

УДК 681.518.5

Є.В. Нікітенко, канд. фіз.-мат. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ НА РІВНІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ

Е.В. Никитенко, канд. физ.-мат. наук

Черниговский государственный технологический университет, г. Чернигов, Украина

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ НА УРОВНЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ

E.V. Nikitenko, PhD in Physical and Mathematical Sciences

Chernihiv State Technological University, Chernihiv, Ukraine

ANALYSIS OF DIAGNOSTIC METHODS ON THE FUNCTIONAL BLOCKS LEVEL

Запропоновано аналіз методів діагностики радіоелектронних пристроїв з використанням формального математичного апарата. Використання цих методів сприятиме підвищенню якості та оперативності проведення заходів з ремонту радіоелектронних пристроїв.

Ключові слова: діагностика, функціональний блок, радіоелектронні пристрої.

Предложено анализ методов диагностики радиоэлектронных устройств с использованием формального математического аппарата. Использование этих методов будет способствовать повышению качества и оперативности проведения мероприятий по ремонту радиоэлектронных устройств.

Ключевые слова: диагностика, функциональный блок, радиоэлектронные устройства.

The analysis of diagnostic methods of electronic devices using formal mathematical apparatus is presented in the article. Usage of these methods will improve the quality and efficiency of the repair of electronic devices.

Key words: diagnostics, functional block, radioelectronic devices.

Постановка проблеми. Останнім часом елементна база цифрових пристроїв набула суттєвих ускладнень. Це характеризується, по-перше, високим ступенем інтеграції елементів, по-друге, високими робочими частотами, по-третє, складністю виявлення і локалізації відмов, які виникають, по-четверте, новими принципами побудови радіоелектронних пристроїв. Такі особливості сучасної елементної бази радіоелектронних пристроїв обумовлюють зниження їх функціональної надійності. Це ускладнює організацію експлуатації, обслуговування і ремонту пристроїв та приводить до збільшення часу локалізації як складової часу діагностики дефектних радіоелектронних компонентів.

Використання застарілих методів діагностики, недостатня укомплектованість сучасними засобами діагностики й ремонту, недосконалість існуючих робіт, що не забезпечують задану якість і своєчасність під час проведення діагностики, стають неадаптованими для нових зразків радіоелектронної техніки. Крім того, непристосованість нормативно-технічної документації виробів до задач технічної діагностики ускладнює можливість проведення технічної діагностики радіоелектронних пристроїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз системи технічного обслуговування і ремонту показав конкретні недоліки в експлуатації, організації технічного обслуговування та проведенні ремонту радіоелектронних пристроїв [1; 2]. Зростання середнього часу відновлення радіоелектронного пристрою призводить до зниження його коефіцієнта готовності K_{Γ} (1):

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_{\delta}}, \quad (1)$$

де T_o – середній наробіток на відмову, T_{δ} – середній час відновлення [3; 4].

У сучасних умовах швидкого розвитку елементної бази вимоги до основних показників надійності радіоелектронної техніки (середній час відновлення і коефіцієнт готовності) становляться більш жорсткими [2].

Мета статті. Метою статті є проведення аналізу методів діагностики радіоелектронних пристроїв, виявлення переваг і недоліків цих методів та надання пропозицій для діагностики несправностей.

Виклад основного матеріалу. Метод, заснований на побудові таблиці несправностей. Будь-яка технічна система для технічної діагностики може бути розділена на функціональні блоки. При цьому складні функціональні елементи можуть бути розділені на більш прості. Межею такого поділу є первинні функціональні елементи, які достатньою мірою визначають місце відмови у пристрої.

Вихідний сигнал функціонального елемента залежить від його внутрішнього стану і зовнішнього впливу. Якщо для функціонального елемента зафіксувати значення вхідних сигналів, то вихідний сигнал буде характеризувати його внутрішній стан. Справному стану в ідеальних умовах відповідає деяке значення вихідного сигналу. В реальних умовах при невеликих відхиленнях вихідного параметра від номінального значення функціональний елемент не втрачає своєї працездатності. Тому працездатному стану функціонального елемента в нормальних умовах відповідає знаходження вихідного параметра у полі допуску, а вихід за його межі розглядається як відмова.

