

ЛЕКЦІЯ №13

Технічна діагностика та автоматизований контроль

Задачі технічної діагностики

В останні десятиріччя XX-го століття спостерігався постійне зростання складності створюваних технічних систем, в тому числі і електронних, при одночасному підвищенні вимог до ефективного їх функціонування.

Створення багатофункціональних систем потребує ускладнення схемних побудов указаних систем, що неминуче призводить до зниження рівня їх надійності, оскільки при цьому різко збільшується кількість застосованих в системах елементів. При цьому зниження рівня надійності не може бути компенсовано застосуванням елементів з високою надійністю.

Таким чином, виникає проблема забезпечення систем з такою високою експлуатаційною надійністю, щоб вони могли ефективно функціонувати при застосуванні.

Для рішення вказаної проблеми необхідна розробка нових методів і засобів контролю працездатності та пошуку несправностей (відмов), тобто необхідно вдосконалювати організацію технічного обслуговування. Саме сучасне технічне обслуговування спроможне розв'язати вказані протиріччя при створенні складних технічних систем.

Розглянемо, що таке технічна діагностика та її основні задачі, які вона вирішує при технічному обслуговуванні технічних пристроїв.

Технічна діагностика – це наука, яка включає в себе теорію і методи визначення технічного стану об'єктів при виготовленні та експлуатації, а також основні принципи побудування технічних засобів, які забезпечують технічне діагностування. Технічну діагностику слід розглядати як розділ загальної теорії надійності електронних систем.

Основною задачею технічної діагностики є розпізнавання технічного стану будь-якого пристрою в умовах обмеженої інформації про його реальний стан.

Під технічним станом слід розуміти сукупність технічних параметрів (характеристик) пристрою, які визначають здатність його виконувати відповідні функції та які можуть зазнавати різних зовнішніх дій в процесі транспортування та експлуатації.

Розрізняють декілька видів технічних станів:

- ♦ справний – це технічний стан пристрою, при якому він відповідає усім технічним вимогам НТД, інакше він несправний;

- ♦ працездатний – це технічний стан пристрою, при якому він відповідає основним технічним вимогам, які визначають можливість застосування його за призначенням. Фізичні процеси, що відбуваються в елементах в процесі експлуатації об'єкта, можуть викликати ту або іншу несправність. Різним несправностям пристрою відповідають різні технічні стани.

Очевидно, що при проведенні аналізу стану пристрою в умовах експлуатації завжди існує певний ризик допустити помилку при визначенні реального стану пристрою, що є особливо неприпустимим для деяких об'єктів, експлуатація яких в несправному стані може мати катастрофічні наслідки.

Слід відмітити, що контроль працездатності пристрою дає однозначну відповідь тільки на питання, чи знаходиться пристрій у справному (працездатному) чи непрацездатному стані. Така інформація цілком достатня при контролі невідновлюваних систем, коли технічне обслуговування зводиться до заміни системи в цілому, якщо вона непрацездатна.

У випадку відновлюваних при експлуатації пристроїв, коли технічне обслуговування передбачає відновлення (ремонт) його шляхом заміни окремих елементів, крім встановлення самого факту відмови пристрою, необхідно ще визначити місце її появи, а при необхідності і причину її появи. В даному випадку нова задача має істотну відмінність від задачі контролю працездатності.

Особливістю нової задачі є те, що множина непрацездатних станів тепер розбивається на ряд підмножин, які підлягають розрізненню. Таким чином, вище розглянута задача (пристрій або працездатний, або непрацездатний) перетворюється в багатоальтернативну,

рішення якої зводиться до віднесення пристрою до однієї з заданих підмножин простору непрацездатних станів.

Отже, рішення діагностичної задачі (віднесення пристрою до справного або несправного) зводиться до забезпечення потрібної достовірності у визначенні реального стану пристрою.

Технічна діагностика базується на двох взаємопов'язаних напрямках: теорії розпізнавання та теорії контролепридатності

Теорія розпізнавання включає в себе наступні розділи: алгоритми розпізнавання, правила прийняття рішень та діагностичні (математичні) моделі.

