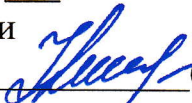



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕЩЕРЯКОВ В.І., ЛАШИНА К.В.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
з дисципліни  
«НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ»

для студентів 1 курсу денної форми навчання  
Рівень вищої освіти – «PHD»  
Спеціальність – 122 «Комп'ютерні науки»

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні групи забезпечення  
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»  
« 05 » \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 2022 року  
протокол № 7  
Голова групи \_\_\_\_\_  
 (Кузніченко С.Д.)

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри АСМНСІ  
« 2 » \_\_\_\_\_ травня \_\_\_\_\_ 2022 року  
протокол № 10  
ТВО завідувача кафедри АСМНСІ  
 Перелигін Б.В.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МЕЩЕРЯКОВ В.І., ЛАШИНА К.В.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ  
з дисципліни

**«НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ»**

для студентів 1 курсу денної форми навчання  
Рівень вищої освіти – «PHD»  
Спеціальність – «Комп'ютерні науки»

Одеса, 2022

Конспект лекцій з дисципліни «Надійність інформаційних систем» для студентів 1 курсу денної форми навчання, напряму підготовки – комп'ютерні науки.

Укладачі:

МЕЩЕРЯКОВ В.І. – професор кафедри автоматизації моніторингу навколишнього середовища та інформатики, професор

ЛАШИНА К.В. – асистент кафедри автоматизації моніторингу навколишнього середовища та інформатики

## ЗМІСТ

Передмова.....	4
Лекція 1 Основні поняття, визначення і критерії надійності.....	5
Лекція 2 Кількісні характеристики надійності.....	10
Лекція 3 Принципи опису надійності інформаційних систем.....	16
Лекція 4 Розрахунок надійності інформаційних систем .....	22
Лекція 5 Основні положення діагностики.....	30
Лекція 6 Характеристика методів діагностування.....	35
Лекція 7 Контроль працездатності інформаційних систем.....	40
Лекція 8 Пошук дефектів.....	45
Лекція 9 Прогнозування технічного стану інформаційного об'єкта .....	52
Лекція 10 Структура і показники систем діагностування.....	57
Лекція 11 Характеристика засобів діагностування.....	61
Лекція 12 Тестове діагностування вузлів, блоків і пристроїв ІС.....	65
Література .....	79

## ПЕРЕДМОВА

### Місце і значення навчальної дисципліни

Проблема надійності інформаційних систем (ІС) є комплексною, системотехнічною. Виробничий досвід і теоретичні дослідження свідчать про те, що неможливо досягти підвищення надійності окремими розрізненими діями. Сумісне проведення багатьох заходів об'єднаних в систему не тільки підвищує ефективність кожного з них, але і дає можливість одержати якісні нові результати.

Надійність ІС визначається надійністю її елементів і апаратури, надійністю програмного забезпечення, яке управляє виконанням обчислювального процесу, а також використанням засобів контролю і відновлення системи. Користувача обчислювальної техніки цікавить тільки одержання правильних результатів обчислень за заданий час. Для досягнення цієї мети необхідно, щоб усі названі складові мали необхідну надійність. Для розробки ефективної системи заходів по забезпеченню надійності ІС необхідно чітко розуміння ідей, що лежать в основі багатьох різних методів оцінки і підвищення надійності, які дозволяють користувачам грамотно оцінювати можливості і особливості застосування цих методів.

Для підготовки курсу використано низка новітніх наукових та навчально-методичних робіт, як зарубіжних так і вітчизняних фахівців у галузі інформаційних технологій, апаратних засобів, програмної розробки, мережевих структур.

Вивчення дисципліни базується на знаннях, отриманих в курсах системного аналізу, моделювання, проектування програмних засобів.

## Лекція 1 Основні поняття, визначення і критерії надійності

Під теорією надійності, контролю та діагностики розуміють наукову дисципліну, яка вивчає закономірності виникнення відмов і відновлення інформаційних систем (в подальшому ІС) і яка досліджує ефективність різноманітних заходів для підвищення надійності ІС.

Надійність є комплексною властивістю, яка включає в себе безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність і зберігаємість.

*Безвідмовність* – це властивість ІС зберігати працездатний стан протягом певного визначеного часу.

*Ремонтпридатність* – це властивість ІС, яка полягає в їх пристосованості до попередження, виявлення і усуненні причин виникнення відмов, а також підтримці і відновленні працездатного стану шляхом проведення ремонтів.

*Довговічність* – це властивість ІС зберігати працездатний стан, аж до настання граничного стану, при відповідному обслуговуванні і можливо при багаторазових ремонтах.

*Зберігаємість* – це властивість ІС зберігати працездатний стан при тривалому зберіганні та транспортуванні.

В основі теорії надійності лежить поняття відмови.

*Відмова* – це подія, яка полягає в порушенні працездатності. За характером виникнення відмови поділяються на раптові та поступові.

*Збій* – це подія, яка полягає в тому, що в результаті зміни параметрів системи під впливом зовнішніх або внутрішніх причин, система протягом певного часу перестає виконувати свої функції. Правильна робота системи відновлюється самостійно. Отже, збій – це самоусувна відмова.

*Надлишковість* – це додаткові засоби і можливості понад мінімально необхідні для виконання ІС заданих функцій.

*Навантажувальна надлишковість* – має місце у випадку, коли в ІС вводяться елементи з визначеним запасом, наприклад, потужності, робочої напруги, струму та ін. При цьому коефіцієнт навантаження елементів знижується, зменшуючи таким чином інтенсивність відмов елементів.

*Параметрична надлишковість* – забезпечує вибір початкових значень параметрів елементів таким чином, щоб час їх перебування в області допустимих значень виявився максимальним.

*Функціональна надлишковість* – може бути результатом використання неосновних (побічних) функцій ІС, які компенсують відмови, що виникли в ІС.

*Структурна надлишковість* – внесення додаткових постійно ввімкнутих елементів.

*Резервування* – це метод підвищення надійності ІС шляхом внесення надлишковості.

Складні ІС – це загальна назва систем, які складаються з великої кількості взаємозв'язаних елементів.

Поняття системи, під якою розуміють сукупність елементів, що взаємодіють між собою в процесі виконання заданих функцій, є основним поняттям теорії надійності.

Елементом системи називають складову частину системи, яка розглядається без подальшого розподілу, як єдине ціле; внутрішня структура елемента при такому розгляді не є предметом дослідження.

Необхідність у визначенні стану ІС може виникнути перед його використанням за призначенням або після. Визначення стану інформаційного об'єкта (ІО) перед використанням дозволяє приймати обґрунтовані рішення про можливість його використання за призначенням або доцільності режиму, в якому ІО передбачається використовувати.

Визначення стану ІО в процесі використання дозволяє своєчасно прийняти заходи, які забезпечують його довготривале безвідмовне функціонування.

Оцінка стану ІО після використання за призначенням дозволяє впевнитися в тому, що об'єкт правильно виконав свої функції.

Знання стану ІО має також і психологічне значення, так як підвищує впевненість людини у правильності прийнятих рішень по використанню і управлінню ІО.

Таким чином діагностика відповідає на запитання: що, як, коли і чим перевіряти, а також як проектувати об'єкти, щоб їх можна було перевірити.

Основним поняттям теорії ймовірності є дослід і подія, а також їх ймовірність.

Під *дослідом* в теорії ймовірності розуміють сукупність явищ, при яких може спостерігатися деякий кількісний або якісний результат, що називається наслідком.

*Подія* – очікуваний результат дослід, який спостерігається.

*Ймовірністю події* називається таке число, яке тим більше, чим більша ймовірність цієї події.

В теорії надійності як подія розглядається *відмова*, тобто подія, наслідком (результатом) якої є перехід ТО в непрацездатний стан.

*Непрацездатним* називається стан, при якому ТО не в змозі виконувати задані функції, а працездатним – стан, при якому він виконує свої функції.

Причинами відмови можуть бути *дефекти*, які мали місце при конструюванні, виробництві і ремонтах, порушеннях правил експлуатації, природні процеси зносу та старіння.

За характером виникнення відмови можна класифікувати наступним чином.

Таблиця 1.1 – Класифікація відмов

	Класифікаційна ознака	Вид відмови
1	Характер зміни параметру до моменту відмови	Раптовий Поступовий
2	Степінь втрати корисних властивостей	Повний Частковий Переміжний
3	Відновлюваність корисних властивостей	Незворотній Зворотній
4	Зв'язок з іншими відмовами	Залежний Незалежний
5	Наявність зовнішніх ознак	Явний (очевидний) Неявний (прихований)
6	Причина виникнення	Конструктивний Виробничий Експлуатаційний
7	Час появи	При роботі При зберіганні
8	Ціна відмови	Простій Невиконання завдання

*Поступові відмови* виникають в результаті протікання того чи іншого процесу старіння, який погіршує початкові параметри ІО або його елементів.

Основною ознакою поступової відмови є те, що ймовірність її виникнення на протязі заданого періоду часу залежить від тривалості попередньої експлуатації. Чим довше експлуатувався ІО, тим більша ймовірність виникнення відмови. До цього виду відмов відносяться більшість відмов ІО.

Вони пов'язані з процесами зносу, старіння, тощо.

*Раптові відмови* виникають в результаті поєднання несприятливих факторів і випадкових зовнішніх впливів, які перевищують можливість ІО до їх сприйняття. Основною ознакою раптової відмови є незалежність ймовірності її виникнення на протязі заданого періоду часу від тривалості



попередньої експлуатації ІО. Вихід з ладу при цьому проходить, як правило, раптово, без попередніх симптомів руйнування ІО чи його елементів.

### ***Інформаційне забезпечення надійності.***

Забезпечення надійності ІС в значній мірі пов'язане з використанням інформації про результати їх експлуатації. Інформація повинна поступати регулярно і об'єктивно відображати умови експлуатації обладнання.

Якою б не була високою надійність ІО, споживач зацікавлений в тому, щоб вони були *абсолютно надійними*, хоча це і неможливо. Виробники намагаються максимально підвищити надійність. Існують два шляхи підвищення надійності: на місцях експлуатації ІО шляхом доробок обладнання, яке серійно випускається; на підприємстві шляхом внесення змін в конструкцію при випуску наступних партій, які отримані на основі експлуатаційних даних першої партії. Але в обох випадках виробник повинен знати слабкі, тобто ненадійні, місця ІО, які можуть бути визначені в результаті аналізу причин відмов при роботі, проведеному на основі зібраних відомостей про відмови ІО.

Збір відомостей про відмови ІО може проводитися персоналом, який безпосередньо займається технічним обслуговуванням, або представниками служби надійності. В останньому випадку достовірність і повнота інформації підвищуються. В будь-якому випадку необхідні заходи по перевірці заповнення первинних документів і стимулюванню правильності записів в них.

Формуляри заводяться на кожний ТО і тому містять всю інформацію про об'єкт з початку його експлуатації (відомості про відмови, відновлення, профілактики, доробки).

Збір відомостей про відмови є досить відповідальним етапом дослідження надійності ТО і їх елементів.

Оцінка надійності за результатами експлуатації можлива при своєчасному надходженні достовірної інформації про відмови і її своєчасної обробки спеціальною службою надійності.

*Повнота інформації* залежить від точного опису відмов та їх причин, тобто якості підготовки персоналу та ясності інструкцій з експлуатації. Для вирішення тих чи інших задач за програмами підвищення надійності вимагається певний об'єм даних, в тому числі дані про час виявлення відмови; зовнішню поведінку відмови; час, який затрачається на виявлення і усунення причини відмови; про тип і номінал елемента, деталі, які відмовили; його розташування в схемі і час напрацювання елемента до відмови та інше.

Регулярність отримання первинної інформації службою надійності підприємства залежить від технічних можливостей її передачі і необхідності швидкого прийняття мір.

Систематизацію відмов ІО зручно представляти в табличній формі, яка включає в себе назву ТО, час роботи його до відмови з початку експлуатації, час усунення відмови. Таблиці систематизації відмов використовуються в подальшому для проведення статистичної обробки і отримання кількісних показників надійності ІО.

На основі аналізу надійності обладнання за даними експлуатації розробляється ряд заходів, необхідних для усунення виявлених відмов.

## Лекція 2 Кількісні характеристики надійності

За можливістю і способом усунення відмов ІС поділяють на відновлювані та невідновлювані.

*Невідновлювальними* називаються такі ІС, роботоздатний стан яких у випадку виникнення відмови не підлягає відновленню в процесі експлуатації.

*Відновлюваними* називаються такі ІС, роботоздатний стан яких у випадку відмови підлягає відновленню в процесі експлуатації.

Для інформаційних засобів вибір характеристик надійності повинен здійснюватися з врахуванням особливості функціонування систем на різних об'єктах. Існують наступні показники надійності.

*Ймовірність безвідмовної роботи* – ймовірність того, що в даному інтервалі часу  $t$  в ІС або в елементи не виникне відмова. Вона пов'язана з функцією розподілу часу безвідмовної роботи:

$$P(t) = 1 - Q(t). \quad (2.1)$$

Очевидно, що  $0 \leq P(t) \leq 1$ ;  $P(0) = 1$ ;  $P(\infty) = 0$ .

При статистичному визначенні:

$$P(t) = (N_0 - N(t)) / N_0, \quad (2.2)$$

де  $N_0$  – число ІС поставлених на випробування або на експлуатацію;  
 $N(t)$  – число ІС, що відмовили протягом часу  $t$ .

Аналогічно вводиться ймовірність беззбійної роботи.

*Частота відмов* – щільність розподілу часу безвідмовної роботи або похідна від ймовірності безвідмовної роботи

$$a(t) = Q'(t) = -P'(t). \quad (2.3)$$

Статистична оцінка:

$$a(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (2.4)$$

де  $n(\Delta t)$  – число ТО, які відмовили в інтервалі часу  $(t - \Delta t / 2; t + \Delta t / 2)$ .

$$Q(t) = \int_0^t a(x)dx; \quad P(t) = 1 - \int_0^t a(x)dx = \int_0^x a(x)dx. \quad (2.5)$$

*Інтенсивність відмов* – умовна щільність розподілу часу безвідмовної роботи для моменту часу  $t$ , при умові, що до моменту часу  $t$  відмови не було:

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}. \quad (2.6)$$

Оскільки  $P(t) \leq 1$ , то завжди  $a(t) \geq \lambda(t)$ .

Статистична оцінка:

$$\lambda(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{сер} \Delta t}, \quad (2.7)$$

де  $N_{сер} = (N_i + N_{i+1})/2$  – середнє число справно працюючих ІС в інтервалі часу  $\Delta t$ .

Слід відмітити різницю між  $a(t)$  і  $\lambda(t)$ . Ймовірність  $a(t)dt$  характеризує ймовірність відмови ІС за інтервал часу  $t, t + \Delta t$ , взятої довільним чином із групи таких же ІС, при чому невідомо в якому стані (працездатному або непрацездатному) знаходиться ІС. Ймовірність  $\lambda t dt$  характеризує ймовірність відмови ІС за інтервал часу  $(t, t + \lambda t)$ , взятого з групи ІС, які залишалися працездатними на момент часу  $t$ .

Інтегруючи вираз (2.6) отримаємо:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(x)dx\right). \quad (2.8)$$

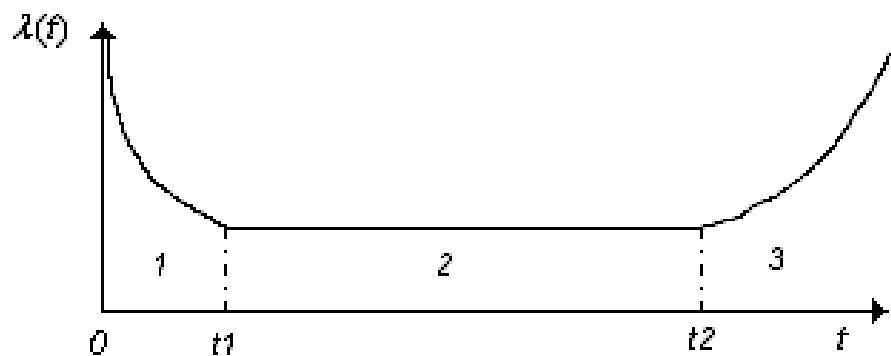


Рис.2.1 Типова крива інтенсивності відмов.

Типова залежність  $\lambda(t)$  в часі представлена на рис.2.1. Ділянка 1 відповідає періоду припрацювання, коли виявляються грубі дефекти виробництва. Ділянка 2 – період нормальної роботи, коли інтенсивність відмов має постійне значення. Ділянка 4 – обумовлена старінням та зносом елементів і характеризується значним ростом кількості відмов.

Під *середнім напрацюванням* на відмову розуміють математичне очікування напрацювання до першої відмови:

$$T = \int_0^{\infty} t a(t) dt = \int_0^t P(t) dt. \quad (2.9)$$

Статистична оцінка:

$$T = \frac{\sum t_i}{N_o}. \quad (2.10)$$

де  $t_i$  – час безвідмовної роботи  $i$ -тої ІС.

*Ймовірність відновлення* – ймовірність того, що ІС, яка відмовила, буде відновлена на протязі заданого часу  $t$ :

$$S(t) = Q_B(t), \quad (2.11)$$

де  $Q_B(t)$  – функція розподілу часу відновлення.

Статистична оцінка:

$$S(t) = \frac{N_B}{N_{OB}}, \quad (2.12)$$

де  $N_{OB}$  – число інформаційних об'єктів (ІО), поставлених на відновлення  $N_B$  – число ІО, час відновлення яких був менше заданого часу  $t$ .

*Частота відновлення, інтенсивність відновлення та середній час відновлення* визначаються аналогічно до показників, представлених вище.

*Параметр потоку відмов* – математичне очікування кількості відмов за одиницю часу, починаючи з моменту часу  $t$ .

Параметр потоку відмов визначається з інтегрального рівняння:

$$\omega(t) = a(t) + \int_0^t \omega(t) a(t - \tau) d\tau, \quad (2.13)$$

Або в операторній формі:

$$\omega(s) = \frac{a(s)}{1 - a(s)}, \quad (2.14)$$

$$\lim_{t \rightarrow x} \omega(t) = \frac{1}{T}. \quad (2.15)$$

Статистична оцінка:

$$\omega(t) = \frac{n_1(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (2.16)$$

де  $n_1(\Delta t)$  – кількість ІС, які відмовили в інтервал часу  $\Delta t$  при умові, що ІС яка відмовила, замінюється новою.

*Функція готовності*  $K_r(t)$  – ймовірність того, що в момент часу  $t$  ІС працездатна.

Статистична оцінка:

$$K_r(t) = N_t / N_0, \quad (2.17)$$

де  $N_t$  – кількість ІС, які знаходяться в справному стані в момент часу  $t$ .

При  $t \rightarrow \infty$  отримаємо *коефіцієнт готовності*.

Статистична оцінка:

$$k_r = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=2}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}}, \quad (2.18)$$

де  $t_{pi}$  –  $i$ -й інтервал справно роботи ІС;  $t_{bi}$  –  $i$ -й інтервал часу відновлення ІС;  $n$  – кількість відмов ІС.

*Коефіцієнт оперативної готовності* – ймовірність того, що ІС буде працездатною в довільний момент часу  $t$  і безвідмовно пропрацює заданий час  $\tau$ :

$$R(t, \tau) = K_r(t)P(\tau). \quad (2.19)$$

Статистична оцінка:

$$R(t, \tau) = N_t(\tau) / N_0, \quad (2.20)$$

де  $N_t(\tau)$  – кількість ІС, справних в момент часу  $t$ , що безвідмовно пропрацювали заданий час  $\tau$ .

*Коефіцієнт частоти використання – відносна доля часу в циклі, коли ІС виконує задані функції:*

$$k_B = \frac{t_p}{t_p + t_b + t_n + t_k}, \quad (2.21)$$

де  $t_p$  – час, що витрачається на виконання заданих функцій;  $t_b$  – час, що витрачається на відновлення після відмов;  $t_n$  – час виконання профілактичних заходів;  $t_k$  – час контролю.

*Ймовірність появи помилки* – ймовірність того, що в результаті збою чи відмови одного або декількох елементів, інформація в системі буде містити помилку.

### ***Основні закони розподілу напрацювання на відмову***

Напрацювання на відмову ІС – безперервна випадкова величина і може описуватися різними законами розподілу в залежності від властивості ІС та її елементів, умов роботи, характеру відмов.

Експоненційний розподіл застосовується для систем і елементів на ділянці нормальної експлуатації. Для опису напрацювання до відмови на ділянках припрацювання та інтенсивного старіння і зношування елементів ІС застосовується усічений нормальний розподіл. Для опису напрацювання до відмови деяких інформаційних засобів застосовується закон розподілу Вейбулла-Гнеденко.

Основні формули для показників надійності при різних законах розподілу:

– експоненційний закон розподілу:

$$a(t) = \lambda \exp(-\lambda t), \quad (2.22)$$

$$\lambda(t) = \lambda, \quad (2.23)$$

$$P(t) = \exp(-\lambda t), \quad (2.24)$$

$$T = 1/\lambda, \quad (2.25)$$

де  $\lambda$  – параметр розподілу;

– розподіл Вейбулла-Гнеденко:

$$a(t) = kat^{k-1} \exp(-at^k), \quad (2.26)$$

$$\lambda(t) = kat^k, \quad (2.27)$$

$$P(t) = \exp(at^k), \quad (2.28)$$

$$T = \Gamma\left(\frac{1}{k+1}\right)a^{\frac{1}{k}}, \quad (2.29)$$

де  $k$  і  $a$  – параметри розподілу,  $\Gamma$  – гамма-функція;  
– нормальний розподіл:

$$a(t) = \frac{c_0}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}\right]; \quad c_0 = \frac{1}{0.5 + \phi\left(\frac{T_0}{\sigma}\right)}, \quad (2.30)$$

$$\lambda(t) = \frac{a(t)}{P(t)}, \quad (2.31)$$

$$P(t) = c_0 \left(0.5 - \Phi\left(\frac{t-T_0}{\sigma}\right)\right). \quad (2.32)$$

$$T = T_0. \quad (2.33)$$

де  $T_0$  і  $\sigma$  – параметри розподілу;  $\Phi$  – нормована функція Лапласа.