Функціонально-логічна модель у межах цього алгоритму відрізняється від звичайної функціональної схеми, насамперед вибором функціональних елементів. Якщо у функціональній схемі первинні функціональні елементи вибираються, виходячи зі зручності опису процесів функціонування системи, то первинні функціональні елементи моделі під час здійснення технічної діагностики її стану визначаються заданою точністю локалізації несправності.

Обраний функціональний елемент може безпосередньо використовуватися в ролі первинного, за умови, що він має тільки один вихідний сигнал. В іншому випадку необхідно подальше ділення блока, в процесі якого виділяються частини, що визначають значення кожного з вихідних сигналів.

Кожен первинний функціональний елемент може перебувати в одному з двох можливих станів:

- працездатному;
- непрацездатному.

Модель, яка описує пристрій, відповідає таким властивостям:

1) кожен блок може мати тільки один вихід, який може бути з'єднаний з будь-якою кількістю входів інших блоків. Кількість входів блока не обмежене. Якщо у блоці необхідно контролювати більше одного виходу, то такі блоки розбиваються на блоки за кількістю контрольованих виходів і у кожного блока залишаються тільки ті, які формують цей вихід. Також можна об'єднувати кілька виходів в один, але перевірка для них буде суміщена;

2) виходи різних блоків не можуть бути об'єднані;

3) для кожного блока відомі діапазони вхідного і вихідного сигналів, а також способи їх контролю;

4) блок вважається несправним, якщо значення сигналу виходить за допустимі межі;

5) неприпустиме значення хоча б одного вхідного сигналу приводить до появи неприпустимого сигналу на виході;

6) якщо вихідний сигнал одного блока є вхідним для іншого, то допустимі значення сигналів збігаються;

7) ланцюг між елементами вважається справним. Якщо потрібно контролювати ланцюг, то він замінюється окремим блоком.

На рис. 1 показано приклад простої моделі, де X_1, X_2 – входи об’єкта контролю, $Q_k (k = 1, \dots, 6)$ – функціональні блоки, $Z_k (k = 1, \dots, 6)$ – внутрішні виходи блоків об’єкта контролю, Y_1, Y_2 – зовнішні виходи пристрою.

Виходячи з моделі пристрою, задається перелік відмов і будується таблиця можливих станів.

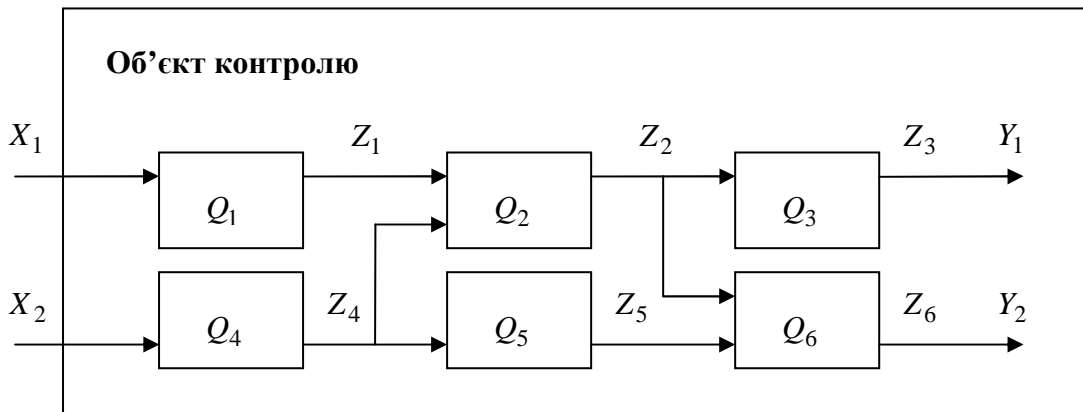


Рис. 1. Приклад функціонально-логічної моделі

Таблиця функцій несправності являє собою таблицю, в якій кожна з колонок відповідає одному стану об’єкта контролю, а рядок – можливій перевірці. Розглядаючи будь-який пристрій, описаний за допомогою функціонально-логічної моделі, він може перебувати в одному справному і в деякій кількості несправних станів, яка відповідає кількості блоків у моделі.

