

Моделі об'єктів контролю і діагностики

1 Основні вимоги до моделей і їхня роль у діагностуванні

Моделювання є одним з методів наукового дослідження, завдяки якому одержують нові знання про об'єкти і процеси. Воно передбачає етапи побудови і вивчення моделей, на основі чого базується експериментальна частина обстежуваного об'єкта. При моделюванні обстежуваний об'єкт замінюють або матеріально-речовинним, або ідеальним об'єктом. Матеріально-речовинний об'єкт являє собою фізичну модель, тією чи іншою мірою відповідною образу обстежуваного об'єкта. Ідеальний об'єкт являє собою абстрактний опис реального об'єкта у вигляді формул, графіків, таблиць, діаграм і т.п., тобто ідеальний об'єкт являє собою нематеріалізовану модель обстежуваного об'єкта. Така форма подання об'єкта є дуже зручною, оскільки дозволяє використовувати сучасні засоби обчислювальної техніки і тим самим розширити можливості рішення задач діагностування. І взагалі, при дослідженні складних об'єктів неможливо обійтися без використання не матеріалізованих моделей, які прийнято називати математичними.

На першому етапі діагностики досліджують функціонування обстежуваного об'єкта, встановлюють зв'язки між його конструктивними елементами, вивчають форми прояву відказів цих елементів. Після цього, одержавши необхідні відомості, складають формалізований опис об'єкта, що спостерігається, чи, іншими словами, будують модель. Ця модель є абстрактним відображенням реального об'єкта, у якому зосереджені його найбільш важливі властивості. Форму подання моделі, конкретизацію і деталізацію визначають способом проведення діагностування і постановки діагнозу.

Вибір тієї чи іншої форми моделі визначається характером і складністю обстежуваного об'єкта, обсягом наявної апріорної інформації, необхідною глибиною діагнозу і технічних можливостей одержання інформації. При діагностуванні простих лінійних динамічних систем застосовують методи, при яких носіями інформації є конкретні параметри (сигнали). У складних системах застосовують

методи діагностування, що базуються на одночасному вимірі численних параметрів (сигналів) з наступною статистичною обробкою результатів вимірів.

До моделей пред'являють наступні вимоги [6]:

1) Модель повинна бути досить абстрактною, щоб її можна було застосовувати для аналізу широкого класу технічних систем, дозволяти враховувати всі істотні особливості конкретних систем і способів пошуку в них елементів, що відмовили;

2) Модель повинна описувати, по можливості, більше число станів об'єкта і дозволяти визначати елемент, що відмовив, на будь-якому заздалегідь заданому рівні діагнозу;

3) Модель повинна бути подана у формі, зручній для її технічної реалізації і, зокрема, для реалізації на ЕОМ;

4) Модель повинна дозволяти використовувати для рішення задач діагностики формальний апарат сучасної математики;

5) Модель повинна дозволяти виділяти найбільш інформативні параметри, що відображають істотні властивості діагностуємого об'єкта і які необхідно контролювати в процесі діагностики, тобто, визначати оптимальну сукупність контрольованих параметрів.

2 Класифікація моделей

Відомі такі моделі: параметричні, поліноміальні, непараметричні, графічні і графоаналітичні, функціональні і логічні.

У параметричних моделях для дослідження лінійних і лінеаризованих систем в якості моделей найбільш часто використовують лінійні диференціальні рівняння чи передаточні функції. Оскільки для відшукування елемента, що відмовив, така модель є незручною, то її найчастіше використовують на стадії проектування об'єкта.

Поліноміальні моделі відрізняються від параметричних більш високим рівнем формалізму і більшою універсальністю. Їх використовують для різних систем (лінійних, нелінійних, дискретних, неперервних і т.п.). Тут зв'язок між вхідними і

вихідними сигналами об'єкта апроксимують різними поліномами, рядами, ортогональними чи розкладаннями рівнянь регресії.

В якості *непараметричних моделей* використовують перехідні функції, імпульсні перехідні функції і спектральні характеристики. Використання цих моделей з метою контролю працездатності об'єктів більш доцільне у порівнянні з параметричними, оскільки дозволяє одержати більш точні результати. Особливо широко їх використовують для контролю і діагностики механічних об'єктів.