### Лекція 3 Принципи опису надійності інформаційних систем

Інформаційну систему можна представити у вигляді сукупності наступних елементів: комплексу інформаційних засобів, інформаційного забезпечення та організаційного забезпечення.

Надійність комплексу інформаційних засобів (КІЗ) здійснює найбільший вплив на надійність ІС. Критерії відмов КІЗ встановлюються у відповідності з вимогами, вказаними в стандартах, інформаційних умовах або іншій технічній документації.

В табл.3.1 наведена класифікація відмов КІЗ.

Таблиця 3.1 Класифікація відмов КІЗ

	Ознаки класифікації	Види відмов
1	Характер зміни параметра до моменту відмови	Раптові Поступові
2	Ступінь втрати корисних властивостей	Повні Часткові
3	Відновлюваність корисних властивостей	Оборотні Необоротні
4	Зв'язок з іншими відмовами	Залежні Незалежні
5	Наявність зовнішніх ознак	Явні(очевидні) Неявні(скриті)
6	Причини виникнення	Конструктивні Виробничі Експлуатаційні
7	Час появи	При роботі При зберіганні
8	Вартість відмови	Простій Не виконання задачі

#### ***Надійність програмного забезпечення.***

При роботі ПЗ може виникнути ряд причин, що призводять до виникнення помилок: неправильне розуміння програмістом алгоритму; неправильне складання загальної структури ПЗ і взаємозв'язку програм; неправильний вибір методів захисту програм; помилки при перенесенні програм.

Помилки ПЗ відрізняються від відмов КТЗ. Так, після виправлення помилки в програмі, дана помилка в подальшому не може повторитися, тоді як відмови КТЗ по одній і тій же причині можуть повторюватися. Потік помилок ПЗ є нестационарним, так як по мірі виявлення помилок параметр їх потоку зменшується.

В якості показників надійності ПЗ з одного боку можуть застосовуватися звичайні показники надійності, такі як ймовірність відносної помилки  $P_{\Pi}(t)$ , середній час між помилками і т.п. З іншого боку, можна застосовувати спеціальні показники, які характерні тільки для ПЗ, такі як допустима кількість помилок в ПЗ, стійкість, виправлюваність і т.п.

### ***Надійність організаційного забезпечення.***

Організаційне забезпечення в складі ІС бере безпосередню участь в реалізації її функцій. Під надійністю людини-оператора розуміють сукупність її властивостей, які проявляються при участі її в функціонуванні ІС і впливають на надійність ІС.

Показниками надійності людини-оператора можуть бути ймовірність безпомилкового виконання процедури  $P_{\phi}(t)$  та ймовірність своєчасного виконання процедури  $P_C(t)$ .

### ***Надійність ІС, як сукупності функцій***

При заданні показників надійності ІС, як сукупності функцій, останні можна класифікувати:

- по складності на прості та складні;
- по часовому режиму використання на безперервні, дискретні та комбіновані.

*Відмовою функції* є подія, що полягає в порушенні хоча б однієї з основних встановлених вимог до якості її виконання і яка виникає при заданих умовах експлуатації ІС та технологічного об'єкта управління, який функціонує в заданих режимах.

Відмови функцій можна класифікувати за наступними ознаками:

- за впливом на роботу об'єкта управління (які викликають аварію або зупинку інформаційного процесу і т.д.);
- за ступенем порушення працездатності (повні і часткові);
- за наявністю зовнішніх проявів (явні і неявні);
- за видом порушення для дискретних функцій (неспрацювання, хибне спрацювання).

Показники надійності функцій ІС вибирають в відповідності з класифікацією функцій по часовому режиму використання з врахуванням класифікації та критеріїв відмов.

Показниками безвідмовності функцій ІС можуть бути:

– для безперервних функцій середнє напрацювання на відмову або параметр потоку відмов, якщо потік стаціонарний;

– для дискретних функцій по відмовах типу “неспрацювання” ймовірність успішного виконання заданої процедури при надходженні запиту; по відмовах типу “невірне спрацювання” середнє напрацювання на таку відмову;

– для деяких дискретних функцій можуть використовуватися окремі показники:

ймовірність безпомилкового виконання процедури  $P_6(t)$ ; ймовірність своєчасного виконання процедури  $P_C(t)$ ; ймовірність досягнення нормальної точності виконання процедури  $P_T(t)$ .

При незалежності вказаних ймовірностей:

$$P(t) = P_6 P_C P_T. \quad (3.1)$$

Для комбінованих функцій показники безвідмовності вибирають з числа вище вказаних.

Основним показником ремонтпридатності є середній час відновлення властивостей ІС до виконання функцій, інколи застосовують ймовірність відновлення  $P_6(t)$ .

### ***Надійність ІС з врахуванням взаємозв'язків.***

Під *зовнішнім середовищем* розуміють все те, що охоплює ІС і здійснює на неї вплив або саме зазнає впливу від ІС. ІС разом з інформаційними об'єктами утворюють інформаційний комплекс (ІК), зовнішнім середовищем для якого є органи управління вищого рівня ієрархії; навколишнє середовище, яке характеризує умови експлуатації; ремонтний персонал; запасні частини для ремонту.

Поведінка ІК при аналізі надійності описується випадковим процесом попадання ІК у визначені стани. За відмову ІК в цілому приймається порушення вимог до якості управління, які призводять до переходу ІК у відповідні стани.

Для складних систем, таких як ІК, крім працездатного та непрацездатного станів можуть мати місце і проміжні стани, які відрізняються показниками ефективності.

Сукупність функцій, виконуваних ІК, в цілому може розглядатися як одна складена функція.

В якості показників надійності ІК приймаються:

– середнє напрацювання на відмову, яке призводить до переходу ІК у визначений стан (або відповідний параметр потоку відмов, або ймовірність відсутності таких відмов за визначений проміжок часу);

– ймовірність невиконання ІС заданих дій при наявності запиту, що призводить до переходу ІС у визначені стани.

При вимозі підтримки значення показника ефективності в якості комплексного показника надійності може бути використаний коефіцієнт збереження ефективності:

$$K_0 = W_1 / W_2, \quad (3.2)$$

де  $W_1$  і  $W_2$  – показники ефективності ІС відповідно з врахуванням відмов та припущенні, що відмови в системі за цей час не виникають.

Надійність є лише однією з складових поняття якості системи. Якість можна визначити як сукупність властивостей системи, що обумовлюють її придатність задовольняти потреби споживача. Взаємозв'язок надійності з іншими складовими якості ІК показано на рис. 3.1.



Рис.3.1 Взаємозв'язок показників надійності та інших показників якості ІК.

### ***Взаємозв'язок надійності і інших властивостей системи.***

*Вплив надійності на точність управління.* На рис. 3.2 представлено вплив надійності на точність управління. На відрізку часу  $(0, t)$  виконується автоматична стабілізація керованого параметра  $y(t)$ . В момент  $t_1$  виникла відмова, що призводить до різкої зміни керованого параметра. Час  $t_2 - t_1$  витрачається на виявлення відмови. Інтервал  $(t_2, t_3)$  відповідає ручному управлінню в нестационарному режимі при ліквідації наслідків відмови;  $(t_3, t_4)$  – ручному управлінню в стаціонарному режимі. В момент  $t_4$  закінчилося

відновлення і продовжується режим автоматичного управління, аж до наступної відмови в момент  $t_5$  і т.д.

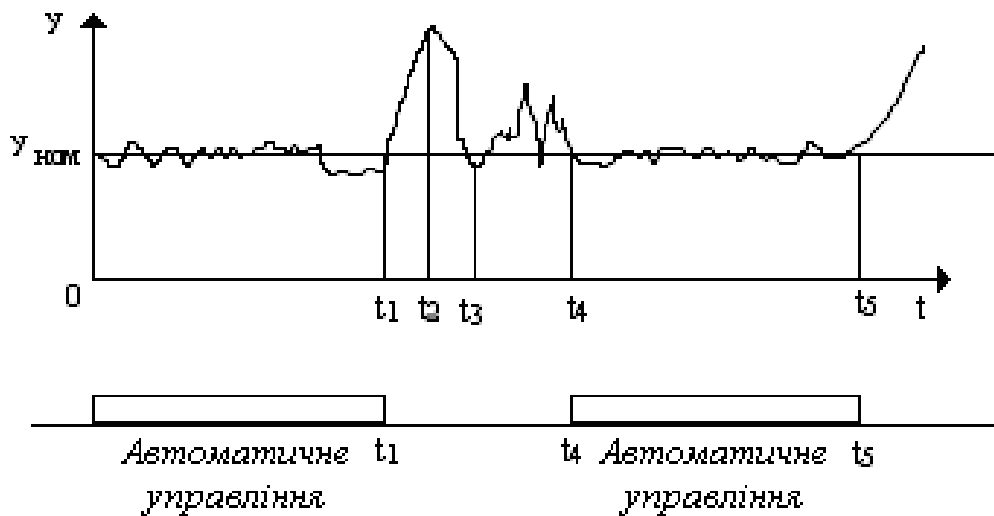


Рис.3.2 Поведінка керованого параметру після відмови ІС.

Відмова ІС може привести до різкої зміни регульованого параметра і його виходу за межі допуску. Такі відмови називають *явними*. Відмови, які не викликають збурюючих впливів і не виявляються засобами автоматичного контролю справності є *неявними* і можуть виявитися лише при появі зовнішніх впливів. При детермінованих зовнішніх впливах такі відмови можуть викликати збільшення статичної похибки, зниження ступеня затухання перехідного процесу. При випадкових зовнішніх впливах неявні відмови можуть викликати збільшення середньоквадратичного відхилення і математичного очікування похибки регулюючого параметра.

**Вплив надійності на метрологічні показники.** Явні відмови вимірювальних систем призводять до втрати інформації про зміну вимірювальних технологічних параметрів. Неявні відмови призводять до погіршення якості управління технологічним об'єктом.

**Вплив надійності на показники ефективності.** Властивість систем, що проявляється при функціонуванні сумісно з об'єктом управління і яка виражається в покращенні корисних результатів його функціонування, називають *ефективністю ІС*. З одного боку підвищення надійності систем пов'язане з зростанням витрат. Але, з іншого боку, відмови ІС призводять до зниження ефективності функціонування об'єкта.

**Вплив надійності на показники безпеки.** Властивість систем не допускати ситуацій, небезпечних для людей та навколишнього середовища,

називають *безпекою*. Відмови ІС небезпечних об'єктів, наприклад, атомних станцій, хімічних виробництв, можуть призвести до пониження безпеки.

***Вплив надійності на показники живучості.*** Властивість систем виконувати деякі задані функції з управління об'єктом з допустимими експлуатаційними показниками при впливі особливо суттєвих зовнішніх факторів, не передбачених умовами нормальної експлуатації, називають *живучістю ІС*. В визначенні живучості на відміну від визначення надійності від ІС вимагається виконання не всіх, а лише деяких функцій. Показником живучості при деякому значенні впливу  $x$  може бути ймовірність  $P(x)$  виконання заданих функцій ІС.

## Лекція 4 Розрахунок надійності інформаційних систем

Задачею розрахунку надійності ІС є визначення показників, які характеризують їх безвідмовність та ремонтпридатність. Розрахунок складається з наступних етапів:

- визначення критеріїв і видів відмов системи і складу показників надійності, які підлягають розрахунку;
- складання структурної (логічної) схеми, яка базується на аналізі функціонування системи, врахуванні резервування, відновлення, контролю справності елементів та інше;
- вибір методу розрахунку надійності з врахуванням прийнятих моделей опис процесів функціонування та відновлення;
- отримання у загальному вигляді математичної моделі, яка пов'язує показники надійності з характеристиками елементів;
- підбір даних по показниках надійності елементів;
- виконання розрахунку і аналіз отриманих результатів.

*Структурною схемою* для розрахунку надійності називається графічне відображення елементів системи, яке дозволяє однозначно визначити стан системи (працездатний, непрацездатний) по стану (працездатний, непрацездатний) її елементів. При складанні структурної схеми елементи можуть з'єднуватися послідовно або паралельно в залежності від їх впливу на працездатний стан системи.

Якщо відмова елемента викликає відмову системи, то такі елементи з'єднуються *послідовно*; якщо відмова системи виникає тільки при відмові всіх однотипних елементів, то такі елементи з'єднуються *паралельно*.

Методи розрахунку надійності можна розбити на три групи, які відносяться до систем:

- з простою структурою, яка зводиться до послідовно-паралельного з'єднання елементів без врахування їх відновлення (оцінка показників безвідмовності);
- з відновлюваними елементами, як при нульовому, так і при кінцевому часі заміни (відновлення) елемента, що відмовив, справним (оцінка показників безвідмовності, ремонтпридатності та комплексних показників);
- з складною структурою, яка не зводиться до послідовно-паралельного з'єднання елементів, без врахування відновлення (оцінка показників безвідмовності).

### ***Розрахунок надійності систем регулювання (СР).***

Системи регулювання призначені для підтримки певних параметрів в заданих межах.

Показником їх надійності, з врахуванням відновлення, є середнє напрацювання на відмову, а без врахування відновлення – ймовірність безвідмовної роботи за визначений час або середнє напрацювання до відмови.

Стосовно СР відмови прийнято поділяти на раптові та параметричні.

*Раптові відмови СР* викликані відмовами її елементів, складаються з відмов типу “хибне спрацювання”, “неспрацювання”, “зберігання включеного стану при знятті командного сигналу”.

*Параметричні відмови СР* пов’язані з погіршенням якості функціонування системи.

Для розрахунку надійності СР по раптових відмовах необхідно підрахувати ймовірність відмов по кожному виду відмов  $Q_1(t)$ ,  $Q_2(t)$ ,  $Q_3(t)$ . Тоді ймовірність безвідмовної роботи СР визначається як:

$$P(t) = 1 - Q_1(t) - Q_2(t) - Q_3(t) + Q_1(t)Q_2(t) + Q_1(t)Q_3(t) + Q_2(t)Q_3(t) - Q_1(t)Q_2(t)Q_3(t) \quad (4.1)$$

#### ***Розрахунок надійності систем без врахування відновлення.***

Показниками надійності в даному випадку є ймовірність безвідмовної роботи та середнє напрацювання до відмови.

При послідовному з’єднанні  $n$  елементів ймовірність безвідмовної роботи системи:

$$P_j(t) = \prod_{j=1}^n P_j(t). \quad (4.2)$$

де  $P_j(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $j$ -го елемента.

При паралельному з’єднанні  $n$  елементів:

$$P_{нар}(t) = 1 - \left[ \prod_{j=1}^n (1 - P_j(t)) \right]. \quad (4.3)$$

Для експоненційного закону розподілу та рівнонадійних елементів:

$$P_{noc}(t) = \exp(-n\lambda t), \quad (4.4)$$

$$P_{нар}(t) = 1 - (1 - \exp(-\lambda t))^n. \quad (4.5)$$



### Розрахунок надійності резервованих систем.

Способи резервування представлено на рис. 4.1, а логічні схеми резервованих систем – на рис.4.2.

Для пасивного резервування з незмінним навантаженням та активного резервування з абсолютно надійними перемикачами ймовірність безвідмовної роботи у випадку загального резервування:

$$P_{заг}(t) = 1 - \left[ \prod_1^{k+1} \left( 1 - \prod_{j=1}^m P_{ij} \right) \right]. \quad (4.6)$$

де  $m$  – кількість послідовно з'єднаних елементів;  $k$  – кількість резервних груп елементів.

У випадку роздільного резервування:

$$P_{заг}(t) = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \prod_{j=1}^{k+1} (1 - P_{ij}(t)) \right], \quad (4.7)$$

де  $n$  – кількість ділянок резервування;  $k$  – кількість резервних елементів на одній ділянці резервування.



Рис.4.1 Способи резервування.

При загальному резервуванні з *полегшеним резервом* для системи, яка складається з одного основного та  $k$  резервних елементів, ймовірність безвідмовної роботи

$$P_{k+1}^{\Pi}(t) = P_k(t) + \int_0^t P_{k+1}(\tau) P_{k+1}(t-\tau) a_k(\tau) d\tau, \quad (4.8)$$

де  $P_k(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи системи, що складається з основного та  $(k-1)$  резервних елементів;  $P_{k+1}(\tau)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $(k+1)$ -го резервного елемента до моменту  $t$  включення його в роботу;  $P_{k+1}(t-\tau)$  – ймовірність безвідмовної роботи  $(k+1)$ -го резервного елемента протягом напрацювання  $(t-\tau)$  з моменту  $\tau$  включення його в роботу;  $a_k(\tau)$  – частота відмов системи, що складається з основного та  $k$  резервних елементів.

Аналогічно для випадку ненавантаженого резерву:

$$P_{k+1}(t) = P_k(t) + \int_0^t P_{k+1}(t-\tau) a_k(\tau) d\tau. \quad (4.9)$$

Для *активного резервування з врахуванням надійності перемикачів* у випадку загального резервування:

$$P_{заг}(t) = 1 - [1 - P_{\Pi}(t) P_{oc}(t)]^{k+1}, \quad (4.10)$$

у випадку роздільного резервування:

$$P_{роз}(t) = (1 - [1 - P_{\Pi}(t) P_{oc}(t)]^{k+1}), \quad (4.11)$$

де  $P_{oc}(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи основної або резервних груп елементів;  $P_{\Pi}(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи перемикача.

При *ковзаючому резервуванні* для системи, що складається з  $m$  основних та  $k$  резервних елементів у випадку навантаженого резерву:

$$P_{КОВ}(t) = 1 - \sum_{z=m}^{k+m} C_{k+m}^z (1 - P(t))^z P^{k+m-z}(t). \quad (4.12)$$

$$\text{де } C_{k+m}^z = \frac{(k+m)!}{z!(k+m-z)!};$$

$P(t)$  – ймовірність безвідмовної роботи одного елемента системи.

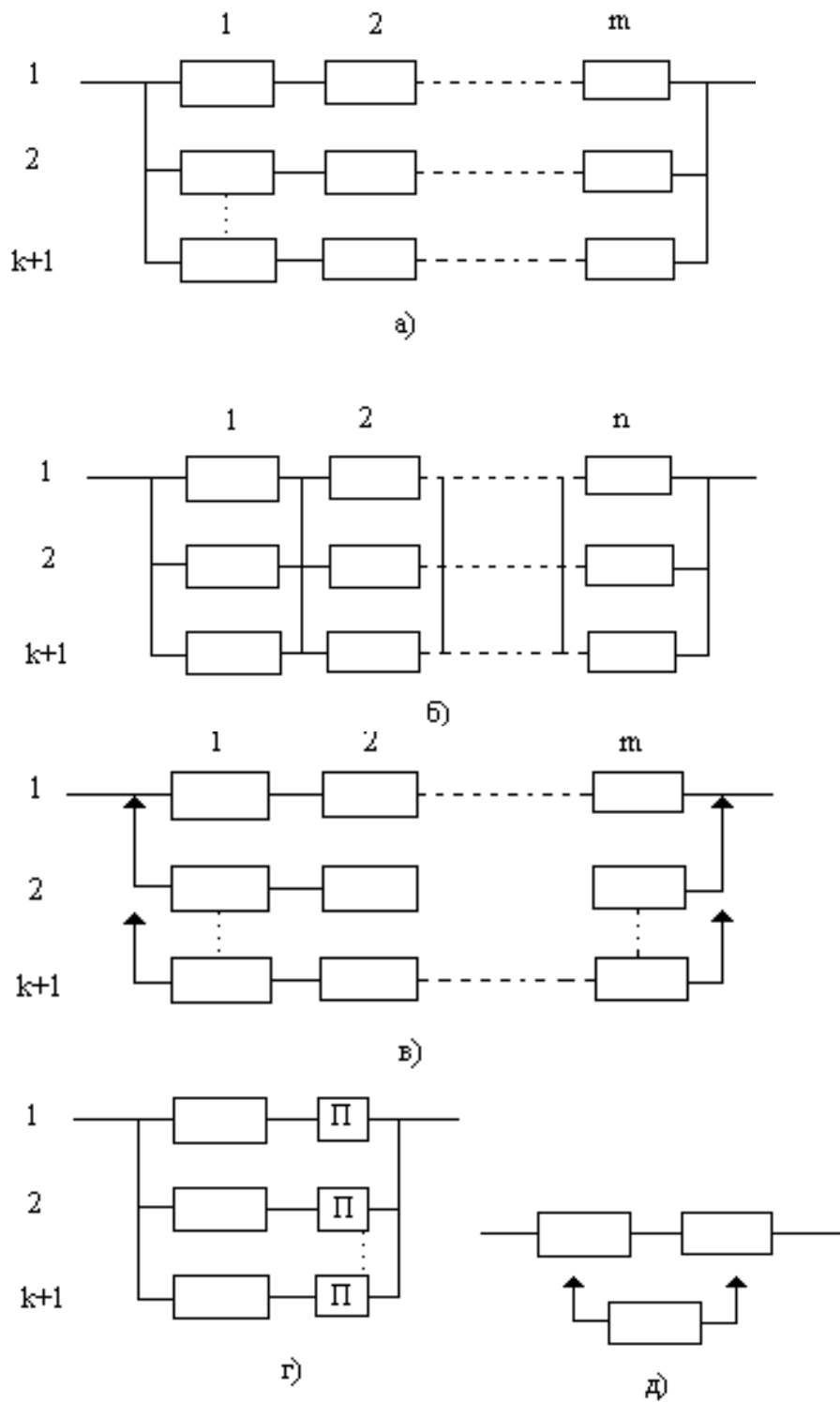


Рис.4.2 Логічні схеми резервованих систем.

