

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**РОБОЧА ПРОГРАМА, ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ  
ВКАЗІВКИ**

**до курсової роботи «Побудування та аналіз діагностичної моделі  
мікропроцесорної системи керування АТЗ» з дисципліни  
“Діагностика ЕСКТЗ”  
для студентів спеціальності 7.092201 всіх форм навчання**

Затверджено методичною  
радою університету,  
протокол № від 00.00.2010

Харків ХНАДУ 2010

Укладачі: Ю.М.Бороденко, Г.К. Калянов

Кафедра автомобільної електроніки.

Навчальна дисципліна “Діагностика ЕСКТЗ” відноситься до групи спеціальних дисциплін з спеціальності 7.092201 “Електричні системи та комплекси транспортних засобів” на основі базової вищої освіти з напрямлення 6.0922 “Електромеханіка”.

Предметом навчальної дисципліни є аналіз технічного стану електронних та мікропроцесорних систем, які використовуються на автотранспортних засобах, за допомогою сучасних діагностичних приладів та обладнання.

*Основним завданням вивчення дисципліни є придбання знань та навиків кваліфіковано аналізувати стан електронних та мікропроцесорних систем автомобіля, вміло користуватися універсальним та спеціалізованим обладнанням для діагностування цих систем, знаходити і усувати пошкодження електронних та мікропроцесорних систем транспортних засобів. Склад тем дисципліни наведено в першому розділі методичних вказівок.*

*Мета курсової роботи – набуття студентами практичних навичок у побудуванні діагностичних моделей, визначенні діагностичних тестів та складення алгоритмів діагностування систем керування АТЗ. За результатами виконання контрольної роботи здійснюється оцінка засвоєння студентами матеріалів із дисциплін “Діагностика електричних систем та комплексних транспортних засобів” за основною темою «Принципи побудування бортових діагностичних систем» складеної робочої програми. Приступати до виконання курсової роботи слід після вивчення необхідного матеріалу.*

Курсові роботи розроблені для 51 – варіанту. Варіант до виконання визначається двома останніми цифрами шифру (номера залікової книжки студента). Якщо останні дві цифри більш за 50, то для визначення варіанта треба відняти 50 (наприклад, номер залікової книжки 354658: дві останні цифри – 58; віднімаємо  $58-50=8$  відповідний варіант завдання 08).

Оформлення курсової роботи виконується на аркушах формату А4. В ході вирішення задач, що перелічені в завданні треба давати текстові пояснення наводити необхідні рисунки та таблиці. Загальний обсяг курсової роботи складає 24...30 аркушів машинописного тексту. На титульному листі курсової роботи вказується назва дисципліни, номер групи, прізвище і ініціали виконавця та варіант завдання.

# **РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ**

## **Розділ № 1 Засоби та методи діагностування електронних блоків**

### ***Тема 1 Діагностування регуляторів напруги***

Загальні принципи діагностування електричних блоків автомобіля в умовах електровідділення за допомогою універсальних вимірювальних та спеціалізованих діагностичних приладів. Особливості регулювання та діагностування регуляторів напруги. Засоби та методи діагностування контактних-транзисторних, безконтактних та інтегральних регуляторів напруги. Методи локалізації несправного елемента або пошкодження монтажу в регуляторах на дискретних елементах.

### ***Тема 2 Діагностування комутаторів струму систем запалювання***

Особливості діагностування електронних комутаторів струму системи запалювання та заходи безпеки. Засоби та методи діагностування комутаторів контактних-транзисторних систем, безконтактних систем, систем з нормуванням часу накопичення енергії. Методи локалізації несправного елемента або пошкодження монтажу. Нормативні значення діагностичних параметрів кіл низької напруги. Особливості перевірки моноблоків модулів запалювання. Засоби і методи діагностування стану датчиків системи запалювання.

### ***Тема 3 Діагностування пристроїв автоматичного керування та контролю***

Особливості діагностування електронних приладів релаксаційного типу та нормативні діагностичні параметри. Засоби та методи визначення працездатності пристрою. Локалізація пошкоджень реле показників поворотів, склоочистників та сигналізаторів аварійного стану. Особливості діагностування частотно-параметрованих пристроїв та нормативні діагностичні параметри. Засоби та методи діагностування блоків за вихідними параметрами. Застосування універсальних вимірювальних приладів для локалізації несправного елемента або пошкодження монтажу. Методи діагностування елек-

тронних тахометрів, блоків керування ЕПХХ, реле блокування стартера та реле захисту від перевищення обертів ДВЗ.