Розпізнавання стану пристрою означає віднесення його стану до одного з можливих класів (діагнозів). Кількість таких класів (діагнозів) визначається конкретною задачею, яка ставиться перед засобами технічної діагностики при дослідженні стану того чи іншого пристрою. Для розпізнавання станів пристроїв використовують відповідні алгоритми розпізнавання.

Алгоритми розпізнавання базуються на відповідних діагностичних моделях, які встановлюють зв'язок між можливими станами пристрою та набором їх діагностичних параметрів (сигналів).

Істотною частиною процесу розпізнавання є вибір параметрів пристрою, які характеризують його стан. Параметри повинні бути достатньо інформативні, щоб при вибраній кількості діагнозів процес розпізнавання міг бути здійсненим.

Теорія контролепридатності включає в себе наступні розділи: діагностичну інформацію, контроль стану та пошук несправностей (відмов).

Контролепридатністю називається властивість пристрою забезпечувати достовірну оцінку його технічного стану та можливість раннього виявлення несправностей та відмов (прогнозування можливих відмов). Контролепридатність створюється конструкцією пристрою та прийнятою системою технічної діагностики.

В якості системи пошуку несправностей (відмов) часто використовують вбудовані системи контролю (ВСК), які дозволяють визначити працездатність пристрою.

В складних технічних системах використовують автоматизовані вбудовані системи тестового діагностування (ВСТД), які дозволяють автоматизувати процес контролю працездатності та пошуку несправностей пристроїв при експлуатації.

ВСТД мають високу швидкодію та необхідну точність вимірювань і значно підвищують рівень достовірності контролю працездатності пристрою. Так, найбільш досконалі системи контролю можуть видавати рекомендації про характер управляючих дій, які необхідно застосувати до об'єкта контролю, щоб постійно утримувати його вихідні параметри (характеристики) в допустимих межах під час його роботи.

На рис. 1 показана загальна схема системи контролю при технічному обслуговуванні об'єктів. Модель об'єкта представляє собою генератор випадкового процесу $X(t)$, який описує зміну стану об'єкта в часі під впливом зовнішніх та внутрішніх $\xi(t)$ діючих факторів. Обслуговування при цьому зводиться до такого

управління процесом $X(t)$, щоб об'єкт постійно знаходився в області дозволених станів $S_0^{(n)}$.

Вимірювальний елемент, який оцінює значення регульованої величини $X^*(t)$, видає інформацію у вирішальний пристрій, де приймається рішення про необхідність та характер управляючих дій на об'єкт контролю. Сукупність вимірювального та вирішального пристроїв представляє собою блок контролю.

Якщо встановлено, що об'єкт контролю непрацездатний, то в цьому випадку здійснюється пошук несправності, тобто технічне діагностування з метою визначення місця несправності (блока, вузла, елемента).

Глибина пошуку являє собою кількісну характеристику, яка показує, яка частина пристрою охоплена системою контролю. Вона задається у вигляді вказівки складової частини пристрою (блока, вузла, елемента), з точністю до якої визначається місце несправності.

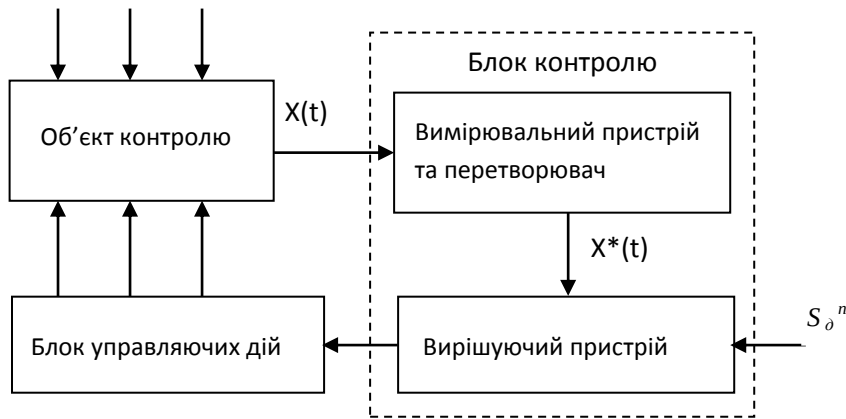


Рис.13.1

Глибина пошуку визначається відношенням:

$$\Pi_1 = \frac{N_k}{N}, \quad (13.1)$$

де N_k – кількість контрольованих елементів; N – загальна кількість елементів пристрою.