До числа *графічних і графоаналітичних моделей* відносять схеми, графи, діаграми, таблиці і т.п. Однією з таких моделей є діаграма проходження сигналів, що приймається у вигляді схеми, яка складається з вузлів, з'єднаних спрямованими гілками, і виражає систему алгебраїчних рівнянь. Недоліком цієї моделі є те, що вона може бути застосована лише для діагностики нескладних об'єктів через обмеження можливостей математичного апарата (алгебраїчних рівнянь). Для діагностики більш складних систем застосовують граф-модель. Вершинами графа є функціональні елементи об'єкта, а дугами – зв'язки між ними. Однак складання граф-моделі дуже трудомістке, а реалізація моделі за допомогою комп'ютерної техніки пов'язана з істотними складностями. Тому граф-моделі використовують частіше як проміжні моделі для побудови інших типів моделей.

Функціональна модель являє собою сукупність функціональних елементів, кожний з яких може мати скільки завгодно входів при одному виході. Функціональні моделі широко використовують у задачах контролю і діагностики. Одним з різновидів функціональних моделей є, так звана, таблиця станів чи таблиця несправностей.

Логічні моделі подають у вигляді висловлювальних форм, що будуються на основі двозначної логіки (справний – несправний). Вони є дуже складними булевими функціями, що залежать від ряду перемінних. Кожна перемінна може приймати значення 0 чи 1 у залежності від стану обстежуваного об'єкта в цілому чи його окремих елементів.

З усіх перерахованих вище моделей найбільш широке застосування мають функціональні і логічні моделі. Тому докладно зупинимось, саме, на розгляді процесу побудови цих видів моделей.

3 Функціональні моделі

Функціональну модель представляють графічним зображенням обстежуваного об'єкта з указівкою усіх функціональних зв'язків між його окремими елементами [6]. Головною позитивною ознакою такої моделі є фізична наочність. При побудові моделі припускають, що обстежуваний об'єкт можна подати у вигляді окремих функціональних елементів, зв'язаних між собою. Функціональний елемент це частина обстежуваного об'єкта, що може перебувати в одному з двох несумісних станів (працездатна – непрацездатна) і в працездатному стані відповідає належною реакцією на визначену сукупність впливів дій, включаючи реакції інших елементів.

Дію, яку необхідно прикласти до працездатного елемента для одержання необхідної реакції, називають припустимою, а реакцію елемента, що віказав – неприпустимою. Кожен функціональний елемент може мати кілька входів і один вихід. Тим самим функціональна модель об'єкта відрізняється від його звичайної функціональної схеми, у якій елементи можуть мати декілька входів.

При складанні функціональної моделі реальний елемент, що має n виходів, розчленовують на n первинних функціональних елементів. Крім того, необхідно:

- перелічити всі можливі комбінації одночасно відмовивших елементів;
- указати, які комбінації припустимих дій необхідно прикласти до кожного елемента для одержання допустимої реакції;
- задати схему об'єкта, на якій зазначено всі елементи і зв'язки між ними.

При цьому здійснюючими вважаються такі умови:

- функціональний елемент буде працездатний, якщо при допустимих вхідних діях його реакція також буде допустимою;
- вихід за межі допустимих значень хоча б однієї з вхідних дій приводить до недопустимої реакції;
- зовнішні вхідні дії (входи, що не з'єднані з жодним виходом) завжди є допустимими;
- ланцюги зв'язку між функціональними елементами моделі повинні бути абсолютно надійними.

Приклад графічного зображення функціональної моделі показано на рис. 3.1. Реальний обстежуваний об'єкт тут представлено дев'ятьма елементами моделі (1...9...9). За входи прийнято x_1, x_2, x_3, x_4, x_7 , за виходи – y_2, y_3, y_6, y_9 .

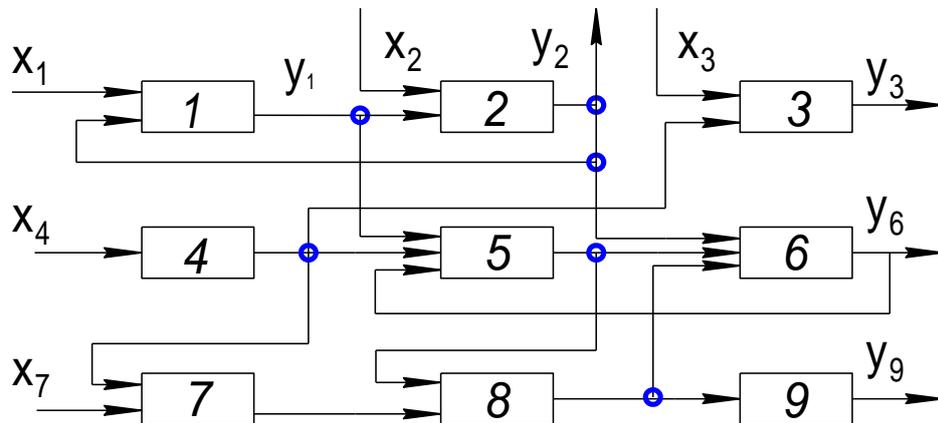


Рисунок 3.1 – Функціональна модель обстежуваного об'єкта

Згідно з рисунком, між елементами 1, 2 і 5, 6 мається зворотній зв'язок, що, найчастіше, характерно для слідкуючих систем. Інші елементи мають послідовні зв'язки.

За допомогою функціональної моделі, для зручності рішення поставленої задачі, може бути побудована граф-модель (рис. 3.2). Її побудова ґрунтується на таких положеннях:

- кожен функціональний елемент зображують у вигляді вершини графа (кружальця з номером елемента);
- функціональні зв'язки трансформуються в дуги зв'язку графа, напрямком яких повинен збігатися з напрямком проходження сигналів;
- нумерація вершин графа повинна збігатися з нумерацією елементів;
- пристрій, на яке надходять вихідні сигнали, зображують також у вигляді окремої вершини (у даному випадку кружальце з числом 10) графа.