## **Розділ № 2 Аналіз структури мікропроцесорних систем керування як об'єкту діагностики**

### ***Тема 4 Загальні відомості про системи керування АТЗ***

Принципи побудування мехатронних систем (об'єкт керування; вхідні сигнали та керуючі впливи системи керування; цільова функція; впливи, що збурюють; вихідні параметри, що підлягають оптимізації). Класифікація систем керування АТЗ за призначенням, способом реалізації та гнучкістю керування. Структура, склад та призначення елементів комплексних мікропроцесорних систем керування. Датчики та виконавчі пристрої системи. Особливості структури та функції бортового контролера. Реалізація алгоритму, що оптимізує режими ДВЗ.

### ***Тема 5 Характеристика систем керування ДВЗ***

Класифікація систем керування ДВЗ. Класифікація, особливості улаштування та функціонування систем паливоподачі та впорскування палива. Режими паливоподачі систем керування інжекторними ДВЗ. Алгоритми функціонування систем: охолодження ДВЗ, кондиціонування повітря, рециркуляції відпрацьованих газів, уловлювання випарів бензину, імобілайзеру. Сигнали та діагностичні параметри датчиків і виконавчих пристроїв.

### ***Тема 6 Принципи побудування бортових діагностичних систем***

Задачі бортових діагностичних систем та формати моніторингу. Побудування функціональної діагностичної моделі мікропроцесорної системи керування. Складання функцій перетворення. Апаратні та програмні функціональні блоки системи. Критерії оптимізації алгоритмів діагностування. Встановлення розподілу ймовірності пошкоджень елементів системи. Визначення вартісних показників перевірок. Побудування алгоритмів діагностування та програм моніторингу параметрів системи. Оцінка ефективності впровадження програм діагностування.

## **Розділ № 3 Засоби діагностування мікропроцесорних систем керування АТЗ**

### ***Тема 7 Діагностичні прилади та устаткування***

Класифікація приладів для діагностування автомобільних мікропроцесорних систем керування за інформаційною ознакою. Загальна характеристика спеціальних пристроїв (конекторів, вимірювальних адаптерів, спеціальних тестерів, імітаторів сигналів датчиків). Технічна характеристика універсальних вимірювальних приладів (авто тестерів, автомобільних осцилографів). Функціональні можливості сканерів, мультитестерів, системних тестерів, діагностичних адаптерів, портативних мотор тестерів. Підвищення універсальності застосування комп'ютерних діагностичних приладів за рахунок використання програмно-інформаційних пристроїв (картриджів, інтегрованих KTS карт, автомобільних інформаційних систем)

### ***Тема 8 Бортові системи самодіагностики***

Загальна характеристика та функції системи самодіагностики. Процедура функціонування. Обмеження системи. Вилучення діагностичної інформації. Контрольна лампа, повільні коди, швидкі коди. Функції діагностичного сканера та методика користування. Додаткові функції системи. Аварійний та адаптивний режими функціонування системи самодіагностики. Відгуки системи на пошкодження кіл датчиків. Зміст діагностичної інформації (процедурної, про пошкодження елементів та кіл, про характеристики сигналів, про пошкодження систем, про відхилення робочих процесів.

## **Розділ № 4 Методи діагностування мікропроцесорних систем керування**

### ***Тема 9 Етапи технічного обслуговування та діагностична документація***

Вимоги до кваліфікації оператора-діагноста. Застереження при діагностуванні мікропроцесорних систем. Етапи діагностування (опитування власника, операції початкового огляду та перевірки загального стану, діагностування за симптомами прояву несправності та за допомогою сканеру). Зміст діагностичних карт (початкових

перевірок, перевірки каналу самодіагностики, перевірки окремих вузлів та агрегатів, потенціалів рознімання ЕБК, симптомів несправностей, тлумачення кодів несправностей, проведення перевірок за вилученими кодами). Апаратне забезпечення діагностичних карт. Додаткова діагностична документація (бланки опитування та перевірок, значення еталонних параметрів сигналів на визначених режимах, схеми електричних підключень елементів системи)

