стійкість) подій;

5) виявлення тенденцій напрямки розвитку технологічного обладнання;

6) виявлення можливих наслідків, якщо ці ознаки справедливі (правдиві) і якщо розвиваються тенденції, на які вони вказують.

При проведенні моніторингу надається можливість здійснювати оцінку технічного стану машини і безперервний збір інформації з розглядом фактів за результатами моніторингу для прийняття рішень. В результаті моніторингу ведеться пошук, розгляд альтернативних варіантів, напрямів прийняття рішень, вибір для спостереження і оцінки найбільш важливих параметрів стану працездатності технологічного обладнання.

#### **Прогнозування технічного стану.**

**Прогнозування технічного ресурсу.** Теоретичною основою для прогнозування ресурсу технологічного обладнання в умовах накопичення, і виникнення несправностей, тріщин служить механіка руйнувань, зносу. Фізичний процес руйнування складається з накопичення розсіяних пошкоджень, може становити значну частину загального ресурсу. Процес накопичення ушкоджень безперервно триває, виявляються їх закономірності зміни, що впливає на зміну параметрів, що контролюються  $\{p_n\}$ .

Завдання прогнозування технічного ресурсу включає також розрахунок на експлуатаційну надійність, безвідмовність техніки. Особливе місце займає розрахунок на безпеку.

В процесі експлуатації техніки ведеться постійний пошук і контроль дефектів. У зв'язку з цим необхідний збір інформації про вузли, стан деталей і механізмів, навантаженнях, швидкостях і інших техніко-експлуатаційних параметрах технологічного обладнання.

Прогнозування здійснюють зі зміни технічних параметрів  $\{p_n\}$ . Перевіряють працездатність технологічного обладнання, його вузлів, виявляють дефекти, отримують вихідні дані для оцінки поточного стану технічного об'єкта.

Графік (рис. 4) включає два періоди моделі: I - період діагностування, контролю зміни фактичного стану технічного об'єкта; II - період прогнозування майбутнього стану технічного об'єкта. В процесі моделювання стану визначається збільшення швидкості зміни технічного параметра  $p_n$  як

$$dV_p = \frac{dp}{dt}$$

У першому періоді визначаються зміна параметра  $p_n(t)$  у часі і швидкість зміни параметра