Істотною частиною процесу розпізнавання є вибір параметрів пристрою, які характеризують його стан. Параметри повинні бути інформативні, тобто вміщувати досить інформації, щоб по них можливо було визначити стан пристрою.

В цьому випадку глибина пошуку (контролю) може бути представлена у вигляді відношення:

$$\Pi_2 = \frac{I_k}{I_{k0}}, \quad (13.2)$$

де I_k – кількість інформації про стан об'єкта контролю, що знаходиться в параметрах, які контролюються; I_{k0} – загальна кількість інформації про стан об'єкта контролю, яка знаходиться у всіх параметрах об'єкта контролю.

Розглянуті критерії повноти контролю зручні в тих випадках, коли всі елементи в об'єкті контролю мають однакову надійність. Оскільки указані умови на практиці не завжди виконуються, то використовують інший критерій оцінки стану об'єкта контролю, який визначається відношенням:

$$\Pi = \frac{Q_k(t)}{Q_0(t)} = \frac{1 - P_k(t)}{1 - P_0(t)}, \quad (13.3)$$

де $Q_0(t)$, $Q_k(t)$ – імовірність відмови об'єкта контролю в цілому та його контрольованої частини за час між черговими перевірками, тобто протягом часу t ; $P_0(t)$, $P_k(t)$ – імовірність безвідмовної роботи об'єкта контролю та його контрольованої частини за той же самий період.

Якщо припустити, що надійність об'єкта контролю та його складових частин змінюється по експоненціальному закону, то можна записати наступні відношення:

$$P_0(t) = e^{-\Lambda_0 t}; P_k(t) = e^{-\Lambda_k t}, \quad (13.4)$$

де Λ_0 , Λ_k – параметр потоку відмов об'єкта контролю та його частини, яка контролюється.

При $\Lambda_0 t \leq 0,1$ та $\Lambda_k t \leq 0,1$ маємо:
$$\Pi = \frac{1 - P_k(t)}{1 - P_0(t)} \approx \frac{\Lambda_k}{\Lambda_0}.$$

Отже, критерієм повноти (глибини) пошуку (контролю) діагностованого пристрою є відношення імовірності пошкодження частини пристрою, яка контролюється, до імовірності пошкодження пристрою в цілому протягом деякого проміжку часу t .

Другою важливою кількісною характеристикою є достовірність результатів технічного діагностування. Діагностування – це імовірність того, що дійсний технічний стан пристрою збігається з технічним станом, який визначений в результаті технічного діагностування. На практиці часто вимоги до достовірності результатів перевірки (контролю) справності задають вказівкою кратності несправностей, що підлягають виявленню в процесі перевірки пристрою.

Кратність несправності – це кількість елементів діагностуемого пристрою, які одночасно можуть бути несправними.

Сукупність засобів діагностування та методів його проведення, які встановлені відповідними нормативними технічними документами, утворюють систему технічного діагностування (СТД).

Вимоги, які пред'являються до системи діагностування, залежать від стадії їх використання (проектування, експлуатація, технічне обслуговування або ремонт).

На етапі проектування задачею діагностування об'єктів є визначення відповідності функціонування об'єкту, заданому технічним завданням (ТЗ). Особливістю рішення цієї задачі є те, що помилки, які допущені при проектуванні, неможливо передбачити, а вартість витрат на їх усунення при виробництві та експлуатації пристроїв може бути дуже великою.