### ***Тема 10 Технологія діагностування систем керування ДВЗ***

Методика проведення первинних перевірок діагностичної системи. Перелік перевірок вузлів та агрегатів при проведенні чергових та позачергових технічних обслуговувань. Локалізація несправностей за симптомами їх прояву. Директорії та режими діагностичного сканера. Діагностування за кодами несправностей та використання карти рознімання контролера. Додаткові режими і опції діагностичних програм при використанні діагностичного адаптеру та персонального комп'ютера. Особливості визначення прихованих та нестійких несправностей.

Склад та режими функціонування систем керування дизельними двигунами. Первинні перевірки та регулювання куту випередження впорскування палива і обертів холостого ходу. Використання електронного, імпульсного, оптичного та стробоскопічного тахометрів. Діагностичні параметри та несправності паливних форсунок, паливного насосу високого тиску, свічок накаливання та факельних свічок. Специфічні діагностичні повідомлення сканерів. Пошук несправностей за симптомами їх прояву.

# КУРСОВА РОБОТА

## Завдання

Згідно з завданням потрібно:

- 1) побудувати функціональну діагностичну модель (ДМ) системи керування;
- 2) скласти функції перетворення блоків діагностичної моделі;
- 3) сформувати таблицю несправностей моделі;
- 4) визначити оптимальний діагностичний тест;
- 5) встановити розподіл ймовірностей відмов функціональних блоків системи;
- 6) побудувати алгоритми діагностування за критеріями вартості, інформативності та результативності;
- 7) обрати переважний алгоритм діагностування за умовною вартістю;
- 8) Оцінити ефективність впровадження програми діагностики.

Система керування (рис.1) складається з трьох датчиків вимірювальної інформації (Д), двох виконавчих пристроїв (ВП) та електронного блоку керування (ЕБК), який перетворює сигнали датчиків до вихідних сигналів керування виконавчими пристроями.

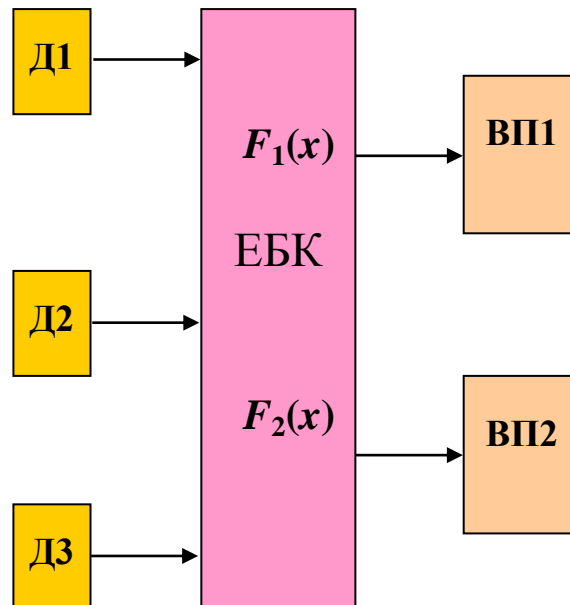


Рисунок 1 – Функціональна схема системи керування



Вихідні дані для побудовання функціональної діагностичної моделі системи керування наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для побудовання діагностичної моделі