Вихід будь-якого первинного функціонального елемента моделі має номінальний сигнал з параметрами в межах поля допуску, якщо на його входи подані номінальні сигнали в межах полів допуску і сам функціональний блок працездатний. Такий стан у таблиці несправностей позначається "1", тобто $Z_k = 1$. Протилежний стан, коли вихідний сигнал будь-якого функціонального елемента виходить за межі поля допуску, позначається "0" ($Z_k = 0$). Стан функціонального блока також позначається символами "0", "1": при працездатному стані $Q_k = 1$, а непрацездатному – $Q_k = 0$.

Для заповнення таблиці функцій несправностей здійснюється аналіз функціонально-логічної моделі і складаються функції умов роботи блоків (2):

$$Z_k = Q_k \wedge F_k, \tag{2}$$

де Z_k – значення виходу функціонального блока, Q_k – стан функціонального блока, F_k – кон’юнкція значень входів функціонального блока.

Цей метод має досить високу універсальність опису пристрою, що діагностується, але накладає обмеження на визначення блоків, так як вони повинні мати тільки один вихід.

Алгоритм мінімізації діагностичної таблиці. У діагностичній таблиці (табл. 1) порядково визначається сумарна кількість нулів і записується значення функції переваги W за кількістю нулів. Функціональні елементи по-різному чутливі до появи відмов. Наприклад, сигнал першого елемента Z_1 реагує тільки на один вид відмови (S_1), а сигнал десятого елемента Z_{10} – на більшість видів відмов ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_8, S_{11}$). У вибраному рядку проглядаються одиничні сигнали.

Таблиця 1

Приклад діагностичної таблиці

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	W
--	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----------	----------	----------	-----

Z_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Z_2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Z_3	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Z_4	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Z_5	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	5
Z_6	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	4
Z_7	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	6
Z_8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	7
Z_9	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	5
Z_{10}	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	8
Z_{11}	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	8
Z_{12}	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	6

По кожному одиничному сигналу проглядається стовпець до появи нульового сигналу. По нульовим значенням сигналу у стовпці вибираються функціональні елементи, з яких складається мінімізована таблиця. Мінімізація таблиці триває до виявлення одного функціонального елемента, починаючи з якого проводиться діагностика. Якщо обраний функціональний елемент справний, він викреслюється з діагностичної таблиці й алгоритм запускається заново, але без цього елемента.

Також слід зауважити:

- якщо в таблиці зустрічається рядок з одних нулів, то відповідний функціональний елемент діагностується першим;
- якщо рядок з максимальним значенням функції переваги розташований у середній частині таблиці, то проводиться перегляд стовпців як вгору, так і вниз від цього рядка, при цьому будуються дві окремі матриці;
- якщо зустрічаються два рядки з однаковим максимальним значенням функції переваги, то вибирається будь-який з них.

Як бачимо з табл. 1, функція переваги для блоків Z_{10} і Z_{11} має рівне значення. Виключивши з таблиці, наприклад, блок Z_{11} , побачимо, що максимальне значення функції переваги W у блока Z_{10} і воно знаходиться посередині таблиці діагностики. Для вирішення цієї проблеми будується допоміжна таблиця (табл. 2). Таблиця 2

Приклад допоміжної таблиці

	S_9	S_{12}	W
Z_9	0	1	1
Z_{12}	0	0	2

Виходячи з табл. 2, більший пріоритет на діагностику належить блоку Z_{12} . Таким чином проходиться вся таблиця діагностики і будується послідовність тестів.

Основною перевагою цього алгоритму є пріоритетне вибудовування тестів для діагностики, що веде за собою скорочення необхідного часу і ресурсів для проведення діагностики. Цей алгоритм може бути підключений до будь-якого методу, який передбачає на виході таблицю функцій несправностей, побудовану за певним алгоритмом.

Метод діагностики на рівні логічних елементів. D-Алгоритм. В основі цього алгоритму лежать поняття логічних кубів різного виду і правила дії над кубами, що робить зручним реалізацію алгоритму на комп'ютері.