На етапі проектування використовують математичні моделі майбутнього пристрою, за допомогою яких вирішують задачу визначення правильності функціонування пристрою, що створюється.

Для діагностування використовують ЕОМ, за допомогою яких прискорюють процес пошуку дефектів в майбутній конструкції пристрою.

На етапі виробництва діагностування є складовою частиною загального технологічного процесу виготовлення пристрою та його складових частин. На цьому етапі діагностування проводиться з метою виявлення всіх видів дефектів, які можуть бути у пристрої, в тому числі і конструктивні. Необхідна глибина пошуку дефекту в цьому випадку – до елемента пристрою.

На етапі експлуатації пристроїв задачею діагностування є перевірка його готовності до чергового сеансу роботи, виявлення дефектів, що викликають його несправність, а також прогнозування параметричних відмов пристрою при експлуатації.

Вимоги до достовірності результатів діагностування, тривалості та періодичності його в цей період можуть бути різними в залежності від призначення пристрою та умов його експлуатації.

Розглянемо вимоги, які пред'являються до СТД. При проектуванні СТД необхідно, щоб:

- 1) технічне діагностування забезпечувало потрібну достовірність результатів визначення технічного стану об'єкта контролю;
- 2) проектування СТД (автономних або вбудованих) здійснювалось одночасно з проектуванням об'єкта контролю;
- 3) при проектуванні об'єкта контролю забезпечувалось його максимальна діагностованість.

Математичні моделі об'єктів діагностики (контролю)

Розглянемо способи побудови математичних моделей об'єктів контролю та способи їх контролю. Як відомо, розробка методик контролю правильності функціонування технічних об'єктів, виявлення та пошук відмов є основною задачею технічної діагностики.

Розробка методів та технічних засобів діагностування залежить від алгоритмів функціонування технічних пристроїв (систем). Велика різноманітність принципів

функціонування технічних пристроїв зумовлює необхідність використання математичних методів та способів для практичної реалізації технічного діагностування.

Розв'язок задач технічного діагностування зводиться до пошуку методів оптимізації процесів виявлення та пошуку відмов (несправностей). Розв'язок подібних задач починається з побудови математичної моделі майбутнього об'єкта контролю. Таким чином, заміна реального технічного об'єкта його моделлю є необхідним етапом при розв'язку будь-якої практичної задачі технічної діагностики.

В якості моделі об'єкта контролю найчастіше використовують функціональні або функціонально-логічні моделі, які представляють собою деяку сукупність складових частин (блоків, елементів), і які з'єднані між собою функціональними зв'язками.

Функціональна модель об'єкта контролю відрізняється від звичайної структурної схеми вибором первинних функціональних елементів. Наприклад, при побудові структурної схеми пристрою виходять із алгоритму його роботи.

При побудові функціональної моделі, яка призначена для пошуку несправностей, первинні функціональні елементи визначаються згідно НТД на об'єкт.

Побудова функціональної моделі залежить від способу відновлення об'єкта контролю, його конструктивного виконання та економічної доцільності.

При побудові функціонально-логічної моделі об'єкта контролю виходять із наступних припущень:

1) кожен елемент (блок) моделі може знаходитись в одному із двох можливих етапів: працездатному або непрацездатному. При цьому в стані працездатності елемент відповідає відповідною реакцією на допустиму сукупність дій, в склад яких можуть входити і реакції інших елементів.

В стані непрацездатності реакція елемента виходить за межі допустимої;

2) відмови елементів є подіями незалежними.

Припускається, що функціональна модель має наступні властивості:

1) кожен елемент (блок) моделі може мати тільки один вихід, який може бути з'єднаний з будь-якою кількістю входів інших елементів. Кількість входів елементів необмежена.