$$V_p(t) = \int_0^t p(t)dt \quad (2)$$

У другому періоді вирішується зворотна задача - прогнозується зміна параметра як

$$p(t) = \int_0^t V_p(t)dt \quad (3)$$

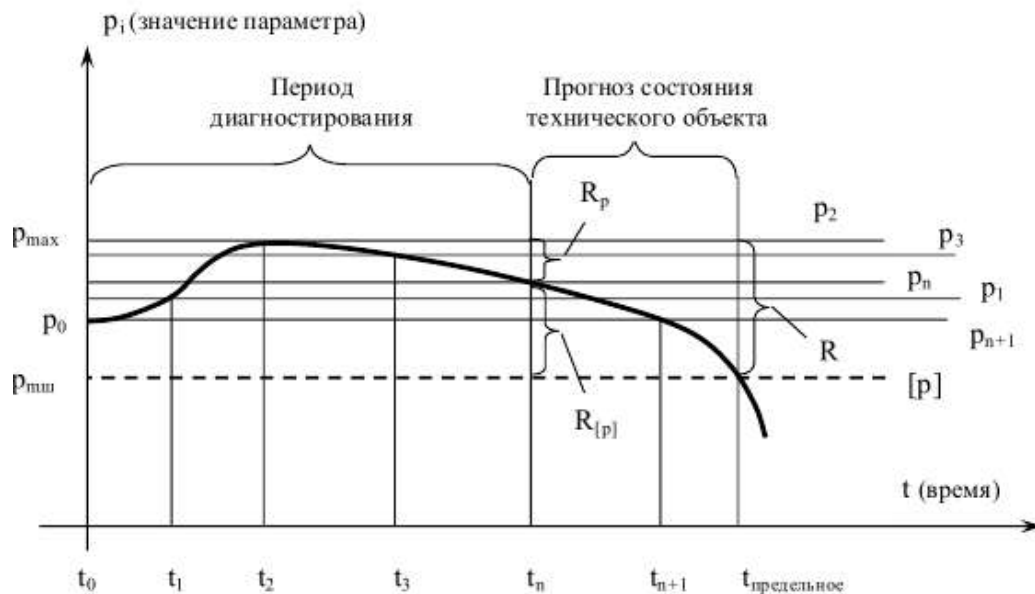


Рис. 4. Графічна модель поточного технічного стану об'єкта та прогнозування його майбутнього стану

На рис. 4 позначено:  $R$  - значення загального технічного ресурсу об'єкта,  $R_p$  вказує на який витрачено ресурс для поточного періоду і часу діагностування,  $R_{[p]}$  - на залишковий ресурс;  $p_0$  - початкове значення параметра;  $p_i$  - поточне значення параметра;  $[P]$  - гранично допустиме значення параметра. Загальний ресурс параметра визначається  $R = p_0 - [p]$ ; витрачений ресурс  $R_p = p_0 - p_n$ ; залишковий ресурс  $R_{ост} = p_n - [p]$ .

Прогноз ресурсів і технічного стану технологічного обладнання дозволяє утримувати машину, знаючи, що протягом планованого терміну вона буде безвідмовно функціонувати в оперативному режимі. У процесі діагностування можна стежити за швидкістю зміни падіння значень контрольованих



параметрів і спрогнозувати, коли той чи інший параметр може вийти за межі граничного значення  $[p]$  або допуску. Відповідно, можна спрогнозувати час початку втрати працездатності технологічного обладнання.

Прогнозуючи, можна поставити «діагноз» стану технологічного обладнання, його працездатності, стану механізмів і навантажених деталей. Прогнозування застосовується в практиці управління технічним станом технологічного обладнання, коли здійснюється контроль зміни параметрів безперервно в процесі експлуатації. Це дозволяє бачити не тільки поточне значення параметрів, але і виявляти тенденції їх зміни в часі, коли аналізуються значення параметрів.

Методи визначення допустимого відхилення параметрів технічного стану при прогнозуванні залишкового ресурсу техніки встановлює стандарт.

Прогнозування має певну організацію його проведення, яке включає наступні етапи:

- 1) припущення, гіпотезу, осмислене висловлювання, умовивід, що з'являються в процесі аналізу проблеми або проведеного дослідження; це означає, що, прогнозуючи, можна передбачити, побудувати прогноз найбільш ймовірного прояву події, явища в майбутньому;

- 2) висування теорії або методу, що визначають можливість проведення прогнозування з отриманням достовірного результату з максимально досяжною точністю, визначення достовірності припущення, гіпотези;

- 3) застосування методу або кілька об'єднаних методів з отриманням результату з можливо допустимої ступенем ймовірності; перевірка теорії на проведенні досліджень.

Прогнозування надійності характеризується тим, що вирішується ймовірна задача, в якій поведінка технічного об'єкта або події в майбутньому визначається з тим чи іншим ступенем достовірності і оцінюється ймовірність його знаходження в певному стані при розглянутих умовах експлуатації.

Існують різні методи прогнозування:

- прогнозування надійності;
- працездатності;
- технічного ресурсу.

Стосовно до надійності прогнозування зводиться в основному до розрахунку ймовірності безвідмовної роботи об'єкта  $P(t)$  в залежності від можливих умов експлуатації.

В основі прогнозування надійності лежить оцінка зміни вихідних параметрів технологічного обладнання в часі при різних вхідних даних, на підставі чого можна зробити висновок про показники надійності при різних умовах і методах експлуатації.

Прогнозування надійності технологічного обладнання зводиться до прогнозування працездатності, ймовірності безвідмовної роботи, прогнозування залишкового технічного ресурсу. Розширюючи область пізнання пи-

тань прогнозування на основі діагностування, можна вирішувати питання прогнозування стосовно технічного стану і надійності різних видів техніки.