Під логічним кубом розуміється вектор розмірністю n , кожна координата якого має одне з п'яти значень: 0, 1, *, d , d^* . Значення 0 і 1 представляють звичайні булеві значення, * – символ невизначеного значення.

Над парою логічних кубів $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ і $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ можна робити операцію перетину, яка виконується покоординатно за такими правилами (3):

$$a_i \cap b_i = \begin{cases} a_i, \text{ якщо } b_i = x, a_i = b_i, \\ b_i, \text{ якщо } a_i = x_i \\ \text{невизначено в інших випадках} \end{cases} \quad (3)$$

Якщо хоча б для однієї координати результат перетину не визначений, то і перетин кубів A і B вважається порожнім.

Кожному логічному елементу схеми відповідає три набори кубів елемента, які використовуються при побудові тестів: вироджені (сингулярні) куби, d -куби елементів і d -куби несправностей.

Вироджені (сингулярні куби) дозволяють представити таблицю істинності елемента у скороченому вигляді. У цих кубах входам, що не впливають на значення виходу, присвоюється значення "*". На рис. 3 представлені приклади сингулярних кубів.

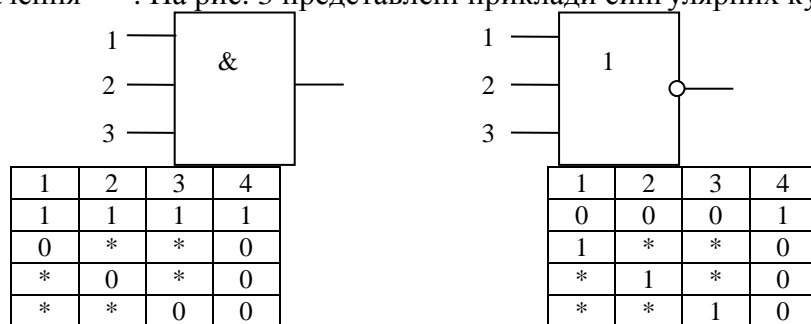


Рис. 3. Приклад сингулярних кубів

d -куби елементів дозволяють вказати ситуації, коли сигнал на деякому вході або групі входів визначає значення виходу елемента. Для їх побудови можна використовувати пари вироджених кубів A і B , таких, що значення на вихідній координаті в A і B різні. Такій парі відповідає d -куб $G = (g_1, \dots, g_n)$, визначений таким чином (операція d -перетину) (4):

$$g_i = \begin{cases} d_i, \text{ якщо } a_i = 1, b_i = 0 \\ d^*, \text{ якщо } a_i = 0, b_i = 1 \\ a_i \cap b_i \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad (4)$$

Порівнюючи подібним чином кожну пару вироджених кубів, отримаємо безліч d -кубів елемента. У кожному з них вихідна координата і принаймні одна з вхідних дорівнюють d або d^* .

У d -кубі несправності координати, які зіставлені входам елемента, мають значення, при яких така несправність спостерігається по виходу елемента. Координата, яка зіставлена виходу, дорівнює d , якщо при справному стані на виході елемента "1", і дорівнює d^* , якщо при справному стані на виході "0". Для однієї несправності може існувати кілька d -кубів несправності.

У d -алгоритмі можна виділити такі три основні операції побудови тестового набору для перевірки заданої несправності.

1. Вибирається d -куб заданої несправності.
2. Активізуються можливі шляхи від елемента з обраною несправністю до контрольованого виходу. При цьому застосовується операція перетину d -куба несправності з d -кубами всіх елементів шляхів від несправності до виходу схеми (пряма фаза d -алгоритму).
3. Виконується перетин отриманого в п. 2 d -куба з сингулярними кубами інших елементів з метою забезпечення умов активізації, заданих цим d -кубом (зворотна фаза d -алгоритму).

Процедура починається з вихідного елемента, а потім розглядаються послідовно елементи з убуваючими номерами, виходи яких рівні 0 або 1. При цьому вирішується така задача. За відомим сигналом на виході елемента (0 або 1) визначаються сигнали на входах елемента (якщо вони невизначені). Для цього виконується операція перетину отриманих у результаті виконання попереднього кроку алгоритму кубів із стисненими таблицями істинності елемента. Якщо отримано непорожній перетин, то він визначає вхідний набір, що перевіряє цю несправність. Алгоритм забезпечує знаходження хоча б одного перевіряючого набору, якщо він існує. Під час розгляду всіх можливих ланцюжків непорожніх перетинів обчислюються всі перевіряючі набори і формується перевіряюча функція.