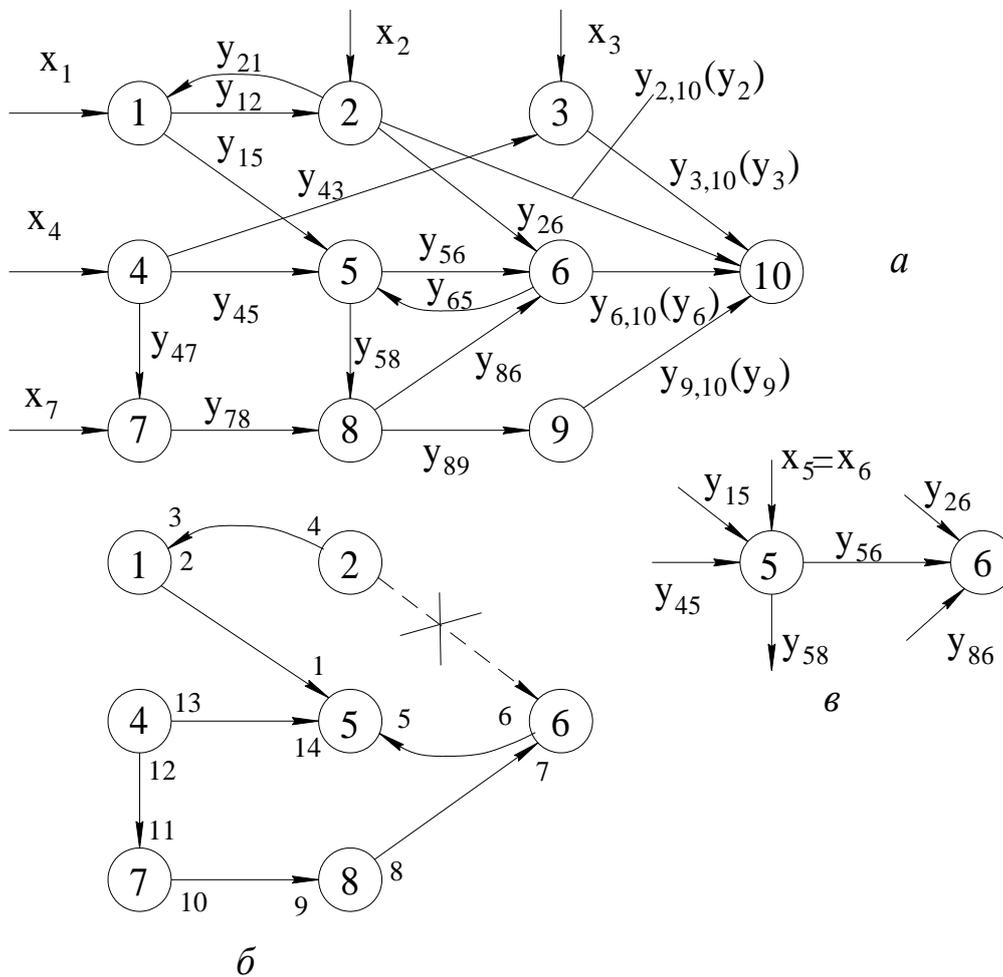


Рисунок 3.2 – Граф-модель об'єкта контролю

Функціональна модель дозволяє однозначно виконувати перевірки з метою пошуку всіх елементів, що відказали. Кожна перевірка полягає в подачі допустимих дій на елементи і контролі їхніх реакцій. Для визначення мінімальної сукупності параметрів, що залежала б від стану усіх функціональних елементів, складають таблицю взаємозалежності вихідних параметрів (табл. 3.1). Число рядків і стовпців у цій таблиці має відповідати числу функціональних елементів (у нашому випадку 9 рядків і 9 стовпців). Наявність залежності виходу y_i від стану відповідного j -го елемента позначають знаком “+”.

Таблиця 3.1 – Таблиця взаємозалежності вихідних параметрів

y_i	Елементи моделі об'єкта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
y_1	+	+							
y_2	+	+							
y_3			+	+					
y_4				+					
y_5	+	+		+	+	+	+	+	
y_6	+	+		+	+	+	+	+	
y_7				+			+		
y_8	+	+		+	+	+	+	+	
y_9	+	+		+	+	+	+	+	+

Таблицю зручно формувати за допомогою граф-моделі. Знак “+” проставляють на перетинанні кожного стовпця елемента з відповідним рядком y_i (відзначені жирними рамками). Для наступного заповнення i -го рядка таблиці вибирають вершину графа (можна починати з 1-го (кружальце з цифрою 1) чи з якого-небудь іншого і рухаються від неї по всіх дугам (лініям) зв'язків графа в напрямках, протилежним напрямкам стрілок, відзначаючи при цьому знаком “+” у таблиці всі, що зустрічаються на шляху, вершини графа. І так робиться доти, поки не буде досягнуто будь-якого із зовнішніх входів чи поки не утвориться зовнішня петля. Для прикладу розглянемо фрагмент граф-моделі (рис. 3.2, б) з вершиною графа 5. Починаємо рухатися від вершини графа по дузі 1-2. При цьому на шляху зустрічаємо вершину 1. Це дає підставу проставити в таблиці знак “+” у клітинці, що розташовується на рядку y_5 у стовпці 1-го елемента. Далі від вершини 1 рухаємося по дузі 3-4 і упираємося у вершину 2, після чого проставляємо знак “+” на рядку y_5 у стовпці 2-го елемента. На цьому рух обривається, тому що відповідно до правил він не може відбуватися за напрямком стрілки. Тому повертаємося до

вершини 5 і починаємо рух по дузі 5-6 убік вершини 6 і проставляємо знак “+” на рядку u_5 у стовпці 6 таблиці.

Далі рухаємося по дугах 7-8, 9-10, 11-12, 13-14, наштовхуючись на вершини 8, 7, 4, що дає нам підставу проставити знаки “+” на рядку u_5 у стовпцях елементів 4, 7, 8. Після цього рух припиняється, тому що утворилася замкнута петля. До цього додамо, що рух від вершини 5 можна було б почати убік вершини 4, проходячи по шляху вершин 7, 8, 6 і повертаючи знову до вершини 5. Таким чином вибір напрямку руху може бути довільним.