де а) – пасивне загальне резервування; б) – пасивне роздільне резервування з незмінним навантаженням; в) – активне загальне резервування з абсолютно надійними перемикачами; г) – активне загальне резервування з врахуванням надійності перемикача; д) – ковзаюче резервування.

Для експоненційного закону розподілу та рівнонадійних елементів:

$$P_{заг}(t) = 1 = (1 - \exp(-\lambda t))^{k+1} \quad (4.13)$$

$$P_{роз}(e) = 1 - (1 - \exp(-\lambda t))^{k+1})^n, \quad (4.14)$$

$$P_{k+1}^{\Pi}(t) = P_k(t) + \frac{C_k}{k!} \exp(-\lambda t) [1 - \exp(-\lambda t)]^k, \quad (4.15)$$

$$P_{k+1}^H(t) = \exp(-\lambda t) \sum_0^k \frac{(\lambda t)^i}{i!}, \quad (4.16)$$

$$P_{ков}(t) = 1 - \sum_{z=m}^{k+m} C_{k+m}^z (1 - \exp(-\lambda t))^z \exp(-(k+m-z)\lambda t), \quad (4.17)$$

де  $C_k = \sum_{j=0}^{k-1} \binom{k-1}{j} \left( j + \frac{\lambda}{\lambda_1} \right)$ ;  $\lambda$  – інтенсивність відмов елемента під навантаженням;

$\lambda_1$  – інтенсивність відмов елемента, що перебуває в полегшеному резерві.

#### **Розрахунок надійності систем з врахуванням відновлення.**

В цьому випадку в якості показників надійності приймаються функції готовності або відповідні коефіцієнти. Основними методами розрахунку надійності є *метод інтегрально-диференціальних рівнянь* та *метод диференціальних рівнянь*. Перший метод можна застосовувати для будь-яких законів розподілу напрацювання на відмову, але розв'язок отриманих рівнянь досить часто передбачає значні труднощі. Другий метод можна застосовувати лише для експоненційного закону розподілу напрацювання до відмови та часу відновлення, що в більшості випадків характерно для періоду нормальної експлуатації.

Для того, щоб скласти систему диференціальних рівнянь, необхідно перерахувати всі стани системи, скласти її логічну модель у вигляді *схеми станів*, що представляє собою орієнтований граф, кожна вершина якого відповідає певному стану системи, а ребра – можливі напрями переходів із стану в стан (рис.4.3).

Диференціальні рівняння складаються на основі наступних правил:

– в лівій частині кожного рівняння стоїть похідна по часу від ймовірності знаходження системи в  $j$ -му стані в момент часу  $t$ ;

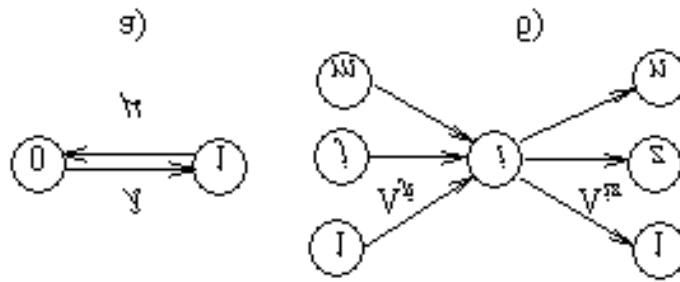


Рис.4.3 Граф станів відновлюваної системи (а) та довільний вузол графа (б).

- кількість членів в правій частині дорівнює кількості стрілок, які з'єднують даний стан з іншими;
- кожний такий член рівний добутку інтенсивності переходу на ймовірність того стану, з якого виходить стрілка;
- знак добутку додатній, якщо стрілка входить в стан, що розглядається, і від'ємний, якщо виходить з нього;
- кількість рівнянь дорівнює кількості станів системи.

Загальний принцип запис диференційного рівняння для довільної вершини  $i$ , в яку система може прийти із  $m$  вершин і із якої переходить в одну із  $n$  вершин (рис.4.3,б):

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^m \Lambda_{ji} P_j(t) - P_i(t) \sum_{z=1}^n \Lambda_{iz}, \quad (4.18)$$

Отримана система рівнянь доповнюється рівнянням:

$$\sum_{j=0}^m P_j(t) = 1, \quad (4.19)$$

де  $P_j(t)$  – ймовірність знаходження системи в  $j$ -му стані;  
 $(m+1)$  – кількість можливих станів системи.

В результаті розв'язку системи диференціальних рівнянь (за допомогою перетворення Лапласа) отримуються ймовірності знаходження системи в кожному стані.

Для того, що знайти *функцію готовності*, необхідно просумувати ймовірності знаходження системи в усіх працездатних станах:

$$K_{\Gamma}(t) = \sum_{j=1}^n P_j(t), \quad (4.20)$$

де  $n$  – кількість працездатних станів.

Функція простою визначається, як:

$$K_{\Pi}(t) = 1 - K_{\Gamma}(t) \quad (4.21)$$

Для визначення коефіцієнта готовності або простою необхідно розглянути встановлений режим експлуатації при  $t \rightarrow \infty$ , в цьому випадку всі похідні будуть рівні нулю і система диференціальних рівнянь перетвориться в систему алгебраїчних рівнянь.

При розрахунку надійності резервованих систем з врахуванням відновлення може виникнути декілька варіантів в залежності від обмеження на відновлення. Відновлення називається необмеженим, якщо елемент, що відмовив починає відновлюватися відразу після відмови. Відновлення називається повністю обмеженим, якщо незалежно від кількості елементів, що відмовили, відновлюватися може лише один. При частково обмеженому відновленні кількість ремонтних місць обмежена числом  $m < k$  ( $k$  – кількість резервних елементів).

## Лекція 5 Основні положення діагностики

*Технічна діагностика* (ТД) – область знань, яка охоплює теорію, методи і засоби визначення стану об'єкта (розглядаються в основному працездатні і непрацездатні стани).

Передбачає вивчення і встановлення ознак, які характеризують наявність дефектів для передбачення можливих відмов, а також розробку методів і засобів виявлення дефектів в інформаційних системах. Необхідність визначення стану ІС може виникнути перед їх використанням, в процесі їх використання або після застосування за призначенням.

Визначення стану ІС перед використанням дає змогу прийняти обґрунтоване рішення про можливість його застосування за призначенням або доречності режиму, в якому ІС передбачають використовувати.

Визначення стану системи управління під час використання дозволяє своєчасно прийняти заходи, що забезпечують її тривале безвідмовне функціонування. Оцінка стану ІС після використання за призначенням дозволяє переконатися в тому, що вона правильно виконувала, свої функції. Крім того, можливість точного визначення стану ІС має психологічне значення оскільки підвищує впевненість обслуговуючого персоналу у вірності прийнятих рішень щодо управління ІС.

Технічна діагностика – один з важливих засобів забезпечення та підтримання надійності інформаційних об'єктів і систем, засіб переходу до обслуговування за станом замість календарного і часового принципів, що підвищує ефективність експлуатації систем управління.

ТД базується на наступних основних положеннях:

1. Об'єкт може знаходитись в скінченній множині станів  $S$  (рис. 2.9), що складається з підмножини працездатних станів  $S_p = \{S_i\}$ ,  $i=1, n$ , що охоплює всі стани, які дозволяють об'єкту виконати покладені на нього функції, і підмножини непрацездатних станів  $S_n = \{S_j\}$ ,  $j = 1, m$ , що охоплює всі стани, які відповідають виникненню в об'єкті дефектів, що призводять до втрати його працездатності;

2. Рішення задач по визначенню стану об'єкта зводиться до аналізу множини  $S$ , коли стан об'єкта невідомий, або підмножин  $S_p$  або  $S_n$ , якщо відомо, працездатний об'єкт чи непрацездатний;

3. Виникнення в об'єкті дефекту не означає, що він непрацездатний. В непрацездатному об'єкті обов'язково є дефект;

4. В процесі діагностування приймають, як правило, участь об'єкт діагностування (ОД); засіб технічного діагностування (ЗТД) і людина-оператор (О), які утворюють систему діагностування.

В ТД можна виділити наступні напрямки, в яких проводяться дослідження: розробка систем діагностування, методів, алгоритмів і засобів діагностування, діагностичних моделей і методів їх аналізу, методів оцінки ефективності діагностування.

*Дефект* – причина втрати працездатності або різкого її зниження. В ІС, які складаються з декількох елементів, дефектом є елемент, що відмовив, порушення зв'язку або поява зайвого зв'язку між елементами. Виникнення дефекту в ІС, яка складається з декількох елементів, не обов'язково призводить до втрати її працездатності. При цьому ІС зберігає працездатність при наявності у ній дефекту за рахунок надлишковості (структурної, часової, інформаційної). Якщо ІС резервовано, то відмова одного елемента не викликає втрати працездатності ІС, при цьому збільшується ймовірність її відмови в майбутньому при вичерпанні резерву. Виникнення дефекту в ІС з одного елемента завжди призводить до втрати нею працездатності. Дефекти поділяють на одиничні і кратні (декілька), логічні (порушення функцій) і фізичні (елементи, зв'язки).

*Діагноз* – заключення про стан ІС чи ІО. При рішенні основних задач діагностування можливі різноманітні дії по формуванню діагнозу (рис.5.1), при позитивному результаті контролю працездатності (КР): видача заключення про працездатність ІС, визначення ступеня працездатності (ВСР) з видачою заключення про його стан і прогнозування технічного стану (ПТС) з видачою заключення про його стан; при негативному результаті контролю працездатності: видача заключення про непрацездатність ІС, пошук дефекту, який виник (ПД) і видача заключення про стан ІС.

При цьому можливі наступні види діагнозу:

- “Працездатний”, “Придатний”, “Так”;
- Ступінь працездатності 10,...59,...99%;
- Інформаційний засіб пропрацює  $t$  год.;
- “Непрацездатний”, “Непридатний”, “Ні”;
- “Відмовив ІО”, “Потребує заміни ІО”.

*Діагностування* – процес визначення технічного стану технічного об'єкта. Цей процес включає операції збору, обробки, представлення інформації про стан системи управління.

При діагностуванні можуть вирішуватись задачі: контролю технічного стану (працездатності), пошуку місця і визначення причини відмови (дефекту), прогнозування технічного стану. Сукупність вирішуваних задач визначається метою діагностування. Метою діагностування є підтримка встановленого рівня безпеки і ефективності використання ІС.



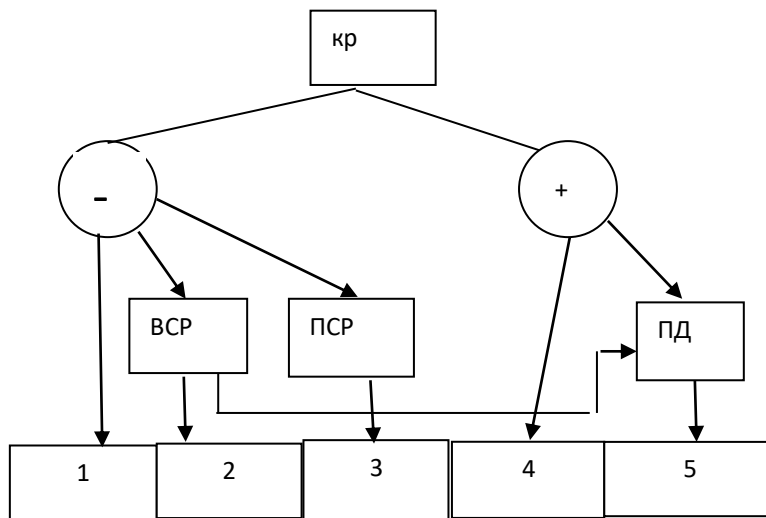


Рис.5.1 Схема формування діагнозу.

Визначити стан ІС можна, спостерігаючи за виконанням покладених на неї функцій при подачі робочих впливів – робоче діагностування, або подаючи на неї спеціальні тестові дії і спостерігаючи за її реакцією – тестове діагностування.

В загальному випадку операційна структура діагностування має вигляд, представлений на рис.5.2. Оператор збору  $Q_{зб}$  передбачає отримання інформації у вигляді ознак з контрольних точок або спеціальних висновків, комутацію діагностичних ознак, перетворення (нормування, лінеаризація, аналогово-цифрове перетворення) і вимірювання.

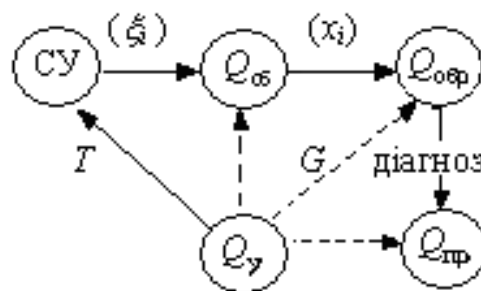


Рис.5.2 Операційна процедура діагностування.

Оператор обробки  $Q_{обр}$  включає в загальному вигляді операції контролю, обчислювальні і логічні, які виконуються з метою поставити діагноз. Оператор представлення  $Q_{пр}$  охоплює операції індикації і реєстрації діагнозу в зручному для людини-оператора вигляді. Оператор управління  $Q_{у}$  охоплює крім операцій формування команд управління  $G$ , необхідних для функціонування системи діагностування, операції формування набору тестів  $T$ , які викликають реакцію об'єкта з метою визначення його стану. Тестові впливи формуються спеціальними генераторами тестів. Діагностування пов'язане з усіма стадіями життєвого циклу ІС. З позиції технічної

діагностики при проектуванні інформаційна система створюється пристосованою до діагностування, при виготовленні – випускається роботоздатною, та при експлуатації підтримується працездатний стан системи управління.

*Діагностична ознака* – параметр або характеристика, яка використовується при діагностуванні. Параметр – фізична величина (струм, напруга, потужність, діаметр та інш.).

Характеристика – залежність однієї фізичної величини від іншої. Статична характеристика, якщо величина не залежить від часу, частоти, наприклад, зовнішня характеристика  $U=f(I)$  генератора постійного струму (рис. 5.3, (а)) при змішаному 1, незалежному 2, паралельному 3 збудженні відповідно. Динамічна характеристика, якщо така залежність існує, наприклад, амплітудно-частотна  $A=f(\omega)$  (рис.5.3, (б)), перехідна (часова)  $h(t)$  (рис.5.3, (в)).

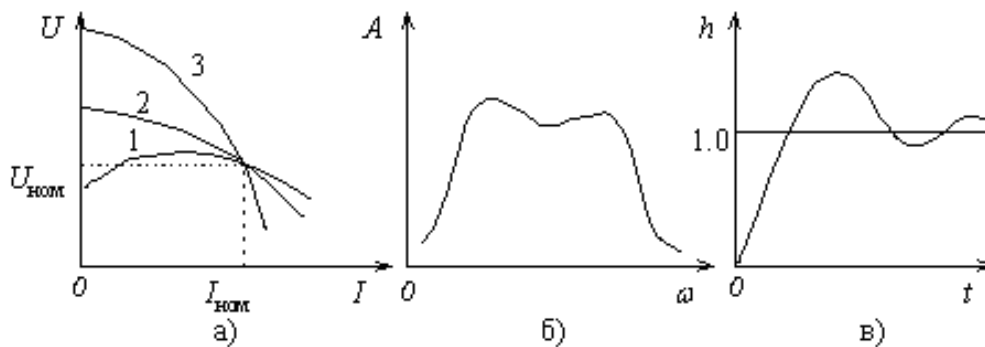


Рис.5.3 Види характеристик ІС.

Кожному стану відповідає певне значення діагностичної ознаки. Для кожного обладнання інформаційної системи (ОІС) можна вказати множину параметрів, які характеризують її технічний стан. Варто розрізняти прямі і непрямі (побічні) діагностичні параметри. Прямий структурний параметр (наприклад, напруга, частота та інш.) характеризує стан ОІС або безпосередньо присутній в діагностичній моделі (наприклад, коефіцієнти алгебраїчних та диференціальних рівнянь). Непрямий параметр побічно характеризує технічний стан.

*Непрацездатний стан* – стан ІС  $S_j \in S_n$ , при якому значення хоча б однієї діагностичної ознаки, яка характеризує виконання заданої функції, не відповідає заданим вимогам. Перехід ІС з працездатних станів  $S_p$  в непрацездатні стани  $S_n$  називається відмовою. При цьому можлива повна відмова, що призводить до втрати працездатності (заклинювання органів управління) і часткова відмова, що призводить до втрати працездатності та позаштатної роботи (похибка розузгодження системи стабілізації напруги

живлення генератора на 5% перевищує допустиму), тобто система функціонує із погіршеними показниками. Ступінь погіршення функціонування може бути від майже штатної роботи (поблизу області працездатності) до майже повної відмови. На практиці часто зустрічається так звана рухома відмова, яка поперемінно зникає, а потім знову з'являється. Це ускладнює визначення місця розташування елемента, що відмовив, вузла, так як при перевірці працездатності він може виявитися працездатним, а через деякий час непрацездатним. Причиною виникнення непрацездатності є дефект.

*Працездатний стан* – стан, при якому значення всіх діагностичних ознак, які характеризують здатність ІС виконувати задані функції, відповідають вимогам. В цьому випадку можна сказати, що ІС працює штатно.

*Об'єкт діагностування (ОД)* – система управління, обладнання, агрегат, вузол, система, прилад, які підлягають діагностуванню. Обладнання ІС з позиції використовуюваного математичного апарату для опису поточних процесів у ТД розподіляють на безперервне, що описується диференційними або алгебраїчними рівняннями, графами. Частина ІС, яку при діагностуванні не можна розділити на більш малі, називають елементом (структурною одиницею СО). Будь-яка ІС складається з елементів (в межах одного елемента).

*Особливості діагностування.*

При розгляді питання діагностування необхідно враховувати наступні особливості:

- велика різновидність обладнання інформаційних систем, що ускладнює отримання універсальних рішень і потребує застосування різних методів та засобів діагностування;
- велика кількість конструктивних рішень обладнання впливає на пристосованість їх до діагностування;
- наявність в ІС дискретних, аналогових елементів об'єктів і механічного обладнання потребує використання різного підходу до діагностування і ускладнює утворення єдиної системи діагностування;
- наявність різних структур: одноканальні та багатоканальні; в останньому випадку виникнення дефектів призводить тільки до зниження запасу працездатності;
- різний рівень надійності обладнання однієї ІС затруднює організацію діагностування.

## Лекція 6 Характеристика методів діагностування

Метод діагностування – сукупність прийомів і способів, які дозволяють дати об'єктивний висновок про стан обладнання. При цьому задачі діагностування можуть бути вирішені різними методами. Прийоми і способи діагностування в загальному випадку визначаються видом обладнання та його діагностичними ознаками.

Методи робочого діагностування можна охарактеризувати таким чином. Можна оцінювати стан ОІС на його виході чи на виходах елементів, оцінюючи одномірні (параметри) та багатомірні (характеристики) діагностичні ознаки. Можна здійснювати діагностування за алгоритмом функціонування, оцінюючи послідовність виконання операцій, час виконання операцій, те й друге. Оцінювати стан ОІС можна за різними зовнішніми ознаками.

Методи тестового діагностування характеризуються таким чином. Стан ОІС можна оцінити як при виконанні ним робочих функцій, так і у спеціальному (неробочому) режимі.

В першому випадку повинні бути прийняті заходи, які виключають вплив тестових дій на правильність функціонування обладнання. В іншому випадку можливі два варіанти:

обладнання виводиться на режим діагностування (подається живлення, розкручується та інше);

2) не виводиться, тобто знаходиться у вимкненому стані, стані спокою. Тестове діагностування може здійснюватися поодинокую дією або багаторазовою дією (серія імпульсів). Реакція ОІС, яка підлягає аналізу для встановлення діагнозу, може бути у вигляді: одномірної (параметр) чи багатомірної ознаки (показники характеристики, декілька параметрів).

При діагностуванні ІС можуть використовуватися різні методи. В цьому випадку допускається використання для однієї ІС як робочого так і тестового діагностування.

Пристосування до діагностування ОІС забезпечується на стадії його розробки.

Конструкція ОІС і його основних частин повинна забезпечувати доступ до контрольних точок без розбирання вузлів і механізмів за винятком відкривання інформаційних люків, заглушок і т.п., які відкривають доступ до місць з'єднання з засобами діагностування (ЗД), і виключити можливість пошкодження обладнання при під'єднанні інформаційних засобів діагностування. Конструктивне оформлення місць під'єднання ЗД повинне бути по можливості простим.

Основним показником пристосування до діагностування є середній час підготовки до діагностування:

$$T_{ПД} = T_{УС} + T_{МД}, \quad (6.1)$$

де  $T_{УС}$  – середній час встановлення і зняття пристрою з'єднання (датчика, перетворювача та інш.);  $T_{МД}$  – середній час монтажних-демонтажних робіт для обладнання (від'єднання роз'ємів, зняття блоків та інш.).

Пристосованість до діагностування ІС залежно від особливостей експлуатації може мати різний рівень і визначається за декількома показниками

$$g = \prod_{i=1}^n (g_i)^{z_i}, \quad (6.2)$$

де  $n$  – кількість показників, по сукупності яких оцінюється рівень пристосованості ІС до діагностування,  $z_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го показника.

Підвищити пристосованість ІС до діагностування можна: взаємним узгодженням пристроїв з'єднання безпекою, з'єднання пристроїв спряження і ЗД, зниженням трудомісткості підготовки до діагностування, легкодоступністю і легкоз'ємністю пристроїв спряження (раціональна конструкція роз'ємів, їх маса, розміри та інш.), розробкою спеціальних пристроїв спряження, які забезпечують раціональне обмеження їх номенклатури.

### **Умови працездатності.**

Контроль працездатності – перевірка відповідності значень діагностичних ознак ІС вимогам технічної документації і визначення на цій основі виду технічного стану в даний момент часу для отримання відповіді на питання, працездатна чи непрацездатна ІС.

Для розв'язку цієї задачі необхідно перевірити умови працездатності, тобто умови, при виконанні яких ІС може виконувати покладені на неї функції стабілізації чи регулювання технологічних параметрів.

**Безперервні об'єкти.** В такому випадку значення параметрів  $\xi_i$ , які характеризують стан обладнання, повинні знаходитись у встановлених технічною документацією межах (можливі нижні  $\xi_i^H$  та верхні  $\xi_i^B$  допустимі значення). Область, обмежена цими значеннями, називається областю працездатності. Найкраще значення параметра визначається як номінальне  $\xi_i^{НОМ}$ . Умова працездатності за одним параметром задається

нерівностями, котрі обмежують значення параметра з одного чи з двох боків:  $\xi_i > \xi_i^{нлм}$ . У випадку, коли стан ОІС характеризується декількома параметрами, задачу контролю працездатності зводять до перевірки розглянутих нерівностей для кожного параметра. Якщо хоча б одна нерівність не виконується, то ОІС вважається непрацездатним.

**Дискретні об'єкти.** При визначенні працездатності дискретного об'єкта (рис.6.1), він розглядається як перетворювач набору входних дій  $X_k$ , у вихідні  $Y_k$ ,  $k=1, N$ . Причому  $N$  при робочому діагностуванні дорівнює кількості входних робочих дій, при тестовому діагностуванні визначається, виходячи з умови забезпечення спрацювання всіх елементів в об'єкті.

Кожний набір має наступний вигляд:

$$X_k = (x_1, \dots, x_i, \dots, x_n), i=1, n; \quad Y_k = (y_1, \dots, y_j, \dots, y_m), j=1, m,$$

де  $x_i$  і  $y_j$  – значення напруги на відповідному вході і виході;  $n$  – кількість входів;  $m$  – кількість виходів.

Звичайно в якості  $x_i$  і  $y_j$  розглядаються сигнали 0 і 1 (0 – напруга відсутня, 1 – напруга наявна). Причому в комбінаційній схемі (об'єкті без елементів пам'яті) вихідний набір залежить лише від набору входних дій. Оскільки кожному входному набору  $X_k$  відповідає певний вихідний набір  $Y_k$ , то умовою працездатності такого дискретного об'єкта є відповідність всіх можливих входних наборів  $X_k$  вихідним наборам  $Y_k$ , тобто  $X = \{X_k\} \rightarrow Y = \{Y_k\} = \{Y_{k \text{ ном}}\}$ .

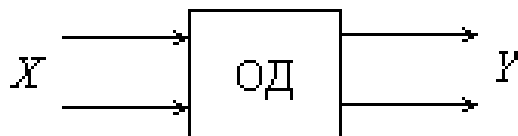


Рис.6.1 Дискретний об'єкт діагностування.

При робочому діагностуванні  $X_k$  – робочі дії.

При тестовому діагностуванні для перевірки умов працездатності необхідно побудувати мінімальну входну послідовність наборів, що дозволяє оцінювати стани всіх елементів об'єкта.

**Складний об'єкт.** Для ОД, що складається з кількох ІО, вектор стану має вигляд  $S = (s_1, \dots, s_i, \dots, s_n)$ . Умовою працездатності такого об'єкта є працездатність кожної СО. Стан СО має два варіанти: працездатна – 1, непрацездатна – 0. Тоді умову працездатного стану складного об'єкта можна записати:  $S = (s_1, \dots, a_1, \dots, s_n)$ .

Для кожної ІО умови працездатності можуть записуватися в одному з наведених вище вигляді.

### Ступінь працездатності

Оскільки задані конструктором параметри не можуть бути точно відтворені при виготовленні, то ОІС може виявитися в працездатному стані, але з різним запасом працездатності. Чим далі значення  $S_i$  діагностичних ознак від границі області працездатності нижньої  $\xi_i^H$  або/і верхньої  $\xi_i^B$ , тим менша ймовірність того, що ОІС втратить працездатність найближчим часом. Віддалення значення ознаки  $S_i$  від межі області працездатності збільшує запас його працездатності, навпаки, наближення значення ознаки до межі області працездатності зменшує запас працездатності (рис.6.2).

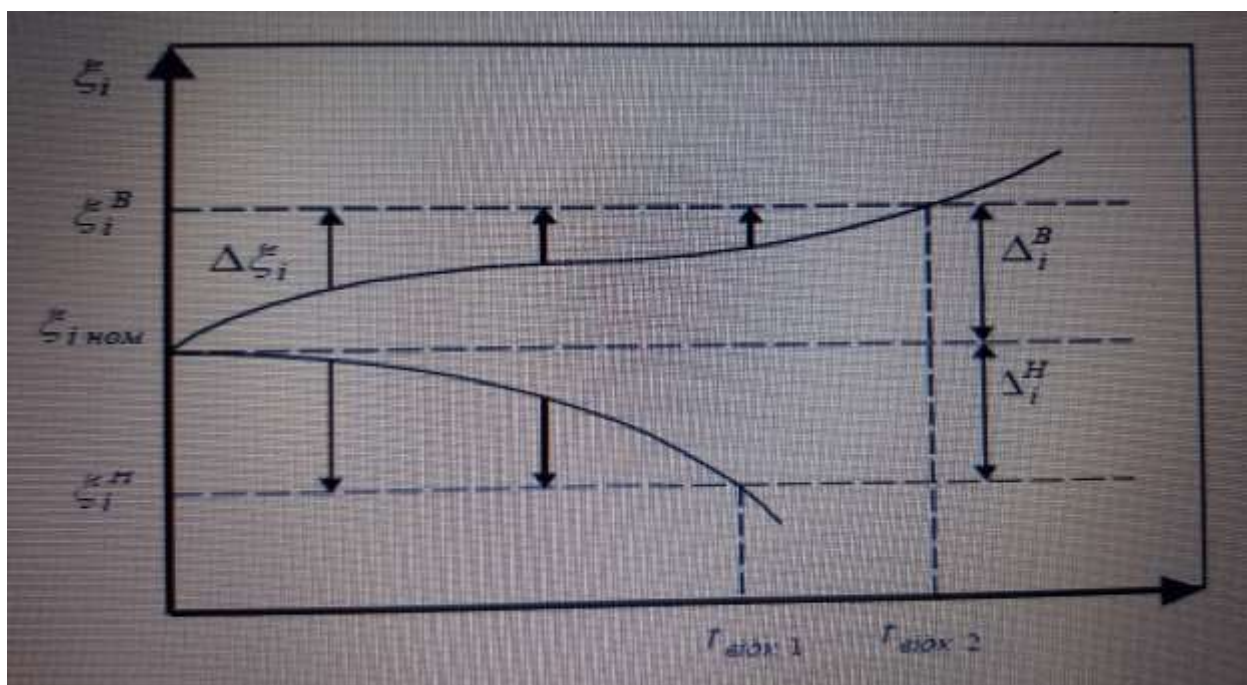


Рис.6.2 Приклад зміни запасу працездатності.

Запас працездатності  $\Delta \xi_i$  через поточне  $\xi_i$  та граничне (нижнє або верхнє)  $\xi_i^T$  значення діагностичного параметра:

$$\Delta \xi_i = |\xi_i - \xi_i^T|. \quad (6.3)$$

Якщо область працездатності розбита на ряд підобластей, то умова належності значення ознаки  $j$ -ї підобласті записується у вигляді:

$$\xi_i \leq \Delta \xi_{ij} = \left| \xi_{ij}^B - \xi_{ij}^H \right|, \quad (6.4)$$

де  $\xi_{ij}^B$ ,  $\xi_{ij}^H$  – нижня і верхня границі  $j$ -ї підобласті.

В зв'язку з тим, що розмірності області працездатності на кожну ознаку можуть бути різними, для технічної реалізації кількісної оцінки зміни працездатного стану зручніше користуватися поняттям ступеня працездатності, котрий за однією ознакою може бути визначений як:

$$C_i(t, R) = \frac{\left| \xi_i - \xi_i^\Gamma \right|}{\Delta_i}, \quad (6.5)$$

де  $\xi_i$  – допуск на  $i$ -тий діагностичний параметр в області зміни;  $t$  – час;  $R$  – режим роботи.

В цьому випадку ступінь працездатності змінюється в межах  $[1, 0]$ .

Дещо складніше оцінити ступінь працездатності об'єкту, стан якого визначається декількома діагностичними параметрами  $\Xi = (\xi_1, \dots, \xi_i, \dots, \xi_n)$ .

Для рішення цієї задачі введемо число  $M(\Xi)$  таким чином, щоб:

- 1)  $M(\Xi) > 0$ ;
- 2)  $M(\Xi) \rightarrow \infty$ , якщо хоча б один параметр досягне граничного значення  $\xi_i \rightarrow \xi_i^\Gamma$ ;
- 3) більш вагомий параметр, що входить в  $\Xi$ , сильніше впливає на величину  $M(\Xi)$ .

В цьому випадку ступінь працездатності:

$$C(\Xi) = 1 / M(\Xi). \quad (6.6)$$



## Лекція 7 Контроль працездатності інформаційних систем

При використанні в якості діагностичної ознаки характеристики оцінити стан ІС можна двома шляхами: за кількома показниками характеристики (величина перерегулювання, час перехідного процесу, статична точність при використанні перехідної характеристики) або за відхиленням поточної характеристики від номінальної. В цьому випадку повинні бути задані умови працездатності на кожний показник чи відхилення характеристик відповідно.

Методи контролю працездатності різноманітні.

Метод, що базується на контролі сукупності діагностичних параметрів (рис.7.1)  $\Xi = f(\xi_1, \dots, \xi_i, \dots, \xi_n)$ , передбачає вимірювання значень кожного параметра, порівняння з встановленим допуском (областю працездатності) і прийняття рішення про працездатність (якщо значення усіх параметрів у встановлених межах, то ІС працездатна).

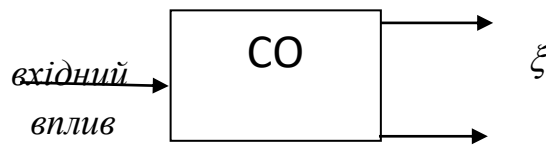


Рис.7.1 Метод контролю працездатності об'єкту за сукупністю діагностичних ознак.

Метод, що базується на контролі узагальненого параметра (рис.7.2), який характеризує стан обладнання в цілому і залежить від інших параметрів, тобто  $\Xi = f(\xi_1, \dots, \xi_i, \dots, \xi_n)$  (наприклад, потужність), охоплює операції вимірювання, порівняння та прийняття рішення.

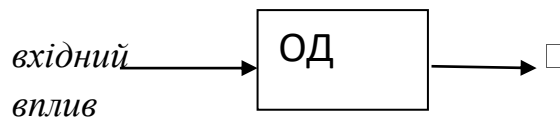


Рис.7.2 Метод контролю працездатності об'єкту за узагальненою діагностичною ознакою.

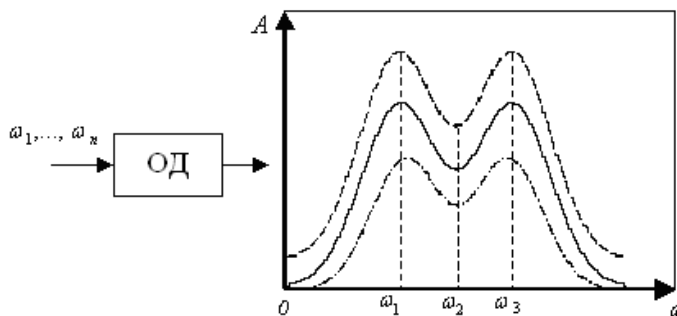


Рис 7.3 Схема контролю працездатності за АЧХ.

Метод, що базується на оцінці частотних характеристик (рис.7.3), передбачає подачу на обладнання синусоїдного сигналу у діапазоні частот  $f_1 \dots f_n$ , порівняння отриманих на виході амплітудно- та фазочастотних характеристик з граничними значеннями по всій характеристиці або в характерних точках  $f_1, f_2, f_3$  і прийняття рішення про працездатність за правилом: у всьому діапазоні частот характеристики повинні бути у встановлених межах.

Метод, що базується на оцінці часових характеристик (рис.7.4), містить подачу на ОІС тесту у вигляді ступінчатого імпульс (сигналу включення), оцінювання на виході реакції у вигляді перехідної характеристики двома способами: інтегральний по всій характеристиці, і по окремих показниках. Метод порівняння реакції ОІС і еквівалентної моделі (рис. 2.19), представленої фізичною (аналогічним обладнанням) або математичною (еквівалентною) моделлю, базується на оцінюванні реакції обладнання у і моделі  $u_m$  на один і той самий вхідний сигнал  $x$ .

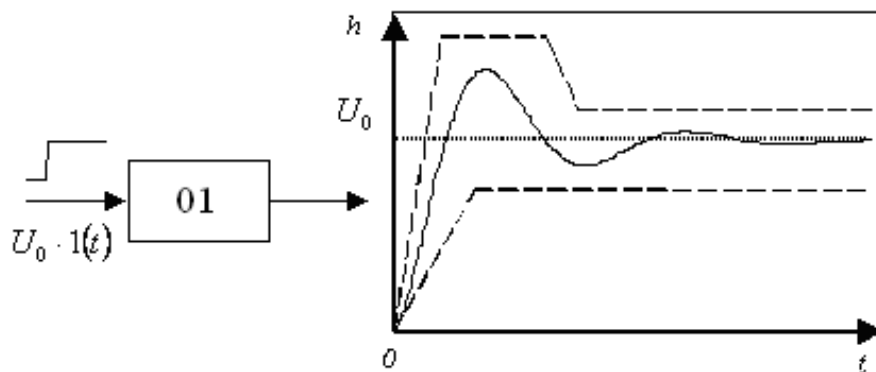


Рис.7.4 Схема контролю працездатності за часовою характеристикою.

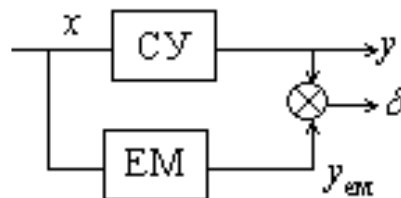


Рис.7.5 Схема контролю працездатності з використанням еквівалентної моделі

### ***Методи контролю працездатності дискретних об'єктів***

Оцінити працездатність дискретного об'єкта можна, подаючи на його входи сигнал  $X_k$  або послідовності сигналів  $X=\{X_k\}$ , що забезпечують спрацювання всіх елементів, і порівнюючи його реакції з номінальними. Таким чином, задача розбивається на дві частини:

- побудова мінімальної сукупності вхідних сигналів;
- оцінка реакції  $Y_k$ .

Методи першої групи передбачають побудову вхідного набору або послідовності наборів (вхідної послідовності), що забезпечують спрацювання всіх елементів об'єкта. Оскільки множина вхідних наборів виявляється в більшості практичних випадків надлишковою, так як при подаванні на об'єкт різних наборів можуть спрацювати одні й ті ж елементи, слід побудувати мінімальну вхідну послідовність.

**Метод перебору вхідних наборів.** В результаті перебору всіх можливих вхідних наборів  $X_k$  формується *вхідна послідовність*  $T_x$ . В  $T_x$  включаються ті набори, при подаванні яких на об'єкт за вихідним  $Y_k$  можна виявити наявність хоча б одного дефекту, що призводить до втрати працездатності об'єкта. Для того, щоб виключити надлишковість вхідної послідовності  $T_x$ , діють наступним чином.

Оскільки в тестову послідовність, за умовою, включаються вхідні набори  $X_k$ , які виявляють принаймні один дефект в об'єкті, то останній, включений в  $T_x$  набір  $X_p$ , не може бути надлишковим. Тому в нову вхідну послідовність включається першим набір  $X_p$ . Потім в тому ж порядку, що й раніше, перебирають вхідні набори із послідовності  $T_x$ . В результаті отримують нову послідовність  $T_{x1}$  з кількістю вхідних наборів  $M_1$ , меншою або рівною кількості  $N$  наборів в початковій послідовності  $T_x$ . Останній набір в послідовності  $T_{x1}$  також буде ненадлишковим. Якщо повторити подібну операцію  $m \leq (n-1)$  разів, то отримується вхідна послідовність, яка буде містити лише останні набори раніше побудованих  $(m+1)$  вхідних послідовностей і, відповідно, буде ненадлишковою. Цей метод побудови вхідної послідовності виявляється ефективним для визначення працездатності комбінаційних дискретних схем з великою кількістю елементів і невеликою кількістю входів.

Методи другої групи ґрунтуються на різних способах обробки вихідного набору (вихідної послідовності). В принципі, для визначення працездатності дискретного об'єкта необхідно вихідний  $Y_k$  набір (вихідну послідовність) порівняти з еталонним вихідним  $Y_{кет}$  набором (вихідною послідовністю), що відповідає певній вхідній дії. При великій кількості можливих реакцій об'єкта ця задача стає надзвичайно складною. У зв'язку з цим розроблені методи обробки вихідних наборів, що дозволяють визначати працездатність різноманітних дискретних об'єктів.

**Метод переходів.** Звичайно вихідний сигнал  $Y_k$  є набором 0 та 1 і має вигляд, показаний на рис.7.6.

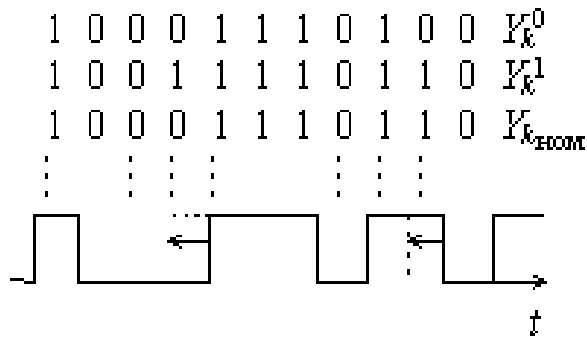


Рис.7.6. Метод переходів.

Оцінити стан дискретного об'єкта можна за кількістю  $C$  (переходів) з “0” на “1” або з “1” на “0” на одному виході (або на всіх виходах об'єкта). При цьому замість аналізу вихідної послідовності здійснюється підрахунок величини  $C$ , яка потім порівнюється з номінальним значенням  $C_{\text{ном}}$ . Технічне рішення реалізації методу достатньо просте, однак можливі пропускання спотворень  $Y_k$  у вигляді переміщення “1” –  $Y_k^i$  або “0” –  $Y_k^0$ .

**Метод контрольних сум.** Кожен набір  $Y_k \in Y$ ,  $k=1, n$  співставляється з числом  $A_k$ . При цьому для вихідної послідовності  $Y$  можна отримати число, де  $n$  – кількість наборів у вихідній послідовності. Об'єкт вважається працездатним, якщо  $A=A_{\text{ном}}$  ( $A_{\text{ном}}$  відповідає працездатному стану). Процедура контролю працездатності в цьому випадку зводять до знаходження чисел  $A_k$ , обчислення суми  $A$  і порівняння  $A$  з  $A_{\text{ном}}$ . В якості  $A_k$  можна розглядати десяткове число двійкового слова, наприклад:  $1011 \rightarrow 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11$ .

**Метод сумарних наборів.** Цей метод аналогічний до розглянутого методу контрольних сум, лише в даному випадку суми підраховуються по стовбцях або рядках і порівнюються вихідні набори, що утворюють матрицю вихідних сигналів.

### Ознаки наявності дефектів

Наявність дефекту – свідчення того, що в ІС відбулися небажані зміни, що привели до порушення його працездатності або зниженню його ступеня.

Математично признак наявності дефекту можна представити в наступному вигляді:

– порушення працездатності по параметрах  $|\xi_{\text{ном}} - \xi_i| > \Delta_i$  або по характеристиках  $|f(x) - \varphi(x)| > \Delta$ ;

– різке зниження ступеня працездатності, тобто перехід із стану  $s_i$  в стан  $s_j$  в області працездатності  $S_1$ :  $s_i \rightarrow s_j \in S_1$ ;

- відмова однієї із структурних одиниць складного об'єкту з переходом ОД із працездатних станів  $S_p = (1,1,\dots,1)$  в непрацездатні  $S_H = (0,1,\dots,2)$ ;
- спотворення вихідної імпульсної послідовності дискретного об'єкта.

### ***Методи виявлення дефектів.***

Всі методи виявлення дефектів можна поділити на три групи: огляд, індикація і пошук.

*Візуальний огляд* ОД, що відмовив, дозволяє виявити зпалені, пошкоджені компоненти, дефектні з'єднання.

При *автоматичній індикації* на об'єкті розміщується певна кількість датчиків, в відповідності з необхідною глибиною пошуку дефекту, що сигналізують про виникнення дефекту. В об'єктах, що можуть бути представлені як системи з послідовною обробкою інформації, дефект можна виявити шляхом *індикації* проходження сигналу.

При реалізації *пошуку* дефект в ОІС виявляється в процесі реалізації ряду перевірок, об'єднаних в алгоритм пошуку дефекту (поєднання слів “пошук дефекту” є синонімом терміну “дефектоскопія”, який утворився від лат. defectus – недолік і гр. scopeo – дивлюсь, спостерігаю). Пошук дефектів базується на принципі побудови умозаключень, які полягають в неперервному звуженні області пошуку місцезнаходження дефекту.

Послідовність перевірок при пошуку дефектів може бути представлена у вигляді графа, де вершинами є перевірки, кінцеві вершини – знайдені дефекти, а вітки вказують напрям переходу в залежності від результату перевірки: працездатна (+) або непрацездатна (–) структурна одиниця.

Для вибору послідовності перевірок необхідно знати, як ті чи інші дефекти впливають на стан ОД. Досягти цієї мети можна двома шляхами:

- моделюванням дефектів;
- аналізом діагностичної моделі ОД.

## Лекція 8 Пошук дефектів

Алгоритм діагностування – сукупність інструкцій, які визначають послідовність дій при проведенні діагностування. Це система формальних впорядкованих правил, дій і переходів, яка дозволяє раціонально виконати діагностування, тобто визначити працездатність, місце виникнення дефекту, здійснити прогнозування працездатності ІС на майбутній час. Алгоритм діагностування реалізує вибраний метод діагностування. Він володіє наступними якостями: визначеністю, масовістю, результативністю. Під визначеністю розуміють загальнозрозумілість і точність, що не залишають місця для неточностей. Під масовістю розуміють можливість застосування алгоритму до різних варіантів вихідних даних, тобто можливість вирішувати одну із задач ТД. Під результативністю розуміють існування таких варіантів вихідних даних, для яких після скінченної кількості перевірок виконання алгоритму закінчується і дається шуканий результат – діагноз. Алгоритми діагностування бувають безумовні (жорсткі), коли перехід до наступної перевірки відбувається незалежно від результатів попередньої, і умовні (гнучкі), коли перехід до наступної перевірки відбувається залежно від результатів попередньої перевірки. Алгоритми діагностування можуть бути представлені у вигляді логічних і матричних схем, які дозволяють компактно записати алгоритми, і у вигляді граф-схем, зокрема у вигляді сітки Пері, як більш наочне представлення.

Алгоритми пошуку можуть бути трьох видів: послідовні, паралельні і комбіновані. При послідовному пошуку (рис.8.1) кожна перевірка виділяє в просторі пошуку один дефект.

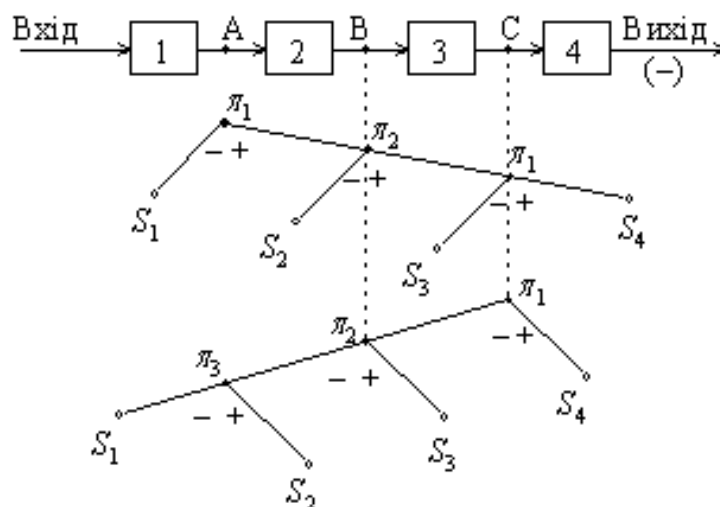


Рис.8.1 Алгоритм послідовного пошуку дефектів.

Задовільнити цю умову можна для ОІС, представленого послідовною схемою з'єднань СО, коли відомо, що на вхід подається штатний вплив, а по вихідній реакції відомо, що в ОІС має місце дефект. Пошук можна здійснити двома шляхами: від початку до кінця і від кінця до початку. При паралельному пошуку (рис.8.2) ОІС розбивається кожною перевіркою на дві рівні або майже рівні частини (якщо непарна кількість ІО). В цьому випадку кількість перевірок  $N$  визначається як ціла частина  $N = \lceil \log_2 n \rceil$ ,  $n$  – кількість ІО. При комбінованому пошуку можна поєднувати послідовний і паралельний алгоритми.

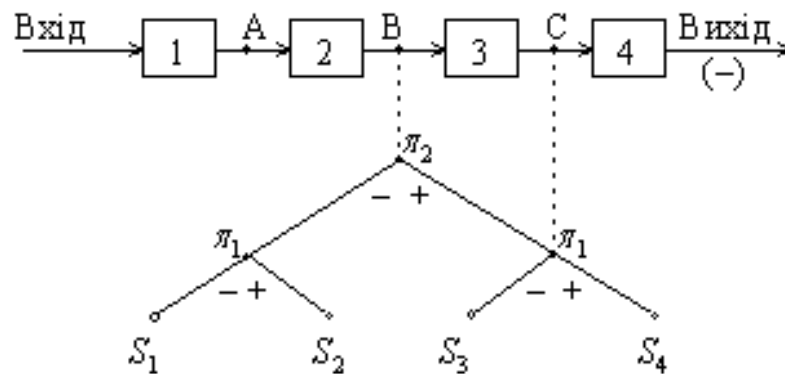


Рис.8.2 Алгоритм паралельного пошуку дефектів.

### ***Методи побудови алгоритмів пошуку дефектів.***

Алгоритми пошуку дефектів можуть бути побудовані на основі аналізу структури ОІС або використання показників, які характеризують надійність вузлів, агрегатів, блоків.

***Метод, заснований на показниках надійності.*** Можливі три способи побудови алгоритму пошуку дефектів:

- за показниками безвідмовності (ймовірності відмови  $q_i$  або безвідмовної роботи  $p_i$ );
- за показниками ремонтпридатності (час, що витрачається на виявлення дефекту  $\tau_{pi}$ );
- за відношенням  $\tau_{pi}/q_i$  (час – ймовірність).

Для побудови алгоритмів пошуку дефектів необхідно знати показники  $\tau_{pi}$ ,  $q_i$  для кожної ІО об'єкта,  $i=1, n$ .

В першому випадку структурні одиниці об'єкта, для який задана ймовірність відмови  $q_i$ , впорядковуються за величиною, і послідовно виконуються перевірки, починаючи з ІО, що характеризується найбільшою величиною  $q_i$ , і закінчуючи ІО, що характеризується найменшою.

В другому випадку перевірку починають із ІО, на пошук дефекту в якій витрачається найменший час. Знаючи значення  $\tau_{pi}$ , можна розмістити їх в ряд в порядку зростання і побудувати алгоритм пошуку.

В третьому випадку послідовність перевірок повинна задовольняти умову, згідно з якою номер перевірки визначається відношенням  $\tau_{pi}/q_i$  і зростає із збільшенням відношення. Невизначеність в перевірці може бути знята наданням переваги показникам ремонтпридатності або безвідмовності.

**Інформаційний метод.** Припускається, що відмови всіх ІО, що послідовно з'єднані, рівноймовірні і утворюють повну групу подій:

$$q_1 = q_2 = \dots = q_n = \frac{1}{n}, \quad (8.1)$$

де  $n$  – кількість можливих станів (дефектів).

Перед початком пошуку стан ОД характеризується максимальною ентропією (мірою невизначеності):

$$H = -\sum_{i=1}^n q_i \log_2 q_i = \log_2 n. \quad (8.2)$$

Кожна перевірка  $\pi_k$  дає певну кількість інформації про стан об'єкта:

$$I(\pi_k) = H - H(\pi_k), \quad (8.3)$$

де  $H(\pi_k)$  – середня умовна ентропія стану об'єкта при виконанні перевірки  $\pi_k$ .

Оскільки для перевірки  $\pi_k$  можливі лише два результати (0 і 1) з ймовірностями  $p(\pi_k)$  і  $p(\bar{\pi}_k)$  відповідно, то:

$$H(\pi_k) = p(\pi_k)H_k + p(\bar{\pi}_k)H_{\bar{k}}, \quad (8.4)$$

де  $H_k$  і  $H_{\bar{k}}$  – ентропії станів об'єкту після проведення перевірки.

При побудові алгоритму першою вибирається перевірка  $\pi_k$ , що несе максимум інформації (якщо таких перевірок більше однієї, то вибирається будь-яка із них), тобто:



$$I(\pi_k) = H - H(\pi_k) = I_{\max} . \quad (8.5)$$

Другою вибирається перевірка  $\pi_r$ , яка володіє найбільшою умовною інформацією  $I(\pi_r/\pi_k)$  відносно стану, що характеризується ентропією  $H(\pi_k)$ :

$$H(\pi_r/\pi_k) = p(\pi_r/\pi_k)H_{r/k} + p(\bar{\pi}_r/\pi_k)H_{\bar{r}/k} + p(\pi_r/\bar{\pi}_k)H_{r/\bar{k}} + p(\bar{\pi}_r/\bar{\pi}_k)H_{\bar{r}/\bar{k}} \quad (8.6)$$

Третя і наступна перевірки вибираються аналогічним чином. Процедура закінчується тоді, коли ентропія  $H(\pi_r/\pi_k)$  дорівнюватиме нулю.

Найпростішим прикладом методу є алгоритм половинного розбиття, при якому будь-яка перевірка знімає половину невизначеності.

Недолік інформаційного методу полягає в тому, що він може бути використаний для ОД, схеми якого зводяться до послідовного з'єднання елементів з однаковими ймовірностями відмов.

**Метод логічного аналізу об'єкта діагностування.** Логічний аналіз ОД для побудови алгоритму пошуку дефекту враховує структуру, можливі режими роботи і аварійне використання ОД.

Логічний підхід ґрунтується на знанні принципів роботи схеми, системи, пристрою і розуміння конкретних ситуацій.

Зручною формою запису алгоритму пошуку є логічна схема в операторній формі, що використовує:

M – оператор початку пошуку; M1 при зниженні ступеня працездатності в допустимих межах, M2 – при втраті працездатності;

P – оператор перевірки умов переходу до перевірки ІО;

E – оператор звертання до відповідної точки контролю;

I – оператор індикації стану тракту або ІО;

R – оператор зупинки у випадку виникнення аварійного стану;

→ – напрямок звертання при сигналі, що відповідає відсутності дефекту в ІО;

– → – напрямок звертання при сигналі, що відповідає наявності дефекту в тракту або ІО;

↑↑ – аварійне переключення в ОД;

↑ – індикація наявності дефекту.

При цьому буквеним операторам присвоюються індекси відповідно з прийнятими позначеннями ІО.

При виконанні аналізу і побудові алгоритму передбачається, що в системі управління виникає лише один дефект.

**Метод, заснований на аналізі чутливостей функцій передачі.** Якщо діагностична модель ОД задана у вигляді орієнтованого графа або діаграми проходження сигналів виду (рис.8.3), то можна визначити чутливість функцій передачі до зміни станів елементів за формулою

$$S_{r_a}^{T_{ij}} = \frac{\partial T_{ij}}{\partial r_a} \quad \text{або} \quad S_{r_a}^{T_{ij}} = \frac{\partial \ln T_{ij}}{\partial \ln r_a}, \quad (8.7)$$

де  $T_{ij}$  – функція передачі від  $i$ -го вузла до  $j$ -го вузла;  $r_a$  – змінні параметри,  $a=1, l$ .

Вузли діаграми відповідають змінним і позначаються індексом відповідного сигналу. Гілки мають оператори, позначені відповідною залежністю із вказанням напрямку. Розміщення вузлів має відображати розповсюдження сигналів в об'єкті.

В загальному випадку сигнал  $a$ -ї вершини визначається наступним чином:

$$r_a = \sum_{i=1}^n r_i T_{ia}, \quad (8.8)$$

тобто сума добутків сигналів, що входять в вузол, на відповідні функції передачі.

В реальному об'єкті функції передачі залежать від структури об'єкта і значень їх параметрів. Всі зміни (кількісні і якісні), що відбуваються в об'єкті, призводять до зміни відповідних функцій передачі. У зв'язку з цим різна чутливість параметрів визначається чутливістю функцій передачі, яка знаходиться як ступінь її зміни при зміні будь-якого параметра.

Звичайно ОД характеризується множиною функцій передачі. Їхня кількість визначається як комбінації  $C_n^2$

$$\left( C_n^2 = \frac{n!}{m!(n-m)!} \right), \quad (8.9)$$

де  $n$  – кількість параметрів ОД (якщо всі параметри змінюються, то  $n=l$ ).

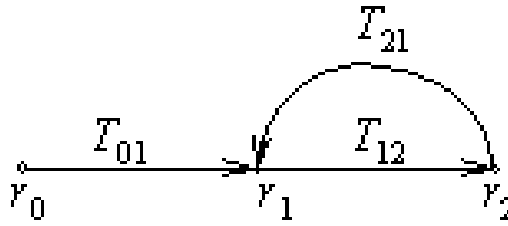


Рис.8.3 Діагностична модель.

**Метод, заснований на аналізі таблиць станів.** Пошук дефекту в цьому випадку базується на мінімальній сукупності перевірок, що дозволяють розрізнити дефекти всіх ІО.

Розглянемо метод на прикладі ОД, зображеного на рис.8.4.

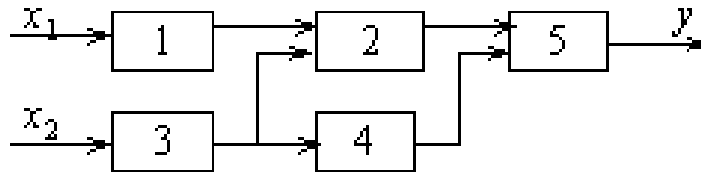


Рис.8.4 Діагностична модель.

Вважаємо, що дефект кожної ІО порушує працездатність ОД. Тоді множина непрацездатних станів  $S_H$  буде включати п'ять елементів, тобто  $S_H = \{s_i\}, i=1,5$ , де  $s_i$  – стан непрацездатної ІО.

Виявити всі дефекти в такому ОД можна, виконавши п'ять перевірок, тобто  $\pi = \{ \pi_j \}, j=1,5$ . При цьому вважаємо, що кожна перевірка може мати два результати: 0 – ІС непрацездатна, 1 – ІС працездатна.

Для скорочення кількості перевірок  $\pi$  складемо таблицю станів в вигляді табл. 2.3.

Як видно, перевірка  $\pi_5$  не несе інформації (всі 0). Дійсно, якщо відомо, що ОД відмовив, то перевірка на його виході не дасть нової інформації для пошуку дефекту.

Складемо табл.8.1 попарного порівняння всіх станів ОД для оцінки здатності до розрізнення пар станів певною перевіркою. Якщо стани розрізняються перевіркою, то – 1, якщо не розрізняються, то – 0.

Аналіз табл.8.1. показує, що перевірка  $\pi_1$  розрізняє чотири пари станів, перевірка  $\pi_2$  – ще чотири пари станів, перевірка  $\pi_3$  – лише одну пару, а

перевірка  $\pi_4$  – дві пари станів. Виключивши  $\pi_3$ , як найменш інформативну, включимо в алгоритм три перевірки.

Таблиця 8.1 – Таблиця станів.

Стан	Перевірки				
	$\pi_1$	$\pi_2$	$\pi_3$	$\pi_4$	$\pi_5$
s <sub>1</sub>	0	0	1	1	0
s <sub>2</sub>	1	0	1	1	0
s <sub>3</sub>	1	0	0	0	0
s <sub>4</sub>	1	1	1	0	0
s <sub>5</sub>	1	1	1	1	0

Таблиця 8.2 – Таблиця пар станів.

Пари станів s <sub>i</sub> s <sub>j</sub>	Перевірка			
	$\pi_1$	$\pi_2$	$\pi_3$	$\pi_4$
s <sub>1</sub> s <sub>2</sub>	1	0	0	0
s <sub>1</sub> s <sub>3</sub>	1	0	1	1
s <sub>1</sub> s <sub>4</sub>	1	1	0	1
s <sub>1</sub> s <sub>5</sub>	0	1	0	9
s <sub>2</sub> s <sub>3</sub>	0	0	1	1
s <sub>2</sub> s <sub>4</sub>	0	1	0	1
s <sub>2</sub> s <sub>5</sub>	0	0	0	0
s <sub>3</sub> s <sub>4</sub>	0	1	1	0
s <sub>3</sub> s <sub>5</sub>	0	1	1	1
s <sub>4</sub> s <sub>5</sub>	0	0	0	1

## Лекція 9 Прогнозування технічного стану інформаційного об'єкта

*Прогнозування технічного стану* (ПТС) – визначення технічного стану ІС з заданою точністю на майбутній інтервал часу. Метою прогнозування є визначення значення діагностичної ознаки на заданому інтервалі часу (ймовірність виходу/невиходу параметра за допустимі межі) або визначення інтервалу часу (кінцевого ресурсу), на протязі якого зберігається працездатний стан ІС. Результат прогнозування – прогноз. При вирішенні задачі знаходять застосування два поняття: *інтерполяція* (від лат. *interpolatio*), означає визначення проміжних значень функції за деякими відомими її значеннями; *екстраполяція* (від лат. *ekstra+polize* – гладкий), характеризує визначення значення функції за межами інтервалу, де знаходяться її значення.

З моменту виготовлення ІС в ній відбуваються процеси деградації (рис.9.1), тобто ступінь працездатності її поступово погіршується, причому швидкість зміни працездатності у електронних (крива 1) і механічних (крива 2) об'єктів різна. Виконати вірне ПТС можна тільки в тому випадку, коли відомі умови, в яких ІС буде використовуватися.

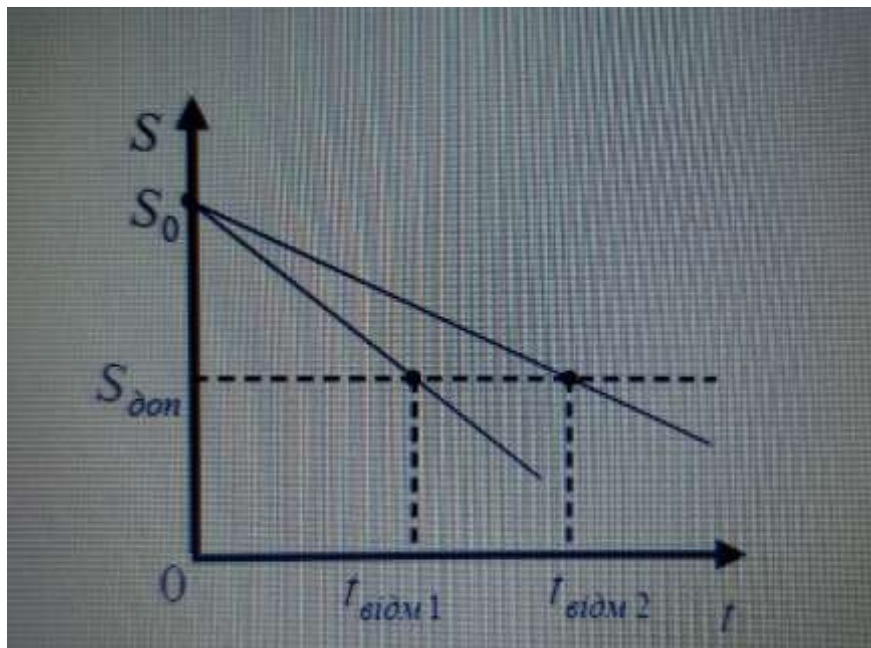


Рис.9.1 Графік зносу та старіння.

При вирішенні цієї задачі маємо справу з випадковими процесами, які являють собою зміни випадкової величини (діагностичної ознаки) при зміні не випадкового параметра (час). ПТС можливе, якщо у випадковому процесі, який характеризує зміну ознаки, можна виділити *тренд* (від англ. *trend* – тенденція, нахил), тобто принциповою основою прогнозування служить

припущення про існування єдиних закономірностей, що визначають знос і старіння.

Для вирішення задачі ПТС весь розглядуваний час ділять на два інтервали:  $T_1$  – інтервал спостереження (вимірювання значень діагностичних ознак) за станом обладнання;  $T_2$  – інтервал, на якому здійснюється прогнозування.

ПТС підрозділяють на індивідуальне (для конкретного обладнання) і групове (для партії однотипного обладнання); за часом прогнозу – на локальні (час прогнозу незначний) і глобальні (до втрати працездатності).

В залежності від математичного апарату, що використовується, розрізняють три види прогнозування:

- 1) аналітичне, що базується на степеневих рядах і рівняннях регресії;
- 2) ймовірнісне, що базується на теорії ймовірності;
- 3) статистична класифікація, що базується на теорії розпізнавання образів.

### *Аналітичне прогнозування*

**Постановка задачі.** Прийемо, що працездатність об'єкту описується одним параметром  $\xi$ . В цьому випадку прогнозування працездатності ОД розглядається як прогнозування зміни функції  $\xi(t)$ , значення якої змінюються дискретно або безперервно в інтервалі часу  $T_1 = [t_0, t_n]$ . В результаті цього маємо значення цієї функції  $\xi_0, \xi_1, \dots, \xi_i, \dots, \xi_n$  на інтервалі  $T_1$  (рис. 9.2). Необхідно по відомих значеннях  $\xi_i$  визначити значення функції  $\xi(t)$ :  $\xi_{n+1}, \dots, \xi_{n+j}, \dots, \xi_{n+m}$  в майбутні моменти часу  $t_{n+1}, \dots, t_{n+j}, \dots, t_{n+m} \in T_2$  або взнати, через який час значення  $\xi_{n+j}, t_{n+j} \in T_2$  досягнуть допустимого рівня  $\xi_{\text{доп}}$ .

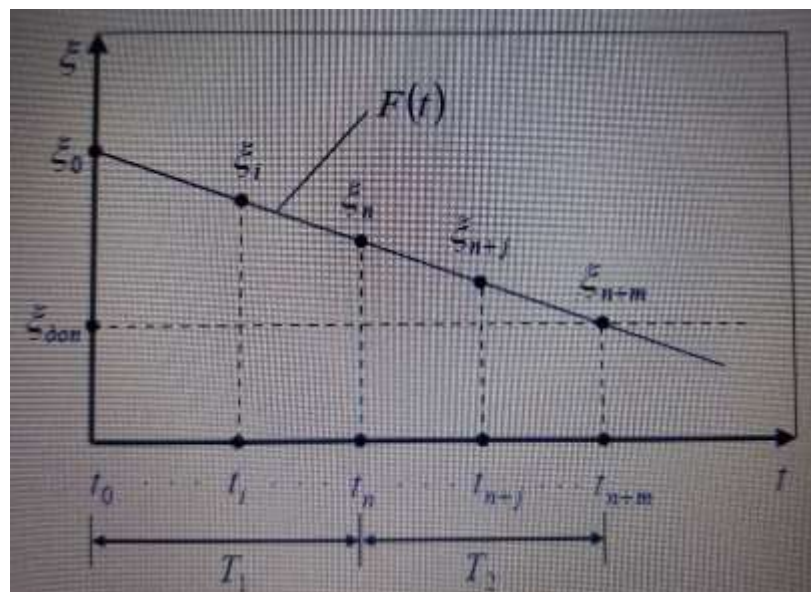


Рис.9.2 Зміна діагностичного параметра.

**Метод екстраполяційних поліномів.** Процедура охоплює аналіз результатів спостереження, побудову аналітичного виразу (інтерполяція) виду  $F(t) = \sum_{i=0}^r a_i \varphi_i(t)$ , ( $r$  – степінь полінома,  $a_i$  – коефіцієнт,  $\varphi_i(t)$  – відомі функції найпростішого виду), що пов’язує результати спостереження (вимірні значення або математичні очікування в кожному часовому проміжку), і екстраполяцію (розповсюдження) з допомогою отриманого виразу. На практиці використовуються поліноми не більш третього степеня.

Отже, метод екстраполяційних поліномів передбачає:

- вибір оптимального виразу  $F(t)$  з врахуванням тенденції зміни параметру в області  $T_1$ ;
- визначення коефіцієнтів  $a_i$  для отримання точного прогнозу;
- екстраполяцію  $F(t)$  на область  $T_2$  і визначення значення параметра в необхідний момент часу.

**Метод регресійного аналізу.** Модель зміни діагностичного параметру  $\xi$  в часі на основі регресійного рівняння:

$$\xi = \xi_0 + t/\sigma, \quad (9.1)$$

де  $\xi_0$  – початкове значення параметра;  $\sigma$  – коефіцієнт регресії.

Час роботи ОД до відмови  $t_{\text{від}}$  буде визначатися допустимим значенням діагностичного параметра:

$$t_{\text{від}} = (\xi_{\text{дон}} - \xi_0) \cdot \sigma. \quad (9.2)$$

### **Ймовірнісне прогнозування**

Задачі ймовірнісного ПТС зводяться до визначення ймовірності виходу (невиходу) прогнозованого процесу за встановлені межі.

Визначити ймовірність нескладно, якщо відомий закон розподілу діагностичного параметру:

$$P(\xi_{n+j} > \xi_{\text{дон}}) = \int_{\xi_{\text{дон}}}^{\infty} f_{n+j}(\xi) d\xi, \quad (9.3)$$

де  $f_{n+j}(\xi)$  – щільність розподілу значень  $\xi$  в часовому перерізі  $t_{n+j}$  з математичним очікуванням  $m_{n+j}(\xi)$  і дисперсією  $\sigma_{n+j}^2(\xi)$ .

На практиці значення діагностичних параметрів розподілені за нормальним законом:

$$f(\xi) = \frac{1}{\sigma(\xi)\sqrt{2\pi}} \left[ -\frac{(\xi - m(\xi))^2}{2\sigma^2(\xi)} \right]. \quad (9.4)$$

Для нормального закону розподілу ймовірнісне прогнозування можна звести до прогнозування зміни математичного очікування з використанням статистичної екстраполяції (рис. 2.27):

– на інтервалі  $T_1$  визначити  $m(\xi)$  і  $\sigma(\xi)$  для кожного часового перерізу;

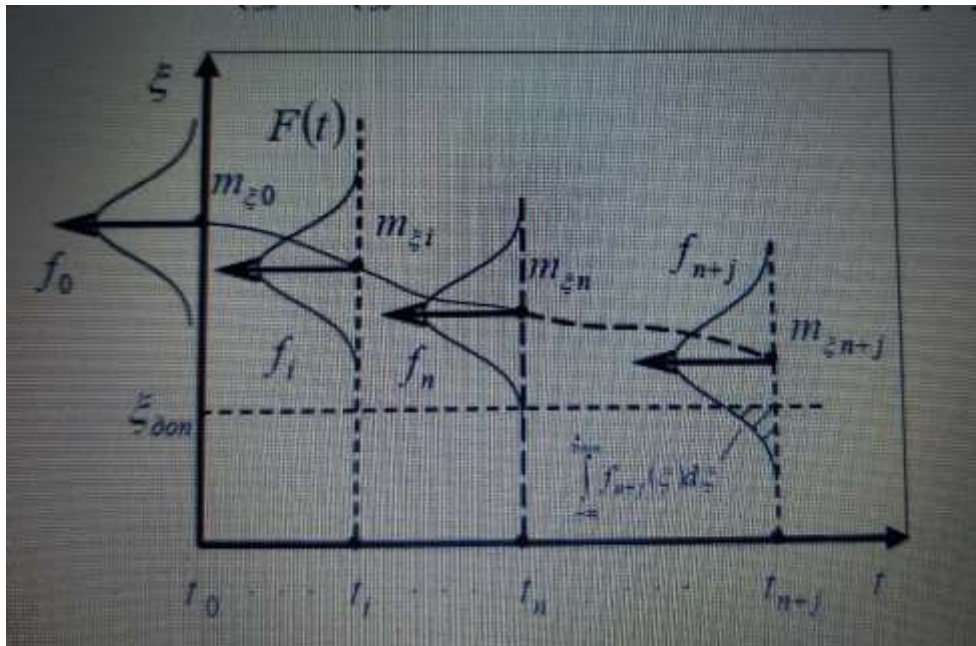


Рис.9.3 Ймовірнісне прогнозування.

- здійснити інтерполяцію значень  $m(\xi)$  і отримати екстраполяційний поліном;
- виконати екстраполяцію  $m(\xi)$  і  $\sigma(\xi)$  на необхідний час  $t_{n+j}$ ;
- розрахувати ймовірність виходу/невиходу діагностичного параметра за допустимі межі.

### Статистична класифікація

При прогнозуванні методами класифікації необхідно вирішити дві задачі: побудувати класи, що відповідають значенням ознаки конкретного об'єкта, і за результатами вимірювання віднести стан до того чи іншого класу (розпізнати образ). Класи розглядаються параметричні

$R_{\xi}^{\gamma} : R_{\xi}^1 = \xi_0 \dots \xi_1; \dots; R_{\xi}^m = \xi_{m-1} \dots \xi_m$  ( $\xi_i \dots \xi_j$  – інтервал у полі допуску) і

часові  $R_T^{\gamma} : R_T^1 = T_0 \dots T_1; R_T^m = T_{m-1} \dots T_m$  ( $T_i \dots T_j$  – часовий інтервал). Класи



$R_{\xi}^{\gamma}$  являють собою свого роду еталони (образи, портрети). Вони задаються на основі випробувань. При цьому визначаються екстраполяційні зв'язки  $F_{\gamma}$ , що зв'язують значення діагностичних ознак з класами. Процедура прогнозування методами статичної класифікації передбачає:

- 1) визначення навчаючої вибірки  $N$  ОД з гарантованими термінами зберігання працездатності  $T_2$ . Кожному ОД вибірки  $N$  відповідає певний термін зберігання працездатності  $t_i, i=1, N$ ;
- 2) в залежності від співвідношення величин  $T_2$  і  $t_i$  розподілення об'єктів на класи;
- 3) опис кожного ОД  $m$ -мірним вектором стану;
- 4) вибір або побудова функції розпізнання або вирішального правила;
- 5) відповідно розпізнання – віднесення ОД до певного класу за його станом.

Перші дві дії відносяться до розв'язку задачі навчання, а останні три – задачі розпізнавання. Прогнозування методом статичної класифікації знаходить застосування в тих випадках, коли існує велика навчаюча вибірка.

## Лекція 10 Структура і показники систем діагностування

*Система діагностування (СД)* – сукупність об'єкта діагностування ОД, інформаційних засобів діагностування ІЗД і виконавців, необхідних для проведення діагностування за правилами, встановленими в технічній документації. В залежності від призначення, специфіки і розміщення в ІС система діагностування може мати різну структуру (структура системи – це стійка впорядкованість в просторі і в часі її елементів і зв'язків). Всі можливі структури можна звести до невеликої кількості типових структур.

На рис.10.1 зображені типові структури при робочому діагностуванні, коли ОІС виконує робочі функції. На схемі (рис.10.1,(а)) ІЗД відіграють пасивну роль, приймаючи і переробляючи інформацію, яка характеризує якісне виконання ОІС робочих функцій. Людина-оператор не має безпосереднього контакту з ОІС, взаємодіє з ІЗД, приймає з них інформацію, управляє діагностуванням і приймає рішення про їх використання ОІС. Схema характерна для ОІС, розміщеного у важкодоступних місцях і який використовується неперервно. Для ОІС, яке використовується періодично, характерне виведення його в спеціальний режим діагностування. Структура СД для цього випадку зображена на рис.10.1, (б). Тут ІЗД приймають і переробляють інформацію про стан ОІС. Людина-оператор має доступ до ОІС для його ввімкнення і вимкнення, відповідних переключень при діагностуванні, приймає інформацію і керує діагностуванням. Обладнання в цьому випадку не приймає участі в робочому процесі.

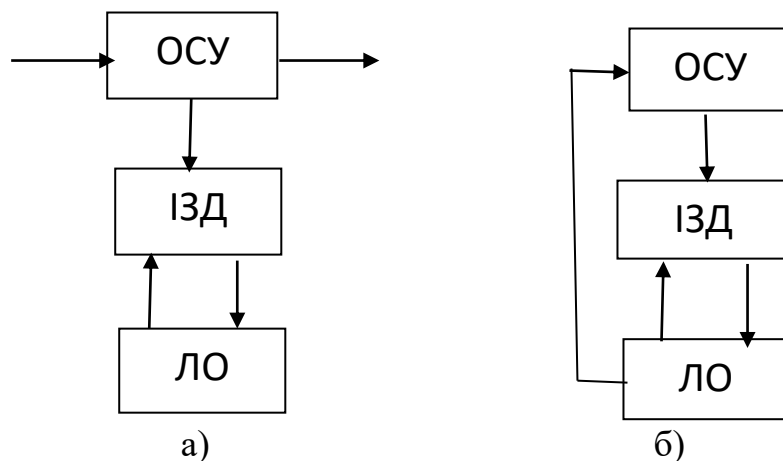


Рис.10.1 Схеми системи робочого діагностування.

При тестовому діагностуванні структури видозмінюються за рахунок розділення ТЗД на активні ІЗД1 і пасивні ІЗД2. ІЗД1 – генератори тестових впливів, ІЗД2 служать для прийняття і обробки інформації про стан обладнання. В структурі на рис.10.2, (а) показаний зв'язок між ІЗД1 і ІЗД2,

який забезпечує узгодження режимів роботи. Функції людини-оператора (ЛО) зводяться до управління ІЗД1 і прийняття інформації з ІЗД2.

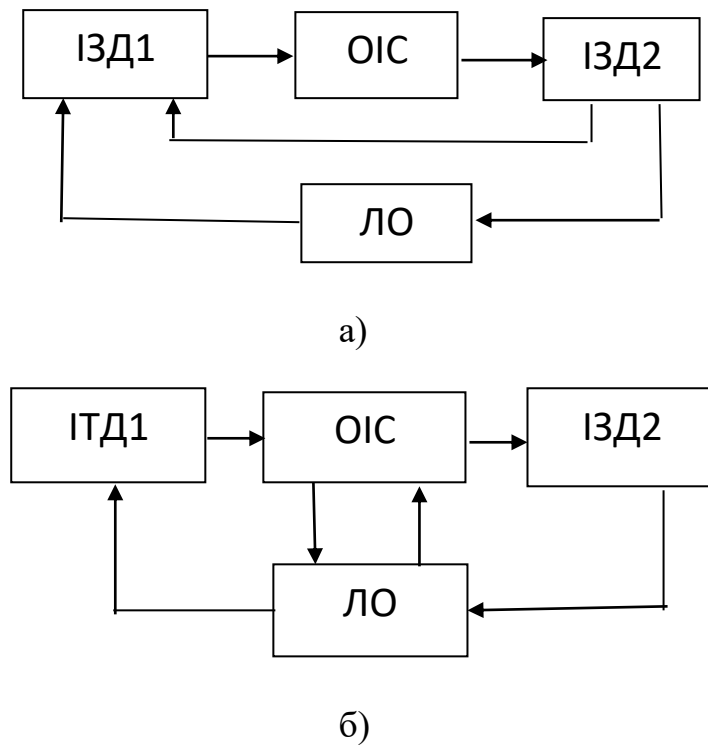


Рис.10.2 Схеми систем тестового діагностування.

Схема характерна для обладнання, розміщеного в важкодоступних місцях. В випадку, показаному на рис.10.2,(б), ЛО має безпосередній доступ до обладнання і може безпосередньо управляти його роботою. Штрихова стрілка показує можливість безпосереднього доступу до інформації про стан обладнання, що може підвищити точність діагнозу і в ряді випадків спростити ІЗД. Характерно для ОІС, розташованого в такому місці, яке забезпечує вільне спостереження за ним людині-оператору. Розглянуті структури СД охоплюють практично всі випадки, коли ОІС розглядається як єдине ціле.

Для можливості порівняння різних СД між собою і оцінки досягнутого ними ефекту, використовують ряд показників.

*Достовірність діагностування* – ступінь об’єктивної відповідності результатів діагностування технічному стану ІС. Перш за все визначається ймовірність правильного діагностування  $D$ , яка залежить від допустимих помилок:

$$D = 1 - \sum_{\substack{i=1 \\ i=j}}^m P_{ij} . \quad (10.1)$$

де  $P_{ij}$  – ймовірність помилок діагностування (ІС в  $i$ -тому стані, а діагноз вказує, що вона в  $j$ -му стані),  $m$  – кількість можливих станів.

Якщо розглядають два стани ( $m=2$ ) – працездатний і непрацездатний, то помилка полягає в тому, що працездатна ІС визначається непрацездатною і навпаки. Основним джерелом помилок є засоби діагностування, які використовуються. Більш наочно з врахуванням похибок  $E$  і допусків  $\Delta$  на параметри ймовірність правильного діагностування може бути визначена за допомогою виразу

$$D = \sum_{j=1}^k P_i^T \left[ \prod_{v=1}^n (1 - a_{v\xi} - \beta_{v\xi}) \right] \quad (10.2)$$

де  $P_l^T$  – апіорна ймовірність перебування засобу діагностування в стані  $l$  (для  $l=1$ ,  $P_l^T = P_1^T = P_T$  – ймовірність безвідмовної роботи засобу діагностування);  $a_{v\xi}$  – ймовірність помилок 1-го роду, коли  $v$ -й параметр знаходиться в межах допуску, а вимірюється за межами допуску,  $a_{v\xi} = f(\varepsilon, \Delta)$ ;  $\beta_{v\xi}$  – ймовірність помилок 2-го роду, коли  $v$ -й параметр знаходиться за межами допуску, а вимірюється в межах допуску,  $\beta_{v\xi} = f(\varepsilon, \Delta)$ .

Механізм виникнення цих помилок можна проілюструвати наступним чином для рівномірного закону розподілу значень параметра і похибки вимірювань (рис.10.3). Допуск  $\Delta_v$  на  $v$ -й параметр визначається як різниця верхнього  $\xi^B$  в і нижнього  $\xi^H$  допустимих значень параметра. За рахунок похибки вимірювання  $\varepsilon$  дійсне значення  $\xi_v^{вум}$ , тобто  $\xi_v^{вум} = \xi_v^D \pm \varepsilon$ . В результаті по  $v$ -му параметру виникає хибна (зліва) і невиявлена (справа) відмова. Помилка 2-го роду небезпечна, тому що непрацездатна система управління може бути визнана працездатною. В результаті її використання за призначенням можлива аварія.

*Середня оперативна тривалість діагностування (час діагностування)*

$$\tau_{Д} = \sum_{i=1}^m P_i^0 \sum P_l^T \tau_{il} \quad (10.3)$$

де  $\tau_{il}$  – оперативна тривалість діагностування ОІС, яке перебуває в стані  $i$ , при умові, що ІЗД перебуває в стані  $l$ ;  $P_i^0$  – апіорна ймовірність перебування ОІС в стані  $i$  (якщо вона працездатна, то це ймовірність

безвідмовної роботи);  $P_l^T$  – апіорна ймовірність перебування ІЗД в стані  $l$  (для працездатного стану – ймовірність безвідмовної роботи).

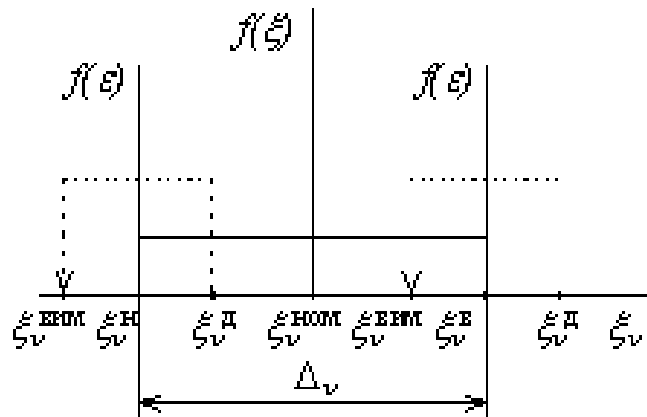


Рис.10.3 Приклад помилок першого і другого роду.

*Середня вартість діагностування:*

$$C_{Д} = \sum_{m=1}^b P_i^0 \sum_{j=1}^k P_e^T C_{il} \quad (10.4)$$

де  $C_{il}$  – вартість діагностування ОІС, яке перебуває в стані  $i$  при умові, що ТЗД перебуває в стані  $l$ .

*Середня оперативна працездатність діагностування:*

$$S_{Д} = \sum_{m=1}^b P_i^0 \sum_{j=1}^k P_e^T S_{il} \quad (10.5)$$

де  $S_{il}$  – оперативна працездатність діагностування ОІС, що перебуває в стані  $i$ , при умові, що ІС перебуває в стані  $l$ .

Показники діагностування дозволяють порівняти різні варіанти СД і у відповідності до встановлених вимог повинні включатися до технічного завдання на розробку ІС.

## Лекція 11 Характеристика засобів діагностування

*Засоби технічного діагностування* (ЗТД) – засоби, за допомогою яких відбувається діагностування. Вони охоплюють *апаратні (технічні) засоби* (ТЗД), *програмні засоби* (ПЗД) і *ремонтно-експлуатаційну документацію* (РЕД). До ТЗД відносять прилади, пульти, стенди, спеціалізовані ЕОМ. ПЗД являють собою програми, записані на носії. РЕД охоплює таблиці ознак дефектів, методики діагностування, ремонтні схеми, схеми принципів електричних, схеми електричних з'єднань. Найбільш поширеним видом засобів є ТЗД.

Склад і принцип побудови ТЗД визначаються: задачами діагностування, які вирішуються; ступенем впливу на обладнання; ступенем вмонтованості в ІС; способами отримання інформації, способами обробки інформації про стан обладнання, ступенем автоматизації і рухомості.

В залежності від *поставлених задач* діагностування можна виділити: засоби контролю працездатності (ЗКР); пошуку дефектів (ЗПД); прогнозування технічного стану (ЗПС); контролю і прогнозування технічного стану; контролю працездатності і пошуку дефектів; контролю і прогнозування стану, пошуку дефектів.

За *ступенем впливу на обладнання* ТЗД поділяють на активні, що включають до свого складу генератори тестових впливів, і пасивні, які існують тільки для сприйняття і обробки інформації, що надходить від обладнання.

*Конструктивно* ТЗД можуть повністю або частково відноситись до ІС (вмонтовані) або виконуватись окремо від конструкції (зовнішні). Ступінь вмонтованості може бути визначений через інтенсивності відмов повністю зовнішніх ТЗД  $\lambda_m$  і вмонтованих в ІС  $\Delta\lambda_m$  наступним чином: для зовнішніх ТЗД  $\psi = 0$ , для повністю вмонтованих  $\psi = 1$ , для частково вмонтованих  $0 < \psi < 1$ .

За *способом отримання інформації* про стан обладнання ТЗД поділяється на ТЗД-П, коли стан визначається за сукупністю параметрів, і ТЗД-С, коли стан визначається за різницеvim сигналом реакції ОІС і його еквівалентної моделі в складі ТЗД на однаковий вхідний вплив.

За *способом обробки інформації* ТЗД можуть бути послідовного (діагноз ставиться послідовно по кожній діагностичній ознаці), паралельного (одночасно ставиться діагноз по всіх ознаках) і паралельно-послідовного (одночасно оцінюються групи ознак, діагноз ставиться послідовно по групах) характеру.

За ступенем автоматизації ТЗД поділяються на ручні (якщо час  $\tau_a$  на виконання операції алгоритму діагностування автоматично не менший  $0.9 \tau_D$ ;  $\tau_D$  – час діагностування), автоматичні (до  $0.1 \tau_D$ ) і автоматизовані (коефіцієнт автоматизації  $0.1 < K_a = \tau_a / \tau_D < 0.9$ ).

За ступенем універсальності ТЗД поділяються на спеціалізовані для діагностування однотипного ОІС і універсальні – для діагностування ОІС різного призначення та конструктивного виконання (наприклад, засоби для аналізу віброакустичних сигналів або визначення металічних домішок в мастилі).

В залежності від ступеня рухомості ТЗД можуть бути переносними (легкі, компактні), рухомими (на самохідних і несамохідних шасі) і стаціонарними (розміщуються на транспортних засобах, діагностичних станціях, випробувальних центрах).

В загальному вигляді структурна схема ТЗД зображена на рис. 2.31.

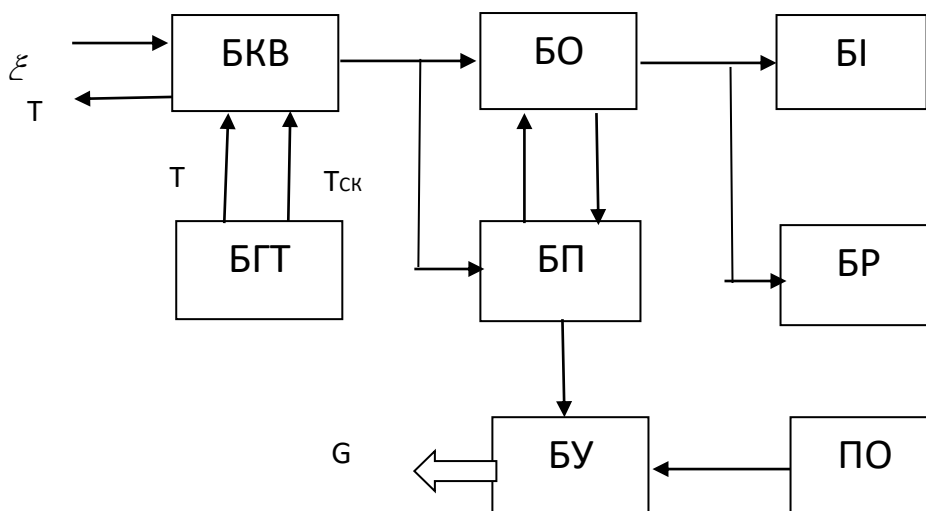


Рис.11.1 Структурна схема ТЗД.

Оцінка стану при робочому діагностуванні здійснюється за сукупністю ознак  $\xi_i$ ,  $i=1, n$ , перетворених в прийнятний вид сигналів  $X_i$  за допомогою блоку комутації і вимірювань (БКВ). В результаті обробки даних, отриманих з БКВ, і сигналів, що надійшли з блоку пам'яті (БП), (допуску, запам'ятовані значення діагностичних ознак) в блоці обробки (БО) формується діагноз, який фіксується в блоці реєстрації (БР) та блоці індикації (БІ). При тестовому діагностуванні необхідні тестові впливи  $T$  формуються у блоці генераторів тестів (БГТ). Алгоритм діагностування реалізується за допомогою команд управління  $g_i \in G$ , які виробляються в блоці управління (БУ). Для підвищення точності діагнозу вводиться режим самоконтролю,

який полягає в подачі на вхід відомого сигналу  $T_{СК}$ , за яким ТЗД видає попередньо визначений діагноз. Процесом діагностування керує ЛО, який з пульта оператора (ПО) вмикає і вимикає засоби діагностування, вибирає режим діагностування, забезпечує виконання самоконтролю ТЗД.

Ефективність діагностування ІС можна оцінити мірою підвищення ефективності технічної системи з врахуванням затрат і втрат на використання СД. Ефективність можна оцінити за абсолютною  $\Delta E(t) = \Phi_D(t) - \Phi(t)$  і відносною величинами, де  $\Phi(t)$ ,  $\Phi_D(t)$  – показники ефективності ІС без ТЗД і з використанням ТЗД відповідно.

В загальному випадку з врахуванням показників надійності  $K(t)$  ІС  $\Phi(t) = \Phi_0(t)K(t)$ . В якості  $\Phi_0(t)$  використовується показник, який визначає змістову сторону процесу функціонування ІС (продуктивність, якість і т.п.). Найбільш поширеним визначенням показника  $K(t) \in K(t) = (T_e - T_n)/T_e$ , який зв'язує заданий інтервал експлуатації обладнання  $T_e$  і час перебування його в неробочому стані  $T_n$ . Цей час визначається наступними складовими  $T_n = T_{н.р.} + T_{д.о.} + T_v + T_{р.о.}$  ( $T_{н.р.}$  – сумарний час непрацездатного стану ІС до використання;  $T_{д.о.}$  – сумарний час, витрачений на діагностування;  $T_v$  – сумарний час відновлення працездатного стану;  $T_{р.о.}$  – сумарний час регламентного обслуговування ІС).

Змістова значення показника  $K(t)$  визначають складові, які входять в  $T_n$ ;  
 – при  $T_n = T_{н.р.}$  показник  $K$  – ймовірність безвідмовної роботи ІС  $P(t)$  в інтервалі  $[0, T_e]$ ;  
 – при  $T_n = T_{н.р.} + T_v$  показник  $K$  – коефіцієнт готовності  $K_r$  ІС в інтервалі  $[0, T_e]$ ;  
 – при  $T_n = T_{н.р.} + T_{д.о.} + T_v$  показник  $K$  – показник готовності  $P_r$  в інтервалі  $[0, T_e]$ ;  
 – при  $T_n = T_{н.р.} + T_{д.о.} + T_v + T_{р.о.}$  показник  $K$  – коефіцієнт технічного виконання  $K_{т.в.}$  в інтервалі  $[0, T_e]$ .

Вибір того чи іншого змістового значення  $K$  здійснюється на основі аналізу умов експлуатації системи управління.

*Метрологічні показники* характеризують точність ТЗД, яка в найбільшій степені впливає на інструментальну достовірність. Точність можна визначити мірою точності:

$$\xi = \frac{1}{\sigma(\Delta)\sqrt{2\pi}}, \quad (11.1)$$

де  $\sigma(\Delta)$  – середньоквадратична похибка.

*Масогабаритні показники* ТЗД можна охарактеризувати величиною компактності:

$$W = G/V, \quad (11.2)$$



де  $G$  – маса ТЗД;  $V$  – об’єм, який займає ТЗД.

### *Характеристика людини оператора.*

Третім елементом в системі діагностування є людина-оператор. На рис.11.2 приведена схема, що характеризує ЛО. З рисунка видно, що для людини-оператора характерно наявність приймальних пристроїв ПП (органів сприйняття інформації), вирішуючої системи ВС і вихідних пристроїв ВП.

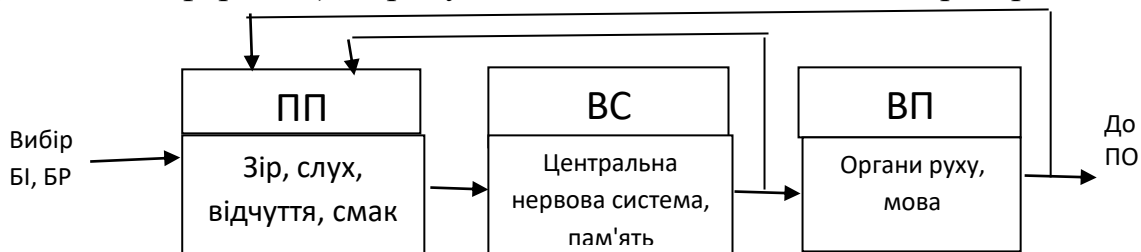


Рис.11.2 Схема, що характеризує діяльність ЛО.

Основними засобами сприйняття інформації у ЛО є зір та слух. Через зоровий канал людина сприймає 80 відсотків всієї інформації. Число точкових предметів, яке може бути одночасно сприйнято, не більше ніж 7. Пропускна здатність зорового тракту складає 20...70 біт/с.

Через слуховий канал – 15 відсотків інформації. Для практичної діяльності достатньо 75 відсотків розбірливої мови, що має місце при підвищенні гучності голосу над рівнем шуму більше ніж в 6 раз.

Основною характеристикою вирішуючої системи ЛО є надійність. Надійність людини-оператора визначається, як його властивість зберігати якість роботи не нижче допустимого рівня при заданих умовах трудової діяльності. Кількісними показниками надійності є:

- ймовірність безпомилково-безвідмовного виконання заданого способу функціонування при умові, що враховується можливість виникнення як помилок, так і стійких відмов, але відсутнє їх відновлення;
- ймовірність правильного виконання способу функціонування при умові, що враховується як можливість виникнення помилок і стійких відмов, так і можливість їх відновлення;
- ймовірність правильного виконання способу функціонування при умові, що враховується як можливість виникнення помилок і стійких відмов, так і можливість їх відновлення з обмеженнями на час усунення помилок і відмов.

## Лекція 12 Тестове діагностування вузлів, блоків і пристроїв ІС

Контроль стану окремих вузлів і блоків здійснюють на стадії виробництва і експлуатації ІС з допомогою спеціального обладнання, яке не входить в склад основного обладнання ІС. Автоматизація перевірок дозволяє підвищити вірогідність і продуктивність операцій контролю.

При контролі стану окремих схем і елементів виділяють три типи тестування:

*статичне* – частота зміни тестових наборів на вході пристрою, що перевіряється і частота знімання реакцій значно нижча, ніж при роботі пристрою в реальних умовах;

*динамічне* – вхідні набори подаються, а вихідні реакції аналізуються на частотах, максимальних для даного пристрою;

*параметричне* – перевіряються динамічні параметри і прогноуються зміни рівня напруги і струму, затримок та інших параметрів.

Для тестового діагностування вузла і блоку необхідно виконати наступні операції: підготувати тестові впливи і еталонні реакції, перенести їх на носії інформації; сформувані і подати тестові впливи на об'єкт діагностування (ОД) (етап стимуляції), зняти і зареєструвати вихідні реакції та провести їх оцінку шляхом порівняння з еталонними (етап аналізу). Вихідні дії і еталонні реакції можуть формуватися до перевірки і в її процесі (тобто в режимі реального часу).

Подача впливу і зняття реакцій може здійснюватись в різних точках: через роз'єми плат, через роз'єм мікропроцесора, у всіх точках пристрою, що діагностується.

Кожна із діагностичних операцій може виконуватися з використанням різних методів та засобів, що і визначає основні функціональні схеми організації тестового діагностування. За методами стимуляції і отримання оцінки реакції пристрою, що діагностується, виділяють наступні типи тестування.

**Тестування за програмою, що зберігається.** Функціональна схема організації (рис.12.1а) включає генератор тестів ГТ, що містить набір статичних тестів, підготовлений завчасно вручну або автоматично, ОД і аналізатора А, що працює за принципом порівняння вихідної реакції з еталонною, отриманою також завчасно спеціальними засобами підготовки тестів.

**Імовірнісне тестування.** Функціональна схема організації (рис.12.1, б) має на вході ОД генератор псевдовипадкових впливів ГПВ, який реалізований на регістрі зсуву із зворотними зв'язками РГЗ. Аналізатор

обробляє вихідні реакції за визначеними правилами (визначає математичне очікування числа сигналів) і порівнює отримані значення з еталонними. Еталонні значення розраховуються завчасно або отримують на попередньо відлагодженому і перевіреному, такому ж самому пристрої.

**Компактне тестування** (порівняння з еталоном) полягає в тому, що спосіб стимуляції може бути будь-яким (ГПВ, програмний), а еталонні реакції формуються в процесі тестування за допомогою дублюючого пристрою (еталону). Аналізатор А здійснює порівняння вихідної та еталонної реакцій (рис.12.1, в).

**При сигнатурному тестуванні** вихідні реакції ОД, що отримують за фіксований інтервал часу, обробляється на реєстрі зсуву із зворотними зв'язками – сигнатурному аналізаторі СА – і перекодовуються (стискаються) в короткі коди (сигнатури). Отримані сигнатури порівнюються з еталонними, які отримують розрахунковим шляхом або на заздалегідь відлагодженому пристрої. Стимуляція здійснюється за допомогою ГПВ, або звичайними програмними методами, але лишень у фіксованому інтервалі часу, що співпадає з часом аналізу (рис.12.1, г).

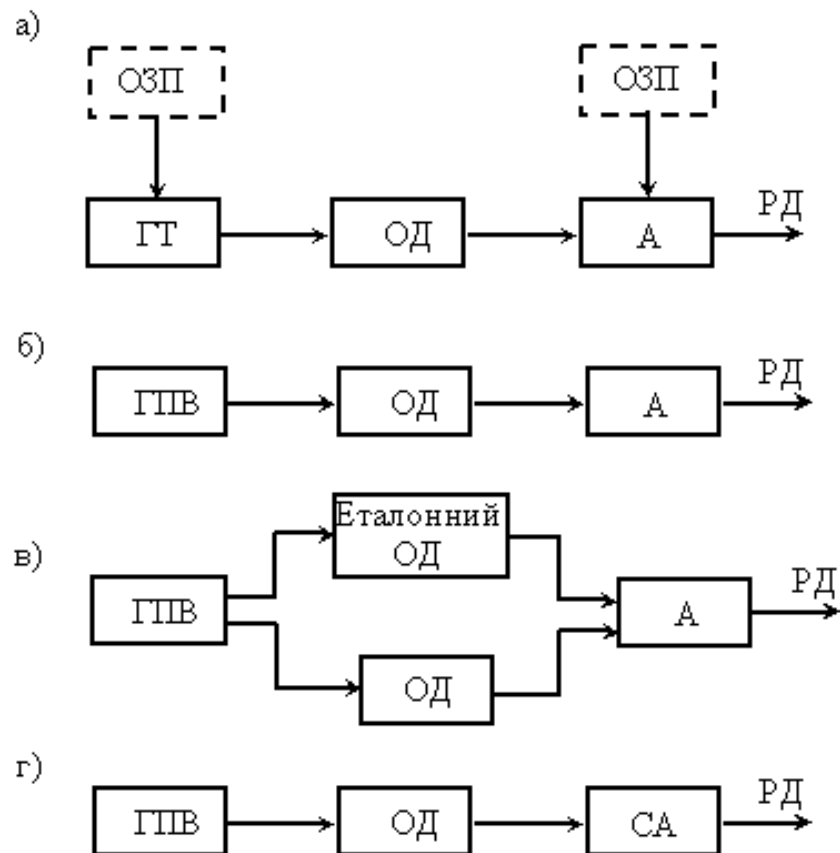


Рис.12.1 Основні функціональні схеми організації тестового діагностування.

**Синдромне тестування** (метод підрахунку кількості переключень). Функціональна схема вміщує ГТ, який генерує  $2^n$  наборів на вхід схеми, а на виході є лічильник, який здійснює підрахунок кількості одиниць на виході схеми. Якщо кількість одиниць не рівна еталонному значенню, то схема вважається дефектною.

**Кільцеве тестування** схема (рис.12.2) містить універсальний регістр, який може бути перетворений шляхом подачі управляючих сигналів в сигнатурний аналізатор СА, або генератор псевдовипадкових впливів ГПВ, які по чергово підключаються до ОД через мультиплексор МХ. На відміну від звичайного СА, цей регістр утворює сигнатури одразу від всіх вихідних сигналів.

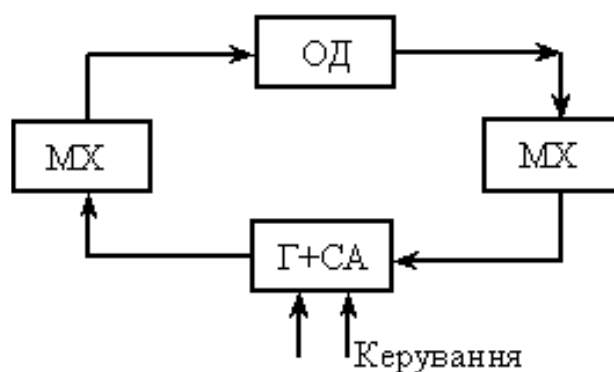


Рис.12.2 Кільцеве тестування.

**Поелементне тестування** передбачає здійснення контакту з усіма виводами одної (або всіх розміщених на платі) інтегральної схеми, що входить до складу пристрою, який перевіряється. При цьому правильність функціонування кожної інтегральної схеми визначається індивідуально (інтегральна схема, яка діагностується, “ізолюється” від решти пристроїв). Контакт може здійснюватись як зі всіма елементами пристрою, що перевіряється, так і з індивідуальним під’єднанням до кожної мікросхеми.

**Внутрішньосхемна емуляція** припускає, що стимуляція схем, які перевіряються, і аналіз їх реакцій здійснюється через роз’єм пристрою, що діагностується. Мікропроцесор при цьому вилучається і має діагностуватись окремо.

Кожна із перерахованих організацій тестування володіє різними вимогами по відношенню до підготовки даних для процесу тестування і обробки його результатів.

**Тестування зі збереженою програмою** для сучасних пристроїв вимагає попередньої обки отриманих реакцій. Воно володіє гарантованою вірогідністю визначення дефектів заданого класу.

У відповідності з можливістю розв'язку задач пошуку і локалізації дефектів можна виділити словникові і зондові організації пошуку дефектів. *Словникова організація*, як правило передбачає автоматичний режим діагностування. В найпростішому випадку зміст словесного пошуку полягає в наступному. Визначається реакція пристрою на вибраний набір тестових сигналів. При проведенні іспитів тими ж тестами реального пристрою реакція порівнюється з отриманою інформацією і за співпаданням виконується ідентифікація дефектів. В безпосередньому виді такий підхід використовується рідко, в основному в ЕОМ, оскільки зберігання повних вихідних векторів потребує значного об'єму пам'яті (кількість дефектів і тестів досить велика). Для скорочення об'єму словників використовуються методи стиснення двійкової інформації.

*Зондова організація* пошуку (одно- і багатоконтактна) передбачає напівавтоматичний діалоговий режим перевірки з участю інженера-оператора. Задача регулювальника полягає в підключенні щупа до мікросхем, черга підключення задається автоматично. Пошук дефекту здійснюється в статичному режимі. При підключенні щупа до чергової мікросхеми аналізується відповідність її вихідних реакцій еталонним: якщо мікросхема придатна, визначаються зв'язані з нею мікросхеми, з яких поступає сигнал, що відрізняється від потрібного.

Для реалізації цього режиму в конкретній системі необхідно мати структурний опис схеми, бібліотеку логічних функцій різних типів мікросхем, вхідні і вихідні еталонні тестові сигнали і, крім цього, значення сигналів на всіх полюсах працездатної схеми при подачі даного вхідного набору. Цей спосіб діагностування використовується як для всього блоку, так і для окремих елементів. Тому розрізняють поелементний і поблочний контроль. Поелементний контроль вимагає спеціального пристрою – багатоконтактного щупа.

Недолік зондової організації діагностування полягає в необхідності забезпечення доброго контакту в місці з'єднання зонда і елемента, що діагностується.

В зв'язку з цим для сучасної апаратури, що проектується на основі мікропроцесорів, перспективним є використання безконтактних зондів. В якості такого зонда можна використовувати прилад, що випускається серійно. Використання цього приладу за визначеною методикою в сполученні з логічним аналізатором дозволяє значно збільшити ефективність процесу тестування і відлагодження складних пристроїв на завершальних стадіях.

Підготовка тестів (визначення набору вхідних впливів і вихідних реакцій) для пристрою, що діагностується здійснюється фізичним або математичним моделюванням до проведення тестування. В першому випадку у фізичну модель (копію пристрою, що тестується) вносяться дефекти і визначають вхідні впливи, які їх виявляють. В другому випадку складається машинна модель пристрою і шляхом її аналізу визначають тести. В зв'язку із складністю сучасних пристроїв найбільш широке розповсюдження отримав другий спосіб.

При реалізації програмного тестування використовують умовні і безумовні алгоритми діагностування і відповідні їм словникові і зондові методи пошуку дефектів.

*Словникові методи* застосовують переважно в автоматичному режимі. Застосування словників викликано тим, що значний об'єм результатів програмного тестування робить їх непридатними для персоналу, особливо коли необхідно за заданим симптомом визначити конкретний дефект. Це визиває необхідність розробки спеціальних методів стиснення інформації з тим, щоб можна було отримати документацію, зручну для ремонтників, яку називають переважно словником. Основною вимогою, яка пред'являється до словників є компактність представлення.

Найбільш простий і неекономічний тип словника – точної відповідності, який містить перегруповані дані моделювання пристрою, що досліджується на типових впливах в присутності дефектів. Застосовують циклічні коди для більш економної упаковки даних моделювання і складають фазові мікропрограмні словники.

Сутність першого методу упаковки полягає в тому, що ознака дефекту у вигляді багаторозрядного двійкового коду, перекодується в більш компактні малорозрядні ознаки за допомогою алгоритмів кодування, які використовують для утворення циклічних кодів.

Другий метод полягає в тому, що дані моделювання впорядковуються по фазах проходження мікропрограм.

Складання словника дефектів є підсумком всієї роботи по складанню тесту цифрової схеми. На практиці ці словники мають різні види і форми: від детальних описів об'ємів в сотні сторінок до коротких таблиць, які вміщують всього дві колонки, в одній з яких поміщаються у визначеній послідовності вхідні слова, в другій – асоційовані з ними дефекти. При фактичному пошуку дефектів за допомогою тестової системи, ЕОМ видає користувачу лишень номер перевірки, іноді – вхідне слово, що використовується в цій перевірці. За словником дефектів локалізують дефекти в схемі.

Складність сучасних електронних приладів настільки висока, що ручні методи використовуються досить рідко, а застосовують, в основному, автоматизовані методи складання тестів і словників.

**Метод ймовірнісного тестування** заснований на тому, що будь-який цифровий пристрій, при подачі на його входи випадкових послідовностей сигналів, виконує цілком визначене, жорстко пов'язане з його структурою перетворення розподілу ймовірностей цих сигналів. Відповідність вказаного перетворення еталонному може при визначених умовах служити свідомством правильності функціонування пристрою. В зв'язку з тим, що зняття повної картини ймовірнісного перетворення, який здійснюється цифровим пристроєм, складне, пристрій вважається дефектним в тому випадку, коли гіпотеза про відповідність параметрів випадкових сигналів на його виходах деяким еталонним значенням статистично підтверджується. Тому розрахунок даних для контролю заданої схеми зводиться до визначення границі області прийняття вище вказаних гіпотез і довжини вибірки значення сигналу на виході схеми, яка забезпечила би перевірці гіпотез заданий рівень статистичної вірогідності.

Переважно параметром розподілу вихідних сигналів, стосовно якого будується гіпотеза, є математичним очікуванням, а вхідні сигнали схеми, яка діагностується, генеруються дослідною установкою і розподілені за біноміальним законом та незалежні між собою. При цих припущеннях для будь-якого списку дефектів логічної схеми може бути знайдений такий вектор ймовірностей вхідних сигналів, що будь-які два дефекти цього списку (включаючи нульовий дефект, що відповідає працездатній схемі) породжують на виході схеми сигнали з різними математичними очікуваннями і, відповідно, розрізняються статистичним методом.

Будь-яка характеристика процесу контролю, зокрема, довжина діагностуючого експерименту, може бути виражена як деяка нелінійна функція від математичного очікування вхідних сигналів схеми. Задача оптимальна за цим критерієм організації процесу контролю, може розглядатися як задача нелінійного програмування.

Перспективність ймовірнісного методу діагностування для практичного використання обумовлена, в основному, наступними двома обставинами. По-перше, для нього спрощуються попередній синтез текстової послідовності. По-друге, метод дозволяє при невеликих апаратних затратах забезпечити динамічний режим роботи схеми при діагностуванні, а також дає можливість за рахунок високої частоти апаратного генерування вхідної діагностичної послідовності подати на схему значне число перевіряючих наборів, що також підвищує повноту виявлення дефектів. Недоліком методу є орієнтація, в

основному, на комбінаційні пристрої і складність та трудомісткість при перевірці пристроїв із пам'яттю, відсутність гарантованих оцінок вірогідності (повноти) контролю.

На практиці випадкові або псевдовипадкові діагностичні сигнали використовуються в поєднанні з сигналами, які задаються детермінованим способом.

**Метод логічного аналізу** знаходить широке використання для налагодження і пошуку дефектів як в апаратурі, так і в програмному забезпеченні.

Цей метод є в якійсь мірі аналогом, що раніше використовувався в практиці обслуговування ЕОМ методу вимірювання з допомогою осцилографа. Його поява обумовлена тим, що для налагодження сучасних цифрових систем часто необхідно бачити одночасну послідовність сигналів по декількох каналах, спостерігати за подіями, які випереджають подію, що нас цікавить. Останнє неможливо реалізувати при використанні аналогових контрольних- вимірювальних приладів. Метод є спеціальним методом цифрових вимірювань, який дозволяє інженеру “заглянути в минуле” і одночасно спостерігати сигнали по деяких каналах.

Метод представлений в розпорядження інженерів технічними засобами – логічними аналізаторами, які дозволяють проводити вимірювання і запам'ятовувати стан пристрою. Їх використання зменшує час налагодження приблизно на 20%.

**Метод сигнатурного аналізу.** Послідовність двійкових сигналів, що спостерігається на виході пристрою, який діагностується (або на його внутрішніх точках), за деякий достатньо великий інтервал часу, перетворюється в короткі, наприклад, чотирьохзначні коди – сигнатури. Отримані значення сигнатур порівнюються з еталонними значеннями, раніше обрахованими для окремих точок пристрою.

Метод сигнатурного аналізу дозволяє поширювати на дискретні пристрої переваги, властиві методам діагностування аналогових пристроїв. Справа в тому, що в аналоговій схемі можна чітко вказати еталонні значення напруги і осцилограми основних сигналів. Порівнюючи реальні значення напруги і осцилограм з еталонними, можна легко визначити точку, де схема починає не правильно працювати.

В дискретних пристроях всі сигнали переважно виглядають однаково, і в схемі документації звичайно, не міститься інформації, необхідної для полегшення процесу пошуку. Засоби сигнатурного аналізу дозволяють отримати таку інформацію для кожної точки дискретного пристрою. Їх



можна використовувати в якості сервісного обладнання при експлуатації ЕОМ і в процесі виробництва.

В пристроях, де реалізується метод сигнатурного аналізу, обрахунки еталонних сигналів проводяться з використанням заздалегідь справного еталонного пристрою.

В якості вхідної дії для утворення сигнатур можна використовувати генератори псевдовипадкових чисел і т.д.

При неспівпаданні еталонної і реальної сигнатур для локалізації дефектів виконується процедура, при якій послідовно, починаючи від місця неспівпадання, прослідковуються по схемі елементи до тих пір, поки не вдасться знайти елемент з правильними вхідними, але помилково вихідними сигналами.

**Метод поелементного діагностування** полягає в проведенні послідовності перевірок кожного компонента або фрагмента схеми, друкованих вузлів із врахуванням забезпечення умов виключення взаємного впливу електрорадіоелементів (ЕРЕ) і неущкоджуючого характеру тестових впливів. Метод застосовують при серійному виготовленні блоків ЕОМ з використанням ЕРЕ (наприклад блоки живлення). Метод поелементного діагностування не заміняє, але суттєво доповнює метод звичайного тестування вузлів РЕА. Якщо застосувати його і системи тестування в одному технологічному процесі виготовлення РЕА, то вони, доповнюючи один одного, дозволяють збільшити випуск і кількість продукції, зекономити капітальні вкладення і трудові затрати.

Основною відмінною ознакою структури системи поелементного діагностування (СПД) є наявність спеціального голчатого контактного пристрою (ГКП), призначеного для подачі поелементних тестових впливів і зняття відповідних реакцій.

Об'єктом поелементного діагностування є аналогові, цифрові і гібридні друковані вузли (ДВ) РЕА. Як правило, СПД виявляють наступні види дефектів в ДП: короткі замикання, обриви, неправильно орієнтовані ЕРЕ, вихід параметра ЕРЕ за допустимі межі, монтаж ЕРЕ іншого типу, неправильне функціонування елемента або фрагмента схеми. Системи, в яких передбачена можливість тестування як окремих ЕРЕ, так і фрагментів ДВ, називають також системами *покомпонентного діагностування*.

Діагностування ОД здійснюється в наступній послідовності (з метою забезпечення неущкоджуючого характеру перевірок і швидшого виявлення і усунення виробничих дефектів): контроль цілісності провідників, виявлення хибних з'єднань, перевірка орієнтації ЕРЕ, контроль вибраних параметрів

ERE на мікрорежимах, тестова перевірка ERE підсхем при номінальній напрузі живлення, функціональні випробування вузла в цілому.

**Метод внутрішньосхемної емуляції** орієнтований на використання в процесі відлагодження і пошуку дефектів в мікропроцесорних системах (МПС) і являється досить ефективним засобом. Передбачає емуляцію (підміну) деякого вибраного вузла (елемента) МПС однотипним вузлом (елементом), який є в складі внутрішньосхемного емулятора (ВСЕ). При цьому функції і режим роботи МПС зберігаються майже такими самими, як в реальному застосуванні, забезпечується програмно-управляючий доступ до схем МПС для задання різних відлагоджуваних і діагностичних режимів роботи, внесення зміни, оцінки стану.

Одним з найбільш розповсюджених способів є емуляція мікропроцесора. В пристрій замість основного мікропроцесора вставляють роз'єм спеціального кабелю. Інший кінець цього кабелю через комутуючий пристрій зв'язують з інструментальним мікропроцесором. Головне призначення комутуючих схем – по чергове переключення інструментального мікропроцесора з режиму цільової роботи в режим відлагоджувачої роботи і навпаки.

Важливою функцією ВСЕ є емуляція (підміна) виконуючої пам'яті, виконаної у вигляді постійної пам'яті (ПЗП або ППЗП), оперативною пам'яттю (ОЗП). При цьому можна емулювати як всю пам'ять, так і окремі ділянки під управлінням спеціального програмно-доступного регістра.

Деякі ВСЕ мають можливість емуляції системного інтерфейсу. Багато ВСЕ включають в свій склад так звану пам'ять “траси”, призначену для фіксації в реальному часі станів шин мікропроцесора і додаткових вузлів МПС.

**Технічні засоби.** Технічні засоби для діагностування блоків в ЕОМ поділяються на групи.

До першої групи відносяться складні програмні автоматичні системи на базі ЕОМ, які мають можливість накопичення перевіряючих програм в пам'яті ЕОМ і проведення серії перевірок без втручання оператора. При цьому не виключається і діалоговий режим роботи системи. Системи є універсальними. Основний недолік систем – висока вартість, обумовлена застосуванням дорогого обчислювального комплексу і великими затратами на створення програмного забезпечення. Тому вони використовуються, як правило, в якості технологічного обладнання, оскільки їх застосування для перевірки ЕОМ, що знаходяться в експлуатації, є невигідним. Прикладом таких систем являються вітчизняні: КОДИАК, АСКИД, ТЕСТ 7901, УТК-21,

АСПД – і закордонні: МБ 7770, МВ 7760, МВ 7720 фірми “Мембрейн Лімітед”, 200, НР 3060А, ДТ 70 фірми “Хевлетт Пакард” та ін.

До другої групи відносяться автоматичні тестери з елементами програмування. Вони мають, як правило, вид стендів, що виконують управляючу програму, яка зчитується з магнітного носія інформації. Прикладом таких установок є УТК-2, УТК-2М, УТК-3, УТК-5, стенд ЕС А117.

До третьої групи відносять ручні тестери, недоліком яких є низька продуктивність і невисока вірогідність перевірок, обумовлена можливими помилками людини-оператора (неправильна установка тесту, пропуск тесту, неправильний відлік результату). Ці недоліки особливо проявляються при локалізації дефектів в блоках ЕОМ.

Такі тестери використовують як технологічне і сервісне обладнання ЕОМ. Однією з різновидностей таких тестерів є логічні аналізатори. Аналізатори, що застосовуються для мікропроцесорних систем, називають мікропроцесорними. До цієї групи можна умовно віднести сигнатурні аналізатори.

Автоматичні тестові системи складаються із ЕОМ з великим об'ємом внутрішньої і зовнішньої пам'яті, інтерфейсу для зв'язку з платою, що діагностується (наприклад, через краєві роз'єми, блок внутрішньосхемної емуляції, спеціальне контактне пристосування у вигляді матриці із підпружинених голкових штирів, що забезпечують доступ до всіх контактів плати, яка діагностується і ін.); пристрої для визначення місця дефекту (сигнатурного аналізатора, приладу для визначення напрямку струму), модульного спеціалізованого математичного забезпечення.

Однією з різновидностей таких систем є внутрішньосхемні емулятори, які широко застосовують для мікропроцесорних систем. Внутрішньосхемні емулятори – це мікропроцесорні комплекси, в склад яких входять пристрої зовнішньої (гнучкі диски) і внутрішньої пам'яті, блок внутрішньосхемної емуляції, засоби відображення (дисплей, друкуючий пристрій), потужне програмне забезпечення.

Системи діагностування вузлів і блоків ЕОМ, повинні відповідати наступним вимогам: наявність автоматизованої підготовки вихідних даних (тестів, тестпрограм), можливість використання уніфікованого програмного забезпечення, адаптованість вхідних і вихідних пристроїв, висока продуктивність, низька вартість, простота в управлінні і обслуговуванні, можливість застосування для нових типів пристроїв, що діагностуються.

**Структури автоматизованих систем.** Типовий варіант контролю статичних параметрів можна представити структурною схемою (рис.12.3,а). В склад системи ЕОМ із стандартним пристроями вводу-виводу ПВВ входять

наступні блоки: джерело живлення об'єкту діагностування ДЖ, генератор вхідних впливів ГВВ, блок навантаження БН, цифровий вольтметр ЦВ, цифровий амперметр ЦА і матричний комутатор МК. Всі вказані блоки і прилади зв'язані магістральною лінією через інтерфейс Інт з ЕОМ, по якій передається інформація із ЕОМ до об'єкту діагностування ОД і здійснюється ввід інформації в ЕОМ. Для функціонування системи достатньо вводити інформацію в ЕОМ лише з вимірювальних приладів, однак для забезпечення, самоконтролю системи і окремих її блоків необхідний двосторонній зв'язок всіх блоків з ЕОМ. Дозвіл звернення до блоків системи при обміні інформацією з ЕОМ поступає по адресній шині. Код адреса може передаватися по магістральній лінії зв'язку і тоді дешифрація його здійснюється безпосередньо самим блоком, або по радіальній лінії зв'язку, і в цьому випадку функції дешифрації покладаються на інтерфейс.

Типовий варіант схеми автоматичної системи тестового контролю (рис.12.3,б) відрізняється від системи параметричного контролю відсутністю в ній вимірювальних приладів і додатковим введенням блоків, що забезпечують формування вхідних впливів імпульсного і потенціального типів. До цих блоків відноситься формувач тестових наборів і еталонних реакцій ФТР формувач рівнів логічних сигналів ФР. Для фіксації станів виходів ОД в задані моменти часу використовується аналізатор рівнів логічних сигналів АС, який стробується імпульсами, що виробляються формувачем ФПП. Наявність ФПП потрібна також для забезпечення контролю функціонування ОД, так як при цьому на входах і виходах ОД необхідно узгодити визначену часову діаграму моментів подачі вхідних впливів і фіксацій в АС вихідних логічних сигналів.

Важливою характеристикою системи тестового контролю є число інформаційних виводів в системі, т.б. кількість каналів для підключення до системи ОД. При цьому мається на увазі, що кожний інформаційний вивід ОД може бути як його входом, так і виходом, до якого має підключатися АС. Відповідно, всі інформаційні канали системи мають бути ідентичні за виконуваними функціями і кількість їх в системі має однозначно відповідати кількості інформаційних виводів ОД. Такий підхід до організації системи тестового діагностування дає можливість оперативно розширяти кількість інформаційних каналів системи. Функції перемикача вхід-вихід виконує комутатор.

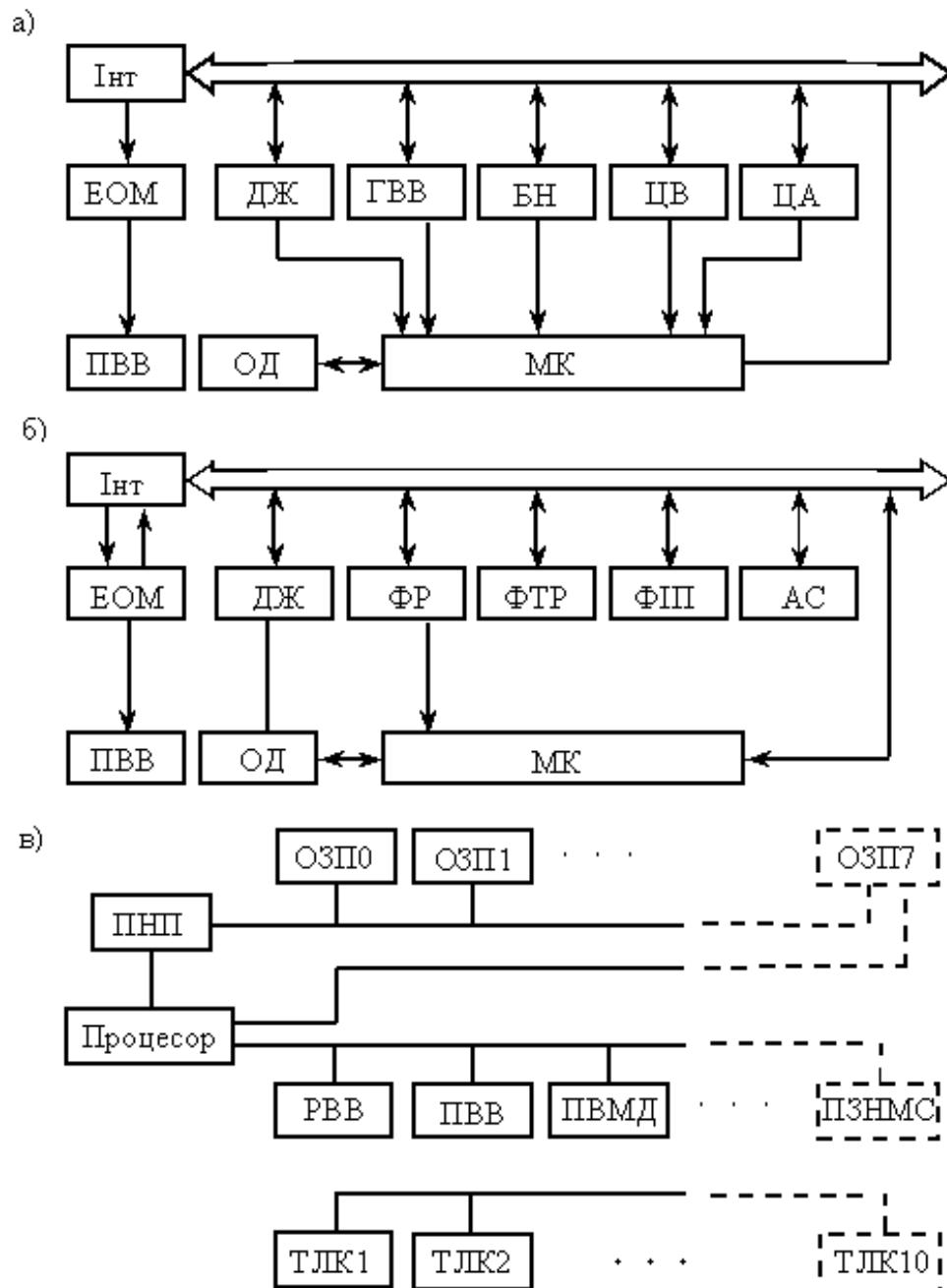


Рис.12.3 Структурні схеми автоматизованих систем тестового контролю.

Найбільш суттєва особливість системи діагностування на робочих частотах – необхідність проведення операцій контролю при визначених значеннях частот формування вхідних впливів і зчитування інформації з виходів ОД. При цьому частота контролю, як правило, перевищує максимальну частоту обміну інформацією ЕОМ. Ця обставина суттєво впливає на розподіл функцій, що покладаються на апаратні блоки систем і їх програмне забезпечення. В першу чергу це стосується функцій оперативного

управління і обробки інформації, які в системах тестового контролю (рис. 3,б) повністю покладаються на програмне забезпечення.

Для проведення операцій контролю необхідно на інформаційні виходи ОД подавати тестові набори із заданою частотою у визначеній послідовності. Для цього використовуються два варіанта апаратної реалізації блоків формування і генерування вхідних тестових наборів (вибір того, або іншого варіанта реалізації блоків залежить, в основному, від призначення систем).

Перший варіант передбачає використання буферного запам'ятовуючого пристрою (БЗП). Другий варіант апаратної реалізації пристрою формування тестових наборів менш універсальний, але дозволяє значно спростити апаратну частину систем за рахунок виключення блоків пам'яті (БЗП). Цей варіант широко застосовується при реалізації автоматичних систем, орієнтованих на контроль обмеженого класу ОД, ідентичних за функціонуванням. Прикладами таких ОД можна назвати ОЗП, реєстри, лічильники і т. д. В таких системах блоки формування одночасно виконують функції генерування контрольних або діагностичних тестів за заданими алгоритмами, а в задачі ЕОМ входить лише управління цими блоками.

Існують однопостові і багатопостові системи. Варіант багатопостової системи показаний на рис. 3,в, де ТЛК – термінал логічного контролю; РВВ – розширювач вводу-виводу; ПВД – пристрій вводу з магнітного диска; ПНП – пристрій нарощування пам'яті; ПЗП – пристрій зовнішньої пам'яті.

### ***Програмне забезпечення процесів діагностування.***

Ефективність реалізації процесів діагностування багато в чому визначається не лише складом і характеристиками апаратних засобів, що застосовуються, але й програмними засобами. Програмне забезпечення процесів діагностування містить системи автоматичного синтезу тестів, мови програмування і відповідні транслятори, операційну систему.

Програмне забезпечення може бути універсальним і спеціалізованим. Універсальні програмні засоби використовують, як правило, для організації роботи вбудованих апаратних засобів діагностування. Їх можна застосовувати для зовнішніх систем діагностування. Спеціалізовані програмні засоби дозволяють часто більш ефективно вирішувати окремі задачі діагностування, раціонально використовувати як універсальні, так і спеціалізовані засоби, зкомпоновані для виконання єдиної мети організації процесів діагностування.

Відомі системи підготовки тестів (“ФЛЕШ”); мова високого рівня (“МЕПС”) для спрощення і скорочення етапу підготовки тестових програм;

“Мемтест-IV” – мова тестування, призначена для цифрових і аналогових процедур перевірки.

Операційна система забезпечує роботу цифрового зонда, який дозволяє швидко визначити місцезнаходження дефекту (“Предикт енд Трек”), і аналогового зонда (“Аналіст”).

Тести, які отримані системою автоматизованого синтезу, необхідно помістити в запам’ятовуючий пристрій і, крім того, необхідно організувати процес їх подачі на ОД. За цією метою складають спеціальні програми. При складанні програм використовують машинно-орієнтовані мови програмування (автокоди, асемблери), різні розширення стосовно до задач діагностування розповсюджених мов: спеціалізовані проблемно-орієнтовані (на опис процесів діагностування) мови програмування та ін.

До них висуваються наступні основні вимоги. По-перше, мова програмування має забезпечувати отримання швидкодіючих програм і адаптацію до змінного складу обладнання при відносно малих затратах пам’яті ЕОМ. По-друге, бажано, щоб мова була достатньо проста і зручна в реалізації та забезпечувала діалогові режими роботи.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Заміховський Л.М., Калявін В.П. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем: Навчальний посібник.– Івано-Франківськ: Вид-во “Полум’я”, 2009.– 360 с.
2. Заміховський Л.М. Конспект лекцій з дисципліни “Основи надійності та технічної діагностики систем”. Комп’ютерний набір. – Івано-Франківськ, 2007. 70 с.
3. Ястребенецкий М.А., Иванова Г.М. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами: Учеб.пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 2010.– 264 с.
4. Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков О.В. Основы теории надежности автоматических систем управления. Учеб. пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 2011. – 208 с.
5. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах. Учеб. пособие для студентов радиотехнических специальностей вузов. Под ред. Г.В. Дружинина. - М., Энергия, 2006. – 448 с.
6. Чжен Г., Мэниинг Е., Метц Г. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем. М.: Мир. 2002. 232с.