Варіант	ВП1	ВП2	Д1	Д2	Д3	$F_1$	$F_2$	Варіант	ВП1	ВП2	Д1	Д2	Д3	$F_1$	$F_2$
00	1	2	1	2	4	1, 2	2, 3	27	2	1	9	11	13	1, 2	2, 3
01	2	3	2	5	6	1, 3	2, 3	28	3	2	10	3	6	1, 3	2, 3
02	3	4	3	4	7	1, 2	1, 3	29	4	3	11	1	8	1, 2	1, 3
03	5	6	4	5	8	1, 2	2, 3	30	5	4	12	6	4	1, 2	2, 3
04	7	8	5	7	9	1, 3	2, 3	31	6	5	13	1	14	1, 3	2, 3
05	2	4	6	7	10	1, 2	1, 3	32	7	6	14	6	11	1, 2	1, 3
06	2	5	7	8	11	1, 2	2, 3	33	8	7	15	7	12	1, 2	2, 3
07	2	6	8	9	12	1, 3	2, 3	34	3	1	1	6	8	1, 3	2, 3
08	2	7	9	10	13	1, 2	1, 3	35	4	2	2	8	10	1, 2	1, 3
09	2	8	10	11	14	1, 2	2, 3	36	5	3	3	6	11	1, 2	2, 3
10	3	5	11	12	15	1, 3	2, 3	37	6	4	4	7	10	1, 3	2, 3
11	3	6	12	3	1	1, 2	1, 3	38	7	5	5	10	3	1, 2	1, 3
12	3	7	13	4	6	1, 2	2, 3	39	8	6	6	3	1	1, 2	2, 3
13	3	8	14	5	3	1, 3	2, 3	40	4	1	7	2	3	1, 3	2, 3
14	4	6	15	6	4	1, 2	1, 3	41	5	2	8	4	9	1, 2	1, 3
15	4	7	1	3	5	1, 2	2, 3	42	6	3	9	2	11	1, 2	2, 3
16	4	8	2	3	6	1, 3	2, 3	43	7	4	10	2	7	1, 3	2, 3
17	5	7	3	5	10	1, 2	1, 3	44	8	5	11	4	14-	1, 2	1, 3
18	5	8	4	6	8	1, 2	2, 3	45	5	1	12	5	1	1, 2	2, 3
19	6	8	5	9	1	1, 3	2, 3	46	6	2	13	6	15	1, 3	2, 3
20	1	3	6	1	3	1, 2	1, 3	47	7	3	14	4	5	1, 2	1, 3
21	1	4	7	1	5	1, 2	2, 3	48	8	4	15	1	4	1, 2	2, 3
22	1	5	8	1	3	1, 3	2, 3	49	7	5	1	7	10	1, 3	2, 3
23	1	6	9	1	10	1, 2	1, 3	50	8	6	2	7	9	1, 2	1, 3
24	1	7	10	1	11	1, 2	2, 3								
25	1	8	11	3	13	1, 3	2, 3								
26	4	5	12	4	9	1, 2	1, 3								

Відповідно до номеру варіанта в табл.1 задано функції перетворення  $F_i$  зовнішніх впливів системи  $X_i$  до керуючих впливів на об'єкт керування  $Y_i$ . Окремі периферійні пристрої потребують жив-

лення від бортової мережі +12В або стабілізованої напруги +5 В. Електронний блок системи теж підключається до мережі живлення.

До складу ЕБК входять схеми узгодження сигналів датчиків (СУ), канали (програми) перетворення в середовищі мікропроцесора (КП) та апаратні драйвери для узгодження виконавчих пристроїв (ДР). Живлення функціональних блоків ЕБК та датчиків забезпечується через стабілізоване джерело напруги (ПН) +5 В. В табл. 2 і 3 приведені атрибути датчиків та виконавчих пристроїв систем керування за якими складається діагностична модель та визначається складність пристрою, щодо встановлення розподілу ймовірності їх відмов.

В табл. 2 датчики 2, 7, 8, 10, 12, 14 – потребують живлення від мережі +5 В, а датчик 12 – від обох мереж +5 В та +12 В. В табл. 3 драйвери ключів живляться напругою +5 В від стабілізатора (перетворювача напруги).

Транзисторні ключі в драйверах виконані за схемою з відчинним колектором (комутація з нижньої виконавчого пристрою) не потребують напруги живлення бортової мережі 12 В. Для роботи мікропроцесора та схем узгодження, які містять АЦП, використовується опорна частота кварцового резонатора (база часу БЧ).

При визначенні оптимального діагностичного тесту для всіх варіантів завдання прийняти вартості перевірок: перетворювача напруги (стабілізатора) – 12,0 грн.; бази часу (опорного генератора) – 16,0 грн.; виконавчих пристроїв – 8,4 грн.; датчиків – 4,6 грн.; схем узгодження сигналів датчиків – 28,0 грн.; драйверів виконавчих пристроїв – 30,0 грн.; каналів (програм) перетворювання сигналