

### 1.3. Методи визначення діагностичних тестів та побудування алгоритмів діагностування

#### 1.3.1. Формування таблиці покриттів та її властивості

За вихідний модуль побудування діагностичних тестів (ДТ) та алгоритмів діагностування (АД) може бути використана таблиця несправностей або таблиця покриттів (ТП).

*Таблиця покриттів* – це таблиця, отримана на підставі таблиці несправностей, стовпцям якої відповідають елементарні перевірки із множини перевірок  $P_j$ , а рядки – елементи множини  $U_e$ , що складається з пар розрізняюваних станів  $S_i, S_k$ . Таблиця покриттів формується так. На перехрещенні стовпця  $P_j$  та рядка  $U_e$  ставиться значення двійкової змінної  $A_{j,e}$  за умови, що:  $A_{j,e} = \langle 1 \rangle$ , якщо результат ТН –  $r_{i,j} \neq r_{k,j}$ ;  $A_{j,e} = \langle 0 \rangle$  при  $r_{i,j} = r_{k,j}$ . Як правило, значення  $\langle 0 \rangle$  в таблиці покриттів не проставляють.

Для прикладу розглянемо ТП (табл. 1.3.1), сформовану на основі МС (табл. 1.2.1). При формуванні ТП у даному випадку передбачається, що діагностиці підлягають тільки несправні ОД.

Таблиця 1.3.1

Таблиця покриттів

$U_e$	$S_i, S_k$	$P_j$						П.П
		П1	П2	П3	П4	П5	П6	
$U_1$	$S_1, S_2$	1			1	1	1	3
$U_2$	$S_1, S_3$	1	1		1	1	1	3
$U_3$	$S_1, S_4$	1						1
$U_4$	$S_1, S_5$	1	1		1			4
$U_5$	$S_1, S_6$	1	1	1	1	1		2
$U_6$	$S_2, S_3$		1					1
$U_7$	$S_2, S_4$				1	1	1	3
$U_8$	$S_2, S_5$		1			1	1	3
$U_9$	$S_2, S_6$		1	1			1	5
$U_{10}$	$S_3, S_4$		1		1	1	1	3
$U_{11}$	$S_3, S_5$					1	1	
$U_{12}$	$S_3, S_6$			1			1	
$U_{13}$	$S_4, S_5$		1		1			
$U_{14}$	$S_4, S_6$		1	1	1	1		2
$U_{15}$	$S_5, S_6$			1		1		
$C_j$		2	1	4	3	6	5	

*Примітка:* П.П. в таблиці – послідовність перетворення.

Таблиця покриттів має такі властивості:

1. Якщо в ТП утворюється пустий рядок, то пара станів, що відповідає цьому рядку, не розрізняється на заданій множині перевірок.

2. Якщо в ТП утворюється пустий стовпець, то перевірка, що відповідає цьому стовпцю, не виявляє жодної несправності і цей стовпець можна виділити з таблиці.

Перелічені властивості ТП відповідають правилам скорочення ТН, що згадувалися раніше. Таблиця покриттів може інтерпретуватись аналітичним виразом, що називається функцією таблиці покриттів (ФТП).

*Функція таблиці покриттів* – це аналітичний вираз у вигляді логічного добутку, множники якого відповідають рядкам ТП та визначаються, в свою чергу, як суми перевірок, що містять «1» в рядках.

Для ТП (див. табл. 1.3.1) функція ТП має вигляд

$$f_{\text{ТП}} = (П1+П4+П5+П6) \cdot (П1+П2+П4+П5+П6) \cdot П1 \cdot (П1+П2+П4) \cdot (П2+П5+П6) \cdot (П1+П2+П3+П4+П5) \cdot П2 \cdot (П4+П5+П6) \cdot (П2+П3+П6) \cdot (П2+П4+П5+П6) \cdot (П5+П6) \cdot (П3+П6) \cdot (П2+П4) \cdot (П3+П5) \cdot (П2+П3+П4+П5).$$

Якщо звести формулу  $f_{\text{ТП}}$  до вигляду еквівалентної нормальної форми (логічна сума логічних добутків), то кожний доданок цього виразу – це кількість перевірок, що утворюють елементарний діагностичний тест.

Для зведення функції  $f_{\text{ТП}}$  до вигляду ЕНФ використовують теорему булевої алгебри, що відображають комутативний, асоціативний, дистрибутивний закони і закони поглинання, склеювання та інверсії. Тотожності, що витікають з цих законів, мають вигляд

$$X \cdot X = X, \quad X \cdot (X + Y) = X + X \cdot Y = X, \quad (X + Y) \cdot Z = X \cdot Z + Y \cdot Z, \\ X + Y \cdot (X + Z) = X + Y \cdot Z, \quad X \cdot Y + X \cdot \bar{Y} = X, \quad \overline{X \cdot Y} = \bar{X} + \bar{Y}. \quad (1.3)$$

Використовуючи наведені тотожності, вихідна функція  $f_{\text{ТП}}$  може бути надана у вигляді ЕНФ

$$f_{\text{ТП}} = \text{П1} \cdot \text{П2} \cdot \text{П3} \cdot \text{П4} \cdot \text{П5} + \text{П1} \cdot \text{П2} \cdot \text{П3} \cdot \text{П6} + \text{П1} \cdot \text{П2} \cdot \text{П5} \cdot \text{П6} + \text{П1} \cdot \text{П2} \cdot \text{П3} \cdot \text{П5} + \dots + \text{П1} \cdot \text{П2} \cdot \text{П4} \cdot \text{П5} \cdot \text{П6}.$$

В результаті перетворення МС у функцію  $f_{\text{ТП}}$  вигляду ЕНФ отримана сукупність тестів, які мають різну кількість елементарних перевірок  $n_{\text{п}}$ . Якщо ввести поняття «ціна перевірки», то можна розглядати вартість як критерій оцінки ДТ.

*Ціна перевірки* – сума витрат (часу, коштів, матеріалів, електроенергії) на виконання елементарних операцій, необхідних для реалізації перевірки (підключення, налаштування, вимірювання).

З переліку отриманих елементарних тестів можна виділити мінімальний та оптимальний ДТ.

*Мінімальний діагностичний тест* (МДТ) – тест, що має мінімальну кількість перевірок, необхідних для локалізації всіх раніше заданих технічних станів ОД.

*Оптимальний діагностичний тест* (ОДТ) – тест, мінімізований за заданим критерієм. Тест оптимізований за вартістю, має мінімальну сумарну вартість перевірок, що входять до його складу. Оптимізація за критерієм оперативності відокремить тест, загальні витрати часу на проведення перевірок якого будуть мінімальні.

Наприклад, призначимо вартості перевірок  $C_j$  в ТП (табл. 1.3.1). Тоді тестам, що отримані з функції  $f_{\text{ТП}}$ , можна присвоїти наступні атрибути:

П1,П2,П3,П4,П5 -  $\sum C_j=16$ ,  $n_{\text{п}}=5$  – елементарний тест

П1,П2,П3,П6 -  $\sum C_j=12$ ,  $n_{\text{п}}=4$  – ОДТ, МДТ

П1,П2,П5,П6 -  $\sum C_j=14$ ,  $n_{\text{п}}=4$  – МДТ

П1,П2,П3,П5 -  $\sum C_j=13$ ,  $n_{\text{п}}=4$  – МДТ

П1,П2,П4,П5,П6 -  $\sum C_j=17$ ,  $n_{\text{п}}=5$  – елементарний тест.

Згідно з наведеним переліком, другий тест задовольняє двом критеріям одночасно.

### 1.3.2. Визначення діагностичних тестів методом скороченого перебору

В разі великої кількості технічних станів складання тестів аналітичним способом (за функцією  $f_{\text{тп}}$ ) не завжди доцільно. В таких випадках для отримання МДТ та ОДТ використовують спеціальні спрощені методи (метод Яблонського-Мак-Класки, метод Сіднеєва, метод меж та границь). При розгляданні методу скороченого перебору (алгоритм Яблонського-Мак-Класки) використовується поняття порівнюваних двійкових масивів.

Порівнюваними масивами  $A$  та  $B$  називають послідовності значень двійкової змінної з однаковою кількістю позицій, для кожної з яких виконується однобічна умова  $A_i \geq B_i$  або  $A_i \leq B_i$ . Рівність всіх позицій масивів – це окремий випадок порівнюваних масивів.

Приклад:  $A_1(0,0,1,1) < B_1(0,1,1,1)$  – порівнювані масиви;

$A_2(1,0,0,1)$  та  $B_2(0,1,1,1)$  – не порівнювані масиви.

Сутність методу скороченого перебору полягає в послідовному застосуванні правил перетворення ТП до повного скорочення (поглинання) її рядків та стовпців.

Правила перетворення ТП:

1. Якщо ТП має пару порівнюваних рядків, то рядок з більшою кількістю «1» викреслюють.

2. Якщо ТП має пару порівнюваних стовпців, то стовпець з меншою кількістю «1» викреслюють.

3. Якщо ТП має рядок з  $Ue$ , що має одну «1» в стовпці  $P_j$ , то рядок  $Ue$  викреслюють, а перевірку  $P_j$  додають до ДТ.

4. Якщо в ТП утворюється порожній стовпець, то його викреслюють.

Для правил 1, 2 за наявності однакових рядків або стовпців (окремий випадок порівнювання) конкуруючі рядки (стовпці) скорочуються до одного. Використання правил перетворення ТП вибирається довільно. Після перетворень ТП можливі два варіанти:

1. Всі рядки та стовпці викреслені (ТП повністю скоротилась). В цьому разі перевірки, що записані у тест, утворюють МДТ.

2. Після перетворення отримана таблиця, що не піддається подальшому скороченню (циклічна ТП). В цьому разі шукають стовпець, який містить найбільшу кількість «1» (якщо є однакові, то ви-

бирають за додатковим критерієм). Перевірку  $P_j$  вибраного стовпця записують у тест, а з ТП видаляють всі рядки, що містять «1» в  $j$ -му стовпці.

Далі скорочують ТП за прийнятими правилами. В результаті використання методу скороченого перебору може бути отриманий мінімальний або близький до нього діагностичний тест. Для ТП (див. табл. 1.3.1) можлива послідовність операцій перетворення записується так:

1. Рядки  $U_3$ ,  $U_6$ , що мають по одній «1» викреслюють, а відповідні перевірки  $P_1$ ,  $P_2$  додають до ДТ (правило 3).

2. Рядок  $U_{15}$  поглинає рядки  $U_{14}$ ,  $U_5$  як порівнювані (правило 1).

3. Рядок  $U_{11}$  поглинає рядки  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_7$ ,  $U_8$ ,  $U_{10}$  як порівнювані (правило 1).

4. Рядок  $U_{13}$  поглинає рядок  $U_4$  (правило 1).

5. Рядок  $U_{12}$  поглинає рядок  $U_9$  (правило 1).

6. Стовпець  $P_1$  викреслюється як пустий (правило 4).

7. Стовпці перевірок  $P_2$ ,  $P_4$  однакові, як окремий випадок порівнювання, перевірку  $P_4$  скорочуємо (правило 2).

8. Рядок  $U_{13}$  містить одну «1» у перевірці  $P_2$ , рядок  $U_{13}$  викреслюється (правило 3), а перевірка  $P_2$  додається до тесту. За результатами скорочень отримана циклічна таблиця (табл. 1.3.2).

Таблиця 1.3.2

Циклічна таблиця

$U_e$	$P_j$			
	$P_3$	$P_5$	$P_6$	$P.P$
$U_{11}$		1	1	10
$U_{12}$	1		1	9
$U_{13}$	1	1		9

9. Викреслюємо стовпець з максимальною кількістю «1» (за критерієм мінімальної вартості з рівних вибираємо  $P_3$ ), додаємо перевірку  $P_3$  в ДТ, а з таблиці видаляємо відповідні рядки  $U_{12}$ ,  $U_{15}$  (правило розв'язання циклічної таблиці).

10. З порівнюваних перевірок П5, П6, що залишилися, додаємо до складу ДТ перевірку П6 з меншою вартістю, а перевірка П5 скорочується (правило 2).

Таким чином, в результаті перетворень ТП був одержаний МДТ – П1, П2, П3, П6. Такий же тест є одночасно і оптимальним, оскільки при виборі конкурентних рішень в процесі перетворень ТП використовувався критерій мінімізації вартості.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що для функціональної діагностичної моделі (рис. 1.2.2) з шести можливих перевірок на загальну вартість  $\sum C_j = 21$  у.о., достатньо виконати чотири перевірки в обсязі МДТ на загальну вартість 12 у.о.

### ***1.3.3. Визначення діагностичних тестів методом еквівалентної нормальної форми***

Алгоритм визначення діагностичних тестів для цифрових моделей за методом еквівалентної нормальної форми (ЕНФ) будують у такій послідовності.

1. Схему, що досліджується, (модель) представляють аналітичним логічним виразом у вигляді еквівалентної нормальної форми.

2. Задають несправність з переліку можливих у формі її прояву.

3. Визначають маршрут руху інформації по елементах моделі, на якому виникає дана несправність.

4. Знаходять змінну еквівалентної нормальної форми (вхідний параметр), функціональна прив'язка якої відповідає номерам елементів маршруту руху інформації.

5. Обраній змінній надають такого значення, при якому виявляється несправність в точці її виникнення.

6. Забезпечують умову сутності обраного маршруту. Для цього в одному з термів ЕНФ, в який входить вибрана змінна, співмножникам присвоюють значення «1», а інші терми довизначаються до «0» (хоча б одному співмножнику, що входить до терма, присвоюють значення «0»).

7. Визначають бінарні значення вихідної функції моделі для справного та несправного станів шляхом виконання логічних операцій в ЕНФ при заданих значеннях змінних (вихідних параметрів).

Пункти 2...7 наведеного алгоритму виконують для кожного стану моделі. В результаті отримують цифрові тести (стимули), що задаються на входах пристрою, який діагностується, та відповідні їм значення вихідних сигналів (реакцій) для справного та несправного станів. Отримана таким чином таблиця істинності розглядається як таблиця несправностей цифрового пристрою.

Апробуємо метод ЕНФ для діагностичної моделі, наведеної на рис. 1.2.5.

1. Вираз ЕНФ має вигляд (1.3) та містить 4 терми.
2. Задаємо несправність логічного елемента «НІ» з індексом «1». Несправність проявляється у вигляді сигналу  $Y1 = \langle 1 \rangle$ .
3. Маршрут руху інформації від входу  $X5$  до виходу  $Y7$  має послідовність позицій елементів 1, 3, 7 та 1, 4, 7. Вибираємо, наприклад, маршрут 1, 4, 7.
4. Згідно з (1.3) на маршруті 1, 4, 7 є змінна  $X5$  у другому термі.
5. Задаємо значення вибраної змінної  $X5 = 1$ , при якому проявляється несправність в точці її виникнення  $Y1 = 1$ .
6. Для того щоб забезпечити сутність маршруту, приймаємо значення змінних другого терма  $X2, X6 = 1$  та довізначаємо до нуля інші терми, приймаючи  $X1, X3, X4 = 0$ .
7. В результаті підстановки вибраних значень змінних у вираз (1.3), отримуємо функцію справного пристрою

$$Y7 = 0 \cdot 0 \cdot 0 + 1 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \cdot 1 = 0.$$

Для несправного стану ( $X5=0$ ) результат підрахунків буде іншим

$$Y'7 = 0 \cdot 1 \cdot 0 + 1 \cdot 1 \cdot 1 + 0 \cdot 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \cdot 1 = 1.$$

Якщо вибрати маршрут 1, 3, 7, можна отримати ще один тест для визначення несправності  $Y1$ . Отримання додаткових тестів для локалізації цього стану також можна добитись зміною значень змінних, які довізначають вільні терми до «0». Таким чином, для виявлення однієї несправності можна отримати пакет ДТ. Для визначення несправності логічного елемента «НІ» ( $Y1 = 1$ ) ці тести можна представити у вигляді таблиці істинності (табл. 1.10).

## Пакет діагностичних тестів

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$Y_7$	$Y_7$	Маршрут
0	1	0	0	1	1	1	0	1, 4, 7
0	1	1	0	1	1	1	0	1, 4, 7
1	1	0	0	1	1	1	0	1, 4, 7
1	1	1	0	1	1	1	0	1, 4, 7
1	0	0	0	1	0	1	0	1, 3, 7
1	1	0	0	1	0	1	0	1, 3, 7
1	0	0	1	1	0	1	0	1, 3, 7
1	1	0	1	1	0	1	0	1, 3, 7

На основі таблиць істинності, отриманих для всіх можливих несправних станів моделі, можна сформуванати таблицю первинних діагностичних тестів цифрового пристрою (табл. 1.3.4).

## Діагностичні тести цифрової діагностичної моделі

Стани $S_i$	$X_j$						$Y'$	$Y$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$		
$Y_1=1$	0	1	0	0	1	1	1	0
$Y_2=1$	0	0	1	0	1	1	1	0
$Y_3=1$	0	1	1	1	0	0	1	0
$Y_4=1$	1	0	1	1	0	1	1	0
$Y_5=1$	1	1	0	1	1	0	1	0
$Y_6=1$	1	1	1	0	1	1	1	0
$Y_7=1$	1	1	0	1	1	0	1	0

Тести, що формуються на входах пристрою, мають бути розрізняваними для всіх її заданих станів. Якщо результати опитування пристрою первинними тестами додають однакові реакції  $Y'$ , треба провести розширене опитування моделі пакетами тестів для нерозрізняваних реакцій та локалізувати несправний стан. Наявність нерозрізняваності реакцій після розширеного опитування свідчить про наявність кількох несправностей у пристрої, який діагностується. Оптимізацію алгоритму діагностування цифрової ДМ за вартіс-



ним та ймовірним критеріями проводити недоцільно. Це пов'язано з тим, що формування стимулів та реєстрація реакцій при діагностуванні робиться одними й тими ж діагностичними приладами, а ймовірність виходу елементів схеми з ладу має однакові значення.

#### ***1.3.4. Критерії оптимізації алгоритмів діагностування***

Перевірки, що входять до ДТ, можуть виконуватися в будь-якій послідовності. При цьому витрати на локалізацію несправних станів ОД будуть різними. З метою мінімізації витрат на діагностування розробляють алгоритми діагностування оптимізовані за заданими критеріями.

*Оптимізований алгоритм діагностування* – алгоритм, побудований за багатокроковою процедурою з використанням вибраної функції переваги.

*Функція переваги (ФП)* – функція, яка кількісно характеризує певну якість алгоритму, що дозволяє проводити вибір елементарних перевірок на кожному кроці процедури діагностування за своїм екстремальним значенням. Функції переваги можуть будуватися за різними критеріями. В загальному вигляді ФП представляється відношенням

$$F = \frac{f_1 \Pi_j}{f_2 \Pi_j}, \quad (1.4)$$

де  $f_1(\Pi_j)$ ,  $f_2(\Pi_j)$  – функції, що характеризують відповідно виграш та втрати від введення в програму діагностики перевірки  $\Pi_j$ .

При виборі перевірки на кожному кроці процедури діагностування перевага віддається перевірці, для якої  $F$  має максимальне значення. Функція переваги за критеріями вартості  $F_1$ , інформативності  $F_2$  та результативності  $F_3$  мають вигляд

$$F_1 = \frac{1}{C_j}, \quad F_2 = \frac{1}{l_j}, \quad F_3 = \frac{1}{p_j}, \quad (1.5)$$

де  $C_j$  – вартість проведення  $j$  перевірки;

$lj = (n1_j - n0_j)$  – функція, що визначає кількість інформації, яку отримують при виконанні перевірки  $\Pi_j$ ;

$pj = (P1_j - P0_j)$  – функція, що визначає ймовірність негативного результату перевірки  $\Pi_j$ ;

$n1_j, n0_j$  – кількість, відповідно «1» та «0», що містяться в  $j$ -му стовпці ТН;

$P1_j, P0_j$  – суми ймовірностей, відповідно позитивного та негативного результатів перевірки  $\Pi_j$ .

Потрібно підкреслити, що ФП за інформативністю  $F_2$  є **двохкритеріальною, оскільки визначається двома незалежними змінними – кількістю інформації та вартістю**. Крім того, слід враховувати, що максимальній кількості інформації перевірки  $j$  відповідає мінімальна абсолютна різниця ( $n1_j - n0_j$ ). При використанні багатокритеріальних ФП (або кількох однокритеріальних) для оптимізації алгоритму діагностування необхідно обумовлювати їх пріоритет.

$$F_{1,2} = \frac{1}{c_j \cdot l_j}, \quad F_{3,1,2} = \frac{1}{p_j \cdot c_j \cdot l_j}. \quad (1.6)$$

Щоб порівняти алгоритми діагностування для одного й того ж тесту побудовані з використанням різних ФП, вводиться поняття умовної вартості алгоритму.

*Ціна алгоритму діагностування* визначається як середні витрати на відокремлення одного технічного стану об'єкта, з врахуванням вартісного та імовірнісного факторів

$$Ц_{АД} = \sum_{i=1}^N C_{Si} \cdot P_i. \quad (1.7)$$

де  $N$  – кількість технічних станів об'єкта діагностування;

$C_{Si}$  – сума вартостей елементарних перевірок, реалізація яких дозволяє відокремити стан  $Si$ ;

$P_i$  – ймовірність перебування об'єкта діагностування в  $i$ -му технічному стані.

### 1.3.5. Побудування алгоритмів діагностування

Для побудування алгоритмів діагностування необхідно визначити таке:

1. Матрицю станів, сукупність перевірок якої утворює діагностичний тест.
2. Розподіл ймовірностей  $P_i$  знаходження об'єкта в кожному з технічних станів, що розглядаються в матриці станів.
3. Вартість проведення кожної елементарної перевірки  $C_j$ , що входить до складу діагностичного тесту.
4. Функцію переваги, за якою оптимізується алгоритм діагностування.

Процес побудування алгоритму діагностування полягає в послідовному виконанні двох операцій:

1. З множини перевірок діагностичного тестузначається перевірка, для якої функція переваги має екстремальне значення.
2. Множина технічних станів розбивається на дві підмножини, для однієї з яких обрана перевірка має позитивний результат «1», для другої – негативний «0».

Розбиття на підмножини проводиться для виділення кожного зі станів, що розглядаються. При цьому перевірки, призначені для локалізації кожного стану, не повинні повторюватись. Як приклад розглянемо побудування АД для МДТ, отриманого на основі матриці станів (див. табл. 1.2.3). Сформуємо матрицю станів, що складає сукупність перевірок МДТ, та доповнимо її розподілом ймовірностей  $P_i$  та вартостей  $C_j$  (табл. 1.3.5).

Побудування алгоритму з використанням функції переваги за вартістю відбувається в такий послідовності:

1. Призначаємо перевірку П1 з мінімальною вартістю  $C_j = 1$  та розбиваємо стани на підмножини  $S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$  – «1»;  $S_1$  – «0». Стан  $S_1$  виділено.
2. Призначаємо перевірку П2 з мінімальною вартістю з тих, що залишились, та розбиваємо сукупність цих станів на множини  $S_3, S_5, S_6$  – «1»;  $S_2, S_4$  – «0».
3. Стани  $S_2, S_4$  – розрізняються тільки на перевірці П6 (з тих, що залишились). Функція переваги не використовується. Призначаємо перевірку П6 та розділяємо стани  $S_2$  – «1»,  $S_4$  – «0».

## Вихідні дані для побудовання алгоритму діагностування

Стани $S_i$	$\Pi_j$				$P_i$
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	
$S_1$	0	0	0	0	0,08
$S_2$	1	0	0	1	0,2
$S_3$	1	1	0	1	0,3
$S_4$	1	0	0	0	0,15
$S_5$	1	1	0	0	0,25
$S_6$	1	1	1	0	0,02
$C_j$	1	2	3	4	$\Sigma P_i = 1$
$l_j$	4	0	4	2	
$p_j$	0,84	0,14	0,96	0	

4. Щоб розрізнити стани  $S_3$ ,  $S_5$ ,  $S_6$  призначаємо перевірку  $\Pi_3$  з мінімальною вартістю з тих, що залишились, та розділяємо їх на підмножини  $S_6$  – «1»;  $S_3$ ,  $S_5$  – «0». Стан  $S_6$  виділено.

5. Стани  $S_3$ ,  $S_5$  розрізнявальні тільки на перевірці  $\Pi_6$  (з тих, що залишились). Перевірка  $\Pi_6$  виділяє стани  $S_3$  – «1»;  $S_5$  – «0».

Графічне зображення побудованого алгоритму діагностування наведено на рис. 1.3.1, а.

Для побудовання АД з використанням функції переваги за інформативністю  $F_2$  таблиця доповнюється значеннями параметра  $l_j$ . Далі процес побудовання АД аналогічний. Пріоритетними при виборі перевірок є значення параметра інформативності  $l_j$ , а потім вартості  $C_j$ . Графічне зображення АД, побудованого з використанням ФП за інформативністю, наведено на рис. 1.3.1, б. Алгоритм оптимізований за результативністю будують згідно із загальною методикою. Критерієм до вибору перевірки на кожному кроці процесу побудовання є мінімальні значення параметра  $p_j$  (табл. 1.3.5). Графічне зображення алгоритму з використанням функції переваги за результативністю наведено на рис. 1.3.1, в.

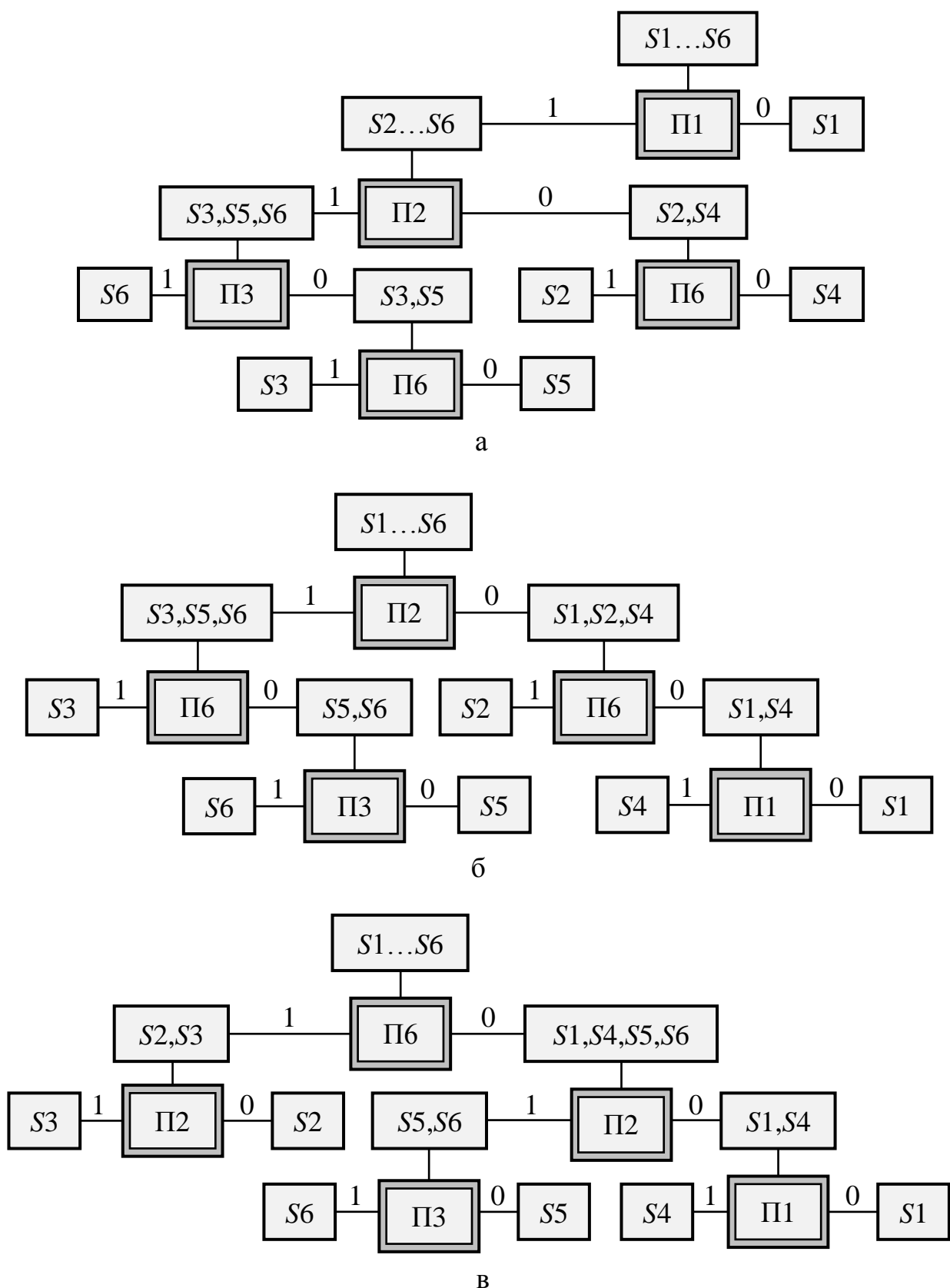


Рис. 1.3.1. Алгоритми діагностування, побудовані з використанням функції переваги за:  
**а – вартістю; б – інформативністю; в – результативністю**

Аналізуючи алгоритм діагностування (рис. 1.3.1), можна визначити вартості виділення кожного технічного стану

$$\begin{aligned} C_{S1} &= C1 = 1; \quad C_{S2}, C_{S4} = C1+C2+C6 = 1+2+4 = 7; \\ C_{S3}, C_{S5} &= C1+C2+C3+C6 = 1+2+3+4 = 10; \\ C_{S6} &= C1+C2+C3 = 1+2+3 = 6. \end{aligned}$$

Аналогічно визначають вартості виділення станів за алгоритмами з використанням функції переваги за інформативністю (рис. 1.3.1, б) та результативністю (рис. 1.3.1, в). Для порівняння АД, оптимізованих за різними критеріями, визначаємо їх ціни за виразом (1.7)

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= C_{S1} \cdot P_1 + C_{S2} \cdot P_2 + C_{S3} \cdot P_3 + C_{S4} \cdot P_4 + C_{S5} \cdot P_5 + C_{S6} \cdot P_6 = \\ &= 1 \cdot 0,08 + 7 \cdot 0,2 + 10 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,15 + 10 \cdot 0,25 + 6 \cdot 0,02 = 8,15; \end{aligned}$$

$$\Pi_2 = 7 \cdot 0,08 + 6 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,3 + 7 \cdot 0,15 + 9 \cdot 0,25 + 9 \cdot 0,02 = 7,04;$$

$$\Pi_3 = 7,04.$$

Аналіз показав, що ціни алгоритмів діагностування за функціями  $F_2$  та  $F_3$  однакові та нижчі за ціну алгоритму для функції  $F_1$ . Слід зазначити, що, хоча  $\Pi_2 = \Pi_3$ , послідовність операцій перевірок при  $F_2$  та  $F_3$  різна.

Розглядаючи загальний випадок побудування АД, можна зробити висновок, що найкращим, з точки зору вартості алгоритму при рівно ймовірних станах ОД, є АД побудований з використанням ФП за інформативністю ( $F_2$ ), а при станах різної ймовірності – за результативністю ( $F_3$ ). Згадані АД є послідовними та безумовними. Однак в більшості випадків результат кожної перевірки, якщо не дозволяє виділити несправність, то несе визначену інформацію про стан об'єкта, яка дозволяє її локалізувати. Для таких об'єктів на базі отриманих тестів будують упорядковані та умовні алгоритми, що оптимізують процес пошуку несправності. Оптимізація умовних алгоритмів діагностування проводиться з використанням ЕОМ на основі принципів динамічного програмування.

У діагностичних моделях з великою кількістю однотипних елементів побудування АД доцільно проводити з використанням ФП у вигляді

$$F_4 = \frac{P_i}{c_j}. \quad (1.8)$$

Якщо передбачається несправність будь-якої кількості елементів АД, то найоптимальнішим є АД, побудований з використанням ФП у вигляді

$$F_5 = \frac{P_i}{c_j(1 - P_i)}. \quad (1.9)$$

Розглянуті ФП використовуються при оптимізації АД для об'єктів з простими структурами та умовами. Важчими задачами оптимізації є процеси побудування АД за наявності похибок першого роду, при перевірках методом заміни, за наявності залежних відмов та при обмеженнях на витрати.

У додатку А посібника наведено приклад побудування та аналізу діагностичної моделі мікропроцесорної системи управління інжекторним двигуном. На прикладі розглянуто: перетворення схеми системи до вигляду функціональної моделі, побудування таблиць несправностей, визначення діагностичних тестів, усунення нерозрізності станів, визначення розподілу ймовірностей відмов та вартостей перевірок, складання алгоритмів діагностування та розрахунок їх умовної ціни.

## Контрольні запитання по розділу 1

1. Визначте поняття: «Діагностична система», «Система діагностики», «Об'єкт діагностики».
2. Визначте поняття: «Технічний стан», «Дефект», «Симптом», «Діагноз».
3. Визначте поняття: «Перевірка», «Діагностичний тест»; «Алгоритм діагностування», «Діагностичний параметр».
4. Назвіть аспекти і завдання «Технічної діагностики».
5. За якими ознаками класифікуються діагностичні параметри?
6. Як нормуються значення діагностичних параметрів?
7. Назвіть вимоги, що висуваються до параметрів, які обираються у якості діагностичних?
8. У яких станах може перебувати технічна система?
9. За якими ознаками класифікуються відмови технічних приладів?
10. Наведіть групи звужень відповідності несправність – симптом.
11. За якими загальними ознаками класифікуються перевірки технічних систем?
12. Як класифікуються перевірки технічних систем за характером участі людини?
13. Як класифікуються перевірки технічних систем за способом виявлення несправності?
14. Як класифікуються перевірки за деталізацією структури технічних систем?
15. Як класифікуються перевірки технічних систем за типом пошуку несправності?
16. Як класифікуються перевірки технічних систем за гнучкістю реалізації алгоритму діагностування?
17. Як класифікуються перевірки за методом відновлення технічних систем?
18. Що означають «стимули» і відгуки для електричних систем?
19. В чому полягає структурна та параметрична ідентифікація несправності?
20. Визначте поняття «Функціональна діагностична модель».



21. Перелічіть умови побудування функціональної діагностичної моделі.
22. У якому вигляді може надаватися діагностична модель?
23. Визначте поняття «Таблиця несправностей».
24. Наведіть порядок формування таблиці несправностей.
25. Визначте поняття «Дискретна діагностична модель».
26. Перелічіть умови побудування дискретної діагностичної моделі.
27. Що таке матриця станів?
28. Назвіть методи усунення нерозрізнюваності станів в бінарних таблицях несправностей.
29. В чому полягає метод усунення нерозрізнюваності станів за допустимими значеннями діагностичного параметра в таблицях несправностей?
30. В чому полягає метод негативної перевірки для усунення нерозрізнюваності станів в таблицях несправностей?
31. Яким чином формується таблиця опорів дискретної діагностичної моделі?
32. Як перетворити таблицю опорів дискретної діагностичної моделі до матриці станів?
33. Наведіть правила скорочення матриці станів.
34. Визначте поняття «Цифрова діагностична модель».
35. Перелічіть умови побудування цифрової діагностичної моделі
36. Яким чином отримують аналітичне представлення цифрової діагностичної моделі у вигляді виразу еквівалентної нормальної форми?
37. Визначте поняття «Таблиця покриттів».
38. З якою метою формується таблиця покриттів.
39. Як представити таблицю покриттів у вигляді аналітичного виразу?
40. Перелічіть властивості таблиці покриттів?
41. Визначте поняття «Ціна перевірки»,
42. Визначте поняття «Мінімальний діагностичний тест»,
43. Визначте поняття «Оптимальний діагностичний тест».
44. В чому полягає метод скороченого перебору при визначенні мінімального діагностичного тесту?

45. Наведіть правила скорочення таблиці покриттів при визначенні мінімального діагностичного тесту.

46. Наведіть процедуру визначення діагностичних тестів за методом еквівалентної нормальної форми.

47. Визначте поняття «Порівнювані масиви» в таблиці покриттів.

48. Наведіть послідовність операцій алгоритму визначення діагностичного тесту для цифрової моделі методом еквівалентної нормальної форми.

49. Які критерії оптимізації використовуються при побудуванні алгоритмів діагностування?

50. Визначте поняття «Функція переваги».

51. Перелічіть види функцій переваги.

52. Як визначається параметр інформативності для визначеної перевірки в бінарній таблиці несправностей?

53. Як визначається параметр ймовірності для визначеної перевірки в бінарній таблиці несправностей?

54. Визначте поняття «Вартість алгоритму».

55. Які вихідні дані необхідні для побудування алгоритмів діагностування?

56. Наведіть послідовність операцій побудування алгоритмів діагностування?

57. Яким чином порівнюють алгоритми діагностування, побудовані за різними критеріями оптимізації для визначеної моделі?