Якщо є блоки, в яких більше одного виходу, то вони підлягають розбивці на декілька елементів по кількості виходів, що контролюються. При цьому в кожному з блоків (елементів) залишають тільки ті входи, які формують даний вихід;

2) для кожного функціонального елемента відомі допустимі значення вхідних та вихідних сигналів, їх функціональна залежність, а також способи їх контролю;

3) вихід за межі допустимих значень хоч одного з вхідних сигналів, призводить до відхилення значення вихідного сигналу за допустимі межі;

4) зовнішні вхідні сигнали завжди приймають тільки номінальні значення;

5) якщо вихідний сигнал i -го функціонального елемента є вхідним для j -го функціонального елемента, то номінальні значення цих сигналів збігаються;

6) лінії зв'язку між функціональними елементами моделі відповідають лініям зв'язку структурної або принципової електричної схеми об'єкту контролю;

7) лінії зв'язку між функціональними елементами моделі є абсолютно надійні.

Функціонально-логічна модель будується, як правило, безпосередньо по структурній або принциповій електричній схемі об'єкту з урахуванням вищенаведених умов.

Проста функціонально-логічна модель об'єкту контролю наведена на рис. 2. На схемі позначені: 1, 2, ..., 5 – функціональні елементи з відповідними зв'язками; x_1 і x_2 – зовнішні входи; z_1 , ..., z_4 – виходи функціональних елементів; z_5 – зовнішній вихід об'єкту діагностики.

Якщо сигнал з виходу функціонального елемента використовується як вхідний для іншого, то такий вихід називають зв'язаним або проміжним.

Функціонально-логічна модель є найбільш зручною формою представлення будь-якого технічного об'єкту, який відноситься до неперервних технічних пристроїв (радіотехнічні та електронні схеми), а також для ряду дискретних систем. Проте з її

допомогою не завжди вдається провести аналіз деяких дискретних та резервованих систем. Для таких систем використовуються так звані логічні моделі об'єктів контролю.

Логічна модель, як і функціональна, будується на основі структурної схеми об'єкта. У випадку нерезервованих систем логічна модель об'єкта контролю збігається з його функціональною моделлю.

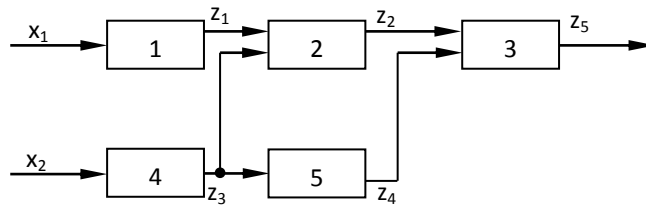


Рис.13.2. Функціонально-логічна модель

Різниця лише в тому, що тут вхідні та вихідні сигнали розглядаються як логічні сигнали, що можуть приймати два можливих значення: “1” – якщо значення контрольованого параметру елемента об'єкта контролю знаходиться в допуску і “0” – якщо не в допуску.

Розпізнавання станів об'єкту контролю визначається шляхом формального застосування алгебри логіки.

Розглянемо схему об'єкта діагностування, представлену на рис.13.2. Таблиця несправностей такої схеми може бути представлена у вигляді табл.13.1.

У таблиці 13.1 в першій графі позначені множина можливих перевірок елементів, а в решті граф – множина можливих станів елементів.

З таблиці 13.1 випливає, що шість можливих станів об'єкту діагностування, в залежності від можливого стану його елементів, можуть бути визначені за допомогою п'яти перевірок.

Несправні елементи в цьому випадку визначаються наступними кодовими комбінаціями: 00011, 10011, 11011, 10000 і 11010.

При збільшенні кількості елементів об'єкту збільшується кількість можливих його станів. Це ускладнює отримання оптимальної програми пошуку несправностей.

і

Таблиця 13.1

Вид перевірки і-го елемента	Стан об'єкту					
	11111	01111	10111	11011	11101	11110
1	1	0	1	1	1	1
2	1	0	0	1	0	1
3	1	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0	0

Розглянутий спосіб побудови та оптимізації програм пошуку несправностей особливо ефективний при діагностуванні об'єктів дискретних систем.

Основні схеми систем діагностування

Організацію систем діагностування, як правило, розглядають у двох аспектах: відносно сфери виробництва та сфери експлуатації. При цьому засоби діагностичного забезпечення необхідно розглядати спільно з засобами експлуатаційного забезпечення. Це дає змогу обґрунтувати технічні вимоги до самих засобів діагностування.

Існують наступні схеми організації систем діагностування : тестове та функціональне діагностування технічних об'єктів, які наведені на рис.13.3.

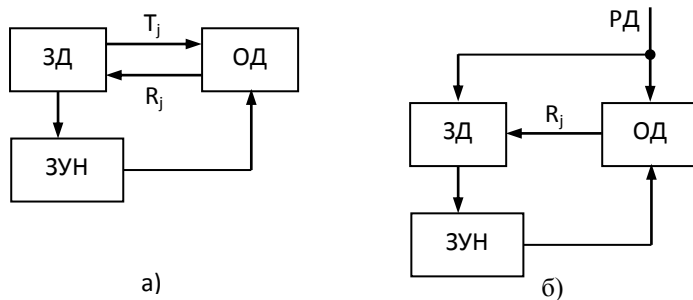


Рис.13.3

а) схема тестового діагностування;
б) схема функціонального діагностування.

Узагальнені схеми таких систем діагностування складаються з об'єкта діагностування (ОД), засобів діагностування (ЗД) та засобів усунення несправностей (ЗУН). Схема організації тестового діагностування (рис.13.3, а) відрізняється від схеми організації функціонального діагностування (рис.13.3, б) тим, що є можливість подавати на об'єкт діагностування спеціально організовані тестові дії, в той час, коли в процесі функціонального діагностування використовуються тільки робочі дії.

Процес діагностування представляє собою подачу на об'єкт діагностування послідовності вхідних перевірочних тестових сигналів та отримання відповідних вихідних сигналів (реакцій) з наступним аналізом вихідних сигналів (реакцій) на тестові сигнали.

Замість перевірочних тестів можуть бути використані робочі вхідні дії, або послідовність спеціально генерованих тестових дій. В першому випадку має місце функціональне, а в іншому – тестове діагностування.

Функціональна схема організації тестового діагностування наведена на рис.13.4. Схема складається з формувача тестових наборів та еталонних реакцій (ФТР), пристрою спряження (ПС), вимірювального пристрою (ВП), блоку прийняття рішення (БПР), пристрою управління (ПУ), об'єкта діагностування (ОД), дисплея (Д) та бібліотеки тестових програм (БТП).

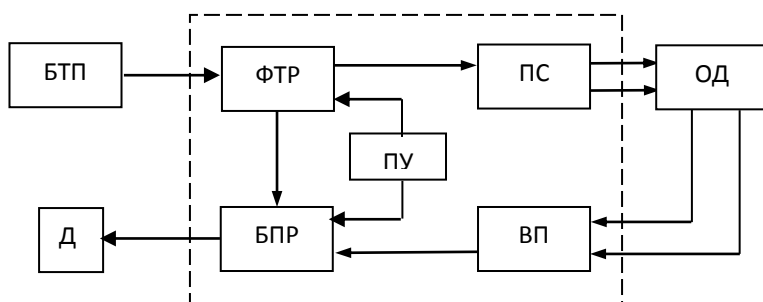


Рис.13.4. Функціональна схема організації тестового контролю

Схеми діагностування можуть бути як вбудовані, так і зовнішні(автономні).

Системи функціонального діагностування дозволяють контролювати об'єкти в процесі виконання ними робочих функцій і спостерігати за відмовою в момент її появи. При такій організації системи діагностування сукупність і послідовність вхідних дій задається робочим алгоритмом об'єкта діагностування і не може вибиратись самостійно.

Системи функціонального діагностування, як правило, застосовують в процесі виробництва та експлуатації об'єктів, що дозволяє приймати міри у випадку виявлення порушення працездатності виробу шляхом застосування резервних блоків замість несправних або перейти на інші режими роботи, для яких несправність, що виникла, не впливає на виконання задачі.

В якості недоліків таких систем діагностування виступає обмеженість набору робочий дій, що не завжди дозволяє оптимально розв'язувати задачі діагностування.

В системах тестового діагностування перевірна дія, яка подається на об'єкт діагностування, виробляється діагностуючим пристроєм. При тестовому діагностуванні склад та послідовність дій можна задавати, виходячи з умов ефективності організованого процесу діагностування.

Крім того, при тестовому діагностуванні для подавання перевірочних дій та отримання відповідних реакцій можна використовувати не тільки вхідні та вихідні сигнали (параметри) об'єкту, але й допоміжні контрольні точки, вибирати ту чи іншу дію в залежності від результатів попередніх перевірок.

На рис. 5 показана схема алгоритмів діагностування.

Всі алгоритми діагностування можна поділити на дві основні групи: контролюючі та діагностуючі, які відрізняються одна від другої глибиною пошуку несправності. В свою чергу контролюючі та діагностуючі алгоритми поділяються на функціональні та тестові.

Основне призначення функціонального діагностування – перевірка справності об'єкта контролю, коли необхідна мінімальна глибина пошуку несправності.

Основне призначення тестових алгоритмів – локалізація місця виникнення несправності, її вид та причина.

Тестові та функціональні алгоритми поділяються на дві групи: алгоритмічні та параметричні.

Алгоритмічні тести використовуються для перевірки правильності функціонування об'єкта. Застосовується цей вид перевірки у цифрових та аналогових пристроях. Перевірка правильності виконання такої програми може здійснюватись як в реальному, так і в перетворюваному масштабі часу.

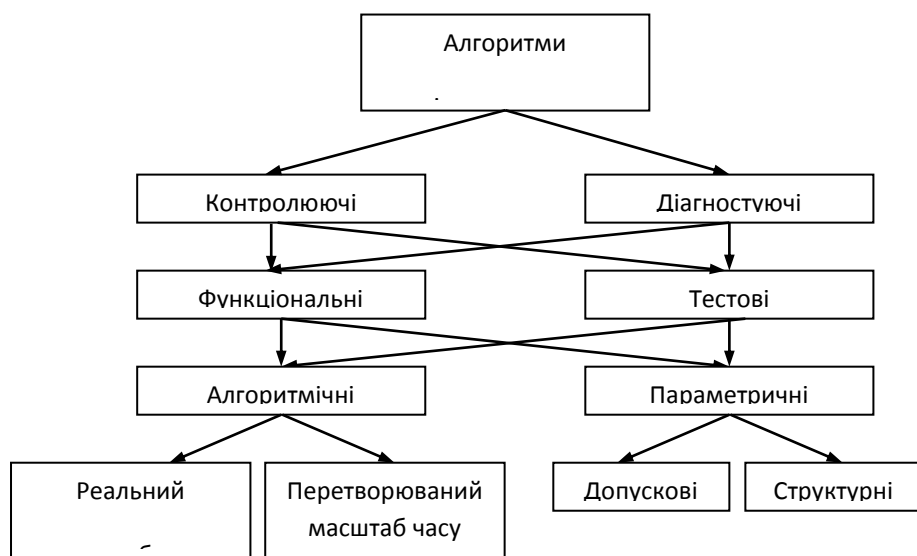


Рис.13.5. Класифікація алгоритмів діагностування.

Параметричне діагностування виконується для визначення відповідності вихідних електричних параметрів окремих ланцюгів розрахованим або заданим значенням, наприклад, перевірка амплітудних значень сигналів, коефіцієнтів передачі, різні часові відношення (затримки тощо);

Параметричне діагностування застосовується не тільки для аналогових технічних пристроїв та ланцюгів, але і для цифрових та логічних пристроїв, в яких контролюються електричні параметри логічних сигналів (рівні, тривалості фронтів та спадів тощо).

Застосування цього виду діагностики дозволяє виявити появу параметричних відмов (допускові перевірки), а також раптових відмов, які можуть відбуватися при експлуатації

пристроїв.

Таким чином, проведення технічного діагностування для визначення технічного стану може бути досягнуто різними способами.