Метод еквівалентної нормальної форми. У цьому методі для вихідної схеми будується їй еквівалентна дворівнева схема, яка описується спеціальною формулою – еквівалентна нормальна форма (ЕНФ). ЕНФ реалізує ту ж логічну функцію, що і початкова схема, а також відображає особливості її структури. Кожна несправність вихідної схеми за допомогою певних правил «проектується» на ЕНФ, при цьому знаходиться безліч несправностей ЕНФ, еквівалентну розглянутій несправності вихідної схеми. Обчислення функції несправності проводиться не для вихідної схеми, а для схеми, яка описується ЕНФ.

Розглянемо побудову ЕНФ на прикладі схеми, представленої на рис. 4.

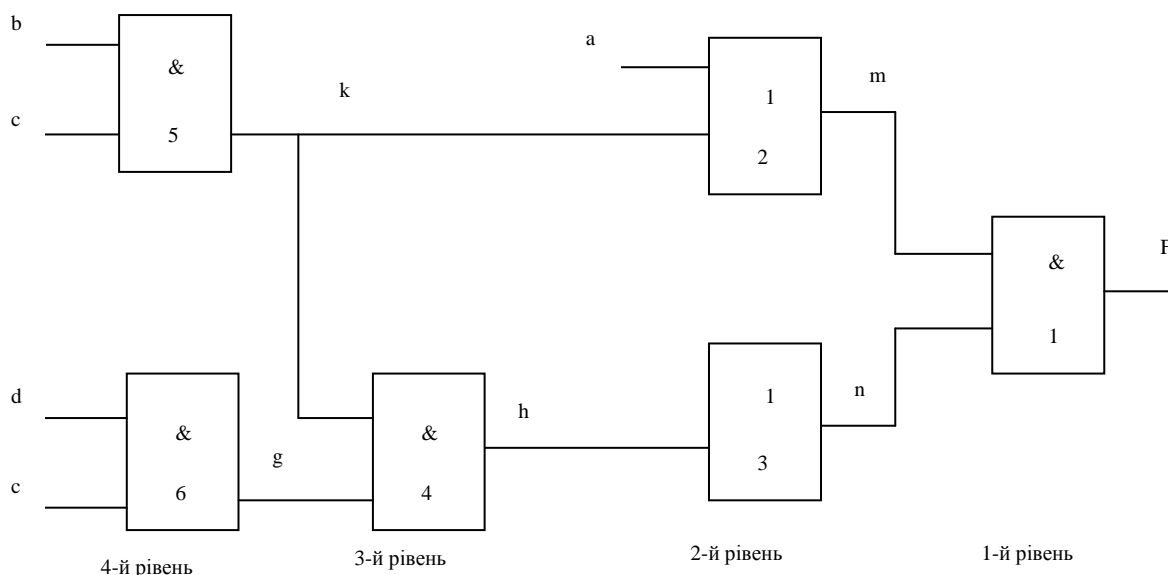


Рис. 4. Комбінаційна схема з розгалуженнями

ЕНФ знаходиться за допомогою серії послідовних підстановок, яка починається з вихідного елемента схеми. Вихід елемента визначається через входи із зазначенням індексу, який відповідає цьому елементу (5):

$$F = (mn)_1. \tag{5}$$

Далі в отриманому виразі змінні, що відповідають виходам елементів рівня 2, визначаються через входи певним чином (6):

$$F = ((a \vee k)_2 (\bar{h})_3)_1. \tag{6}$$

Описаний процес продовжується доти, поки не будуть розглянуті елементи останнього рівня. У самому останньому виразі розкриваються дужки при збереженні індексів елементів.

Для виразу в ЕНФ існують такі правила:

- ЕНФ є логічною сумою логічних добутків, тобто нормальною формою булевої функції;
- аргументами ЕНФ є букви ЕНФ, під якими розуміються змінні або їх заперечення з індексом послідовності елементів певного шляху, що зв'язує цю змінну з виходами схеми;
- число букв ЕНФ у загальному випадку більше числа вхідних змінних схеми, оскільки той же самий вхід схеми може бути пов'язаний з виходом кількома шляхами;
- ЕНФ може містити надлишкові кон'юнкції;
- якщо літера, що входить до ЕНФ, не має заперечення, то їй відповідає шлях з парним числом інверсій; в іншому випадку – з непарним числом інверсій. Для спрощення запису ЕНФ послідовності елементів шляхів позначаються цифрами.

Результуюча ЕНФ має вигляд (7):

$$F = a_1 \bar{b}_4 \vee a_1 \bar{c}_4 \vee a_1 \bar{d}_3 \vee a_1 \bar{a}_3 \vee b_2 c_2 \bar{b}_4 \vee b_2 c_2 \bar{c}_4 \vee b_2 c_2 \bar{d}_3 \vee b_2 c_2 \bar{a}_3. \tag{7}$$

Для кожної несправності вихідної схеми знаходяться її проекція на ЕНФ у вигляді фіксації її літер у константи 0 або 1. Для визначення проекцій несправностей будується таблиця шляхів. Рядки таблиці відповідають буквам ЕНФ, а графи – несправностям, що входять в контрольну множину. Приклад таблиці шляхів представлений в табл. 3.

Таблиця 3

Приклад таблиці шляхів

Букви ЕНФ	Несправності									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
a_1	1	1								
\bar{a}_3				1						0
b_2	1		1			1	1			
\bar{b}_4				1	0	0	0			
c_2	1		1			1		1		
\bar{c}_4				1	0	0		0		
\bar{d}_3				1					0	

Таблиця шляхів заповнюється за такими правилами:

- на перетині j -ї графі і i -го рядка в елементі таблиці проставляється 0 або 1, якщо несправність, що відповідає j -й графі лежить на шляху, який відповідає i -му рядку;
- у графі таблиці ставиться 1, якщо після несправності по цьому шляху є парна кількість інверсій, якщо інакше – проставляється 0.

Проекція несправності на ЕНФ визначається за такими правилами:

- несправність, що відповідає j -й графі, фіксує в константи всі букви ЕНФ, у рядках яких у графі j проставлені 0 або 1;

- якщо на перетині j -ї графі і i -го рядка в елементі таблиці проставлена 1, то вид фіксації (0 або 1) i -ї букви ЕНФ відповідає виду несправності; якщо у зазначеному елементі проставлений 0, то вид фіксації букви ЕНФ протилежний виду несправності.

За функціями несправності визначаються перевіряючий і діагностичний тести.

Виходячи з алгоритму функціонування, основним недоліком є значне споживання пам'яті, внаслідок того, що потрібно зберігати опис всієї схеми в ЕНФ. Також потреба в зайвій пам'яті виникає через те, що ЕНФ часто не є мінімальною.

Висновки. Таким чином, у статті проаналізовані методи та алгоритми пошуку несправностей у радіоелектронній апаратурі. У результаті проведеного аналізу вказані недоліки та переваги кожного з методів, показано, що математичне представлення моделей об'єктів діагностики є необхідною ланкою розроблення діагностичних тестів для пошуку несправностей функціональних блоків радіоелектронних пристроїв.

Список використаних джерел

1. *Вольнский А. А.* Разработка экспертных систем технического диагностирования средств связи и автоматизации : пособие по дипломному проектированию / А. А. Вольнский, В. Ф. Шаповалов, Л. Н. Сакович. – К. : КВВИУС, 1987. – 226 с.
2. *Анализ отказов изделий электронной техники* / А. С. Мирошниченко, С. В. Ленков, З. А. Фишер, Б. И. Уродов ; под ред. Н. В. Авдеевой. – М. : ЦООНТИ ЭКОС, 1987. – 168 с.
3. *Техническая диагностика и ремонтпригодность средств и комплексов связи* / под ред. С. П. Ксенза. – Л. : ВАС, 1982. – 230 с.
4. *Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем* / П. С. Давыдов. – М. : Радио и связь, 1988. – 256 с.