З побудови таблиці видно, що кожний із трьох наборів вихідних параметрів (u_3, u_5, u_9) , (u_3, u_6, u_9) , (u_3, u_8, u_9) дозволяє здійснювати повний контроль працездатності обстежуваного об'єкта. Зі складу цих наборів видно, що в кожному з них присутні виходи u_3 і u_9 , що є найбільш впливовими при визначенні несправностей. Однак при діагностуванні приймають лише один набір. Його вибір здійснюють шляхом оцінки тих витрат, з якими зв'язана реалізація контролю по кожному набору.

Розпоряджаючись безліччю перевірок $\Pi = \{\pi_i\}$, можна побудувати інший тип математичної моделі обстежуваного об'єкта у вигляді, так званої, таблиці несправностей, що буде містити всі необхідні дані для побудови діагностичних тестів [6]. У процесі побудови цієї таблиці для кожного стану об'єкта визначають результат перевірки контрольованих виходів. При цьому позитивний результат перевірки позначають знаком “1”, якщо реакція i -го елемента допустима (справний стан), а негативна – знаком “0”, якщо реакція i -го елемента неприпустима (несправний стан), тобто результат перевірки визначається в такий спосіб:

$$P_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } u_{ij} = u_{ij\partial j\partial} \\ 0, \text{ якщо } u_{ij} = u_{ij\partial j\partial} \end{cases}$$

Безліч можливих станів визначається кількістю можливих комбінацій одночасно відмовивших елементів. Кожна така комбінація може бути представлена n -мірним вектором

$$S_i = \{S_1, S_2, \dots, S_n\},$$

Таблиця 3.2 – Таблична модель несправностей об’єкта

№ елем.	Стан елементів									Значення перевірок $\Pi = \{\pi_i\}$									
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅	y ₆	y ₇	y ₈	y ₉	
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	
4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	
8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	
* Працездатний стан обстежуваного об’єкта в цілому																			

де n – число функціональних елементів, причому

$$S_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-тий елемент працездатний;} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-тий елемент відказав;} \end{cases}$$

$$i=1(1)n.$$

Таблиця 3.2 несправностей складена відповідно до функціональної моделі (рис. 3.1) і граф-моделі (рис. 3.2). Представлена таблиця несправностей складена з урахуванням того, що одночасно можливий відказ тільки одного елемента. Якщо необхідно розглянути випадки, коли можуть виникнути одночасно декілька відказів, то цю таблицю необхідно доповнити рядками, загальна кількість яких дорівнює $k_n^2, k_n^3, \dots, k_n^n$.

Представлену таблицю складали з двох частин: лівої і правої. Справний стан елементів позначали знаком “1”, а несправний – знаком “0”. При побудові правої частини таблиці прийняли, що в стані відказу може перебувати тільки один елемент (знаки “0” розташовані на перетинанні кожного рядка, що визначає номер елемента, і кожного стовпця, що визначає його стан). Наприклад: 2 – S_2 ; 5 – S_5 . При побудові правої частини задавали несправний стан відповідного елемента знаком “0”, а далі на підставі функціональної моделі чи моделі таблиці 3.1 установлювали зв'язок з іншими елементами. Відповідно до таблиці 3.1 (стовпець 1) елемент 1 має зв'язок з елементами 2, 5, 6, 8, 9. Отже, при несправності елемента 1 елементи 2, 5, 6, 8, 9 функціонувати не будуть. Такий же вплив на елементи 1, 5, 6, 8, 9 чинить несправність елемента 2 (другий стовпець). Несправність елемента 3 (третій стовпець) не спричинить до відказів інших елементів, оскільки цей елемент не має з ними зв'язків. Таким чином, залишається лише проставити відповідні знаки (“1” чи “0”) у кожному рядку правої частини таблиці 3.2. Так, наприклад, у другому рядку проти $y_1, y_2, y_5, y_6, y_8, y_9$ проставляємо знаки “0”, що означає відсутність вихідних сигналів в елементів 1, 2, 5, 6, 8, 9, а проти y_3, y_4, y_7 – знаки “1”, що говорить про робочий стан елементів 3, 4, 7.

Аналізуючи праву частину табл. 3.2, можна установити, що відкази елементів 1 і 2 виявляють себе однаково (повний збіг в обох рядках знаків “1” і “0”). Те ж саме має місце й в елементах 5 і 6. Такі відкази називають нерозрізненими. Таким чином нерозрізненим відказам відповідають тотожні рядки несправностей. Для усунення нерозрізненості необхідно або розширити безліч Π шляхом введення додаткових перевірок, або змінити структуру об'єкта за допомогою розриву зворотніх зв'язків. Наприклад, якщо в схемі об'єкта (рис. 3.1, 3.2, в) розірвати зворотній зв'язок між елементами 5 і 6 (y_{65}), то відкази цих елементів стануть різними без введення додаткових перевірок. Однак при цьому необхідно на елемент 5 подавати ззовні допустимий вплив $x_5=y_6$. Результати від розриву зворотнього зв'язку, що йде від елемента 6 до елемента 5, можна побачити в представлених нижче таблицях 3.3 і 3.4. У таблиці 3.4 представлена тільки права частина без рядка “0”.

Таблиця 3.3

y_i	Елементи моделі об'єкта								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
y_1	+	+							
y_2	+	+							
y_3			+	+					
y_4				+					
y_5	+	+		+	+				
y_6	+	+		+	+	+	+	+	
y_7				+			+		
y_8	+	+		+	+		+	+	
y_9	+	+		+	+		+	+	+

Таблиця 3.4

№ эл.	Значення перевірок $\Pi = \{\pi_i\}$								
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9
1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
2	0	0	1	1	0	0	1	0	0
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1
4	1	1	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0	1	0	0
6	1	1	1	1	1	0	1	1	1
7	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Як видно з цих таблиць, тепер відкази елементів 5 і 6 уже виявляють себе неоднаково і, отже, шляхом розриву зворотнього зв'язку між цими елементами ми виключили нерозрізненість відмовлень.

В остаточному підсумку таблиця несправностей містить дані, на підставі яких будують діагностичні тести чи програми діагностики обстежуваного об'єкта. При визначенні несправного елемента можна користуватися безпосередньо таблицею несправностей. Наприклад, якщо в елементах 6, 7, 8, 9 (табл. 3.4) на виході відсутні сигнали y_6, y_7, y_8, y_9 , а на виході інших елементів вони є, то відповідно до таблиці можна установити, що така ситуація може виникнути тільки при відказі елемента 7. Якщо ж на виході блоків 5, 6, 8, 9 відсутні сигнали y_5, y_6, y_8, y_9 , а на виході інших елементів вони є, то відповідно до таблиці несправним може бути тільки елемент 5.

При побудові таблиць несправностей можна не враховувати специфіку окремих систем вважаючи, що будь-яка таблиця, що задає зв'язок між множиною станів системи, множиною можливих перевірок і множиною наслідків цих перевірок, є таблицею несправностей. При такому підході таблицю несправностей

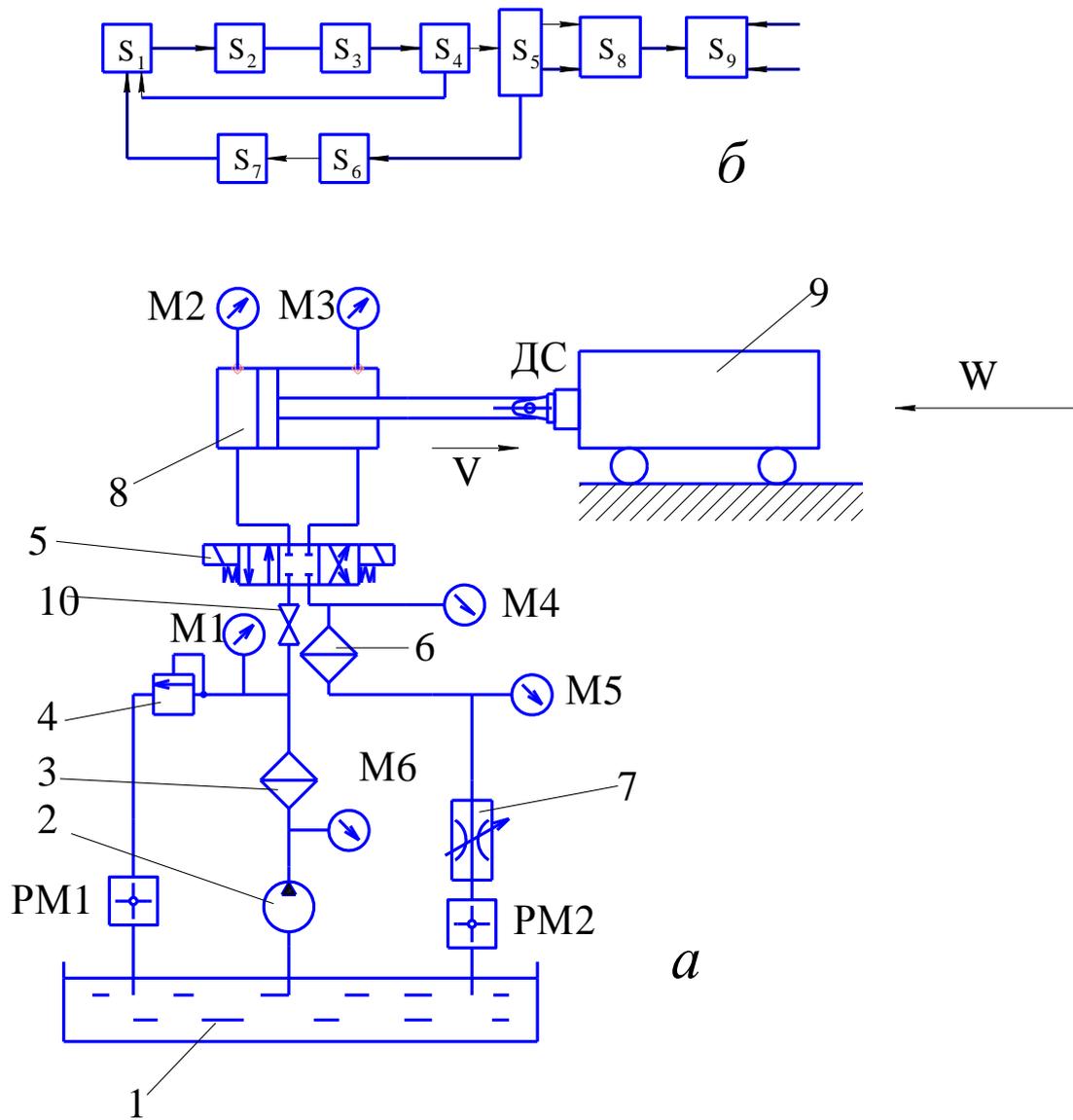
можна розглядати як деяку досить абстрактну модель об'єктів діагностики, що охоплює практично всі реальні технічні системи.

У цілому ряді випадків побудову функціональних моделей зводять до безпосередньої побудови таблиць несправностей. Цю операцію здійснюють винятково на основі апріорних знань (різні джерела технічної інформації, дані пасивних спостережень, опитування фахівців і т.п.). Тому такий тип моделі можна назвати апріорно - функціональною.

В якості прикладу розглянемо гідравлічний привод поступальної дії (рис. 3.3).

Побудуємо для нього апріорно-функціональну модель у табличній формі.
(таблиця 3.5)

В цьому випадку немає ніякої необхідності для проведення діагностування обстежуваного об'єкта, розробляти моделі з використанням математичного апарата. Досить точно і повно описати види технічного стану об'єкта і вказати на приналежність до кожного стану конкретного елемента (табл. 3.5). Ті елементи (блоки), що приводять до даного стану системи, позначають у відповіднім рядку знаком "+", а елементи, що не мають відносин до цього стану, – знаком "-".



1 – бак; 2 – насос; 3, 6 – фільтр; 4 – запобіжний клапан з переливним золотником; 5 – розподільник; 7 – дросель; 8 – гідроциліндр; 9 – робочий орган

Рисунок 3.3 – Принципова (а) і структурна (б) схеми гідроприводу

Таблиця 3.5 – Априорно - функціональна модель

№ стану	Види технічного стану	Блоки гідропривіда								
		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
1	Тиск у напірній магістралі більше необхідного	-	-	-	+	-	-	-	-	-
2	Тиск у напірній магістралі менше необхідного	-	+	-	+	-	-	-	-	-
3	Тиск у зливній магістралі більше допустимого	-	-	-	-	-	+	+	-	-
4	Подача насоса менше допустимої	-	+	-	-	-	-	-	-	-
5	Зовнішня негерметичність перевищує допустиму	+	+	+	+	+	+	+	+	-
6	Внутрішня негерметичність перевищує допустиму	-	+	-	-	+	-	-	+	-
7	Пульсація тиску за насосом	+	+	-	+	-	-	-	-	-
8	Рівень масла у баку менше допустимого	+	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Сила опору у вихідній ланці більше допустимої	-	-	-	-	-	-	-	+	+
10	Втрата тиску у системі перевищує допустиме значення	-	-	+	-	-	+	+	-	-
11	Швидкість переміщення вихідної ланки нижче заданої	-	+	-	-	-	-	+	-	-
12	Швидкість переміщення вихідної ланки вище заданої	-	-	-	-	-	-	+	-	-

Знаком “+” відмічена належність блоку до відповідного виду стану.
Знак “-“ вказує на відсутність такої приналежності.

Наприклад, тиск у напірній магістралі більше допустимого (стан1) виникає через незадовільну роботу запобіжного клапана 4, викликаній засміченням його клапанів і заклинюванням рухливих частин. Зниження тиску в напірній магістралі

нижче необхідного (стан 2) може відбутися внаслідок того, що під кульку переливного каналу клапана потрапить забруднення і він недостатньо щільно буде прилягати до сідла, допускаючи підвищене скидання робочої рідини на злив. Засмічення клапана може викликати і пульсацію тиску в напірній магістралі (стан 7). Крім того, пульсацію тиску може викликати недостатній рівень робочої рідини в баці, коли разом з рідиною насос всмоктує повітря, а також несправність самого насоса 2.

Підвищення тиску в зливальній магістралі вище допустимого (стан 3) може відбутися лише при засміченні фільтра 6 і дроселя 7. Щоб у цьому переконатися, досить повернути рукоятки цих елементів для прочищення каналів. Засмічення каналів дроселя приводить до зниження швидкості робочого органа (стан 11).

Основні ознаки, які можна без утруднень установити, це явна зміна швидкості руху робочого органа і пульсація тиску в гідросистемі, що виявляється у вібрації трубопроводів. Інші ознаки несправності можна визначити за допомогою засобів діагностики.

Необхідно установити на ділянках магістралі манометри М1...М6 (звичайні чи цифрові), витратоміри РМ1, РМ2 і датчик сили ДС. За різницею показань манометрів М1 і М6 визначають ступінь забруднення фільтра 3, а за різницею показань манометрів М4, М5 – стан фільтра 6. Крім того, за показанням манометра М5 можна визначити стан дроселя 7. За сумарним показанням витратомірів РМ1 і РМ2 встановлюють фактичну продуктивність насоса. При цьому перекривають вентиль 10 між запобіжним клапаном 4 і розподільником 5, щоб мінімізувати вплив витоків у гідросистемі. Цим способом можна установити і фактичну величину тиску, що створюється насосом. Фактичну величину опору W на робочому органі фіксують за допомогою датчика сили ДС. При визначенні сумарної величини внутрішніх витоків виміри роблять за допомогою витратоміра РМ2 при настроюванні запобіжного клапана 4 на тиск, рівний тиску, що створюється насосом. Порівнявши з паспортними даними всіх складових елементів про їхні припустимі витoki, роблять відповідні висновки: вважати систему працездатною чи ж варто визначити, який з елементів допускає найбільші витoki. З цього ряду варто

виключити манометри, вентиля, фільтри і дросель 7, які розташовані в зливальній магістралі і істотно не впливають на величину сумарних витоків.

Величину швидкості робочого органу можна визначити шляхом установки датчиків швидкості чи переміщення, або виміром витрат в зливальній магістралі витратоміром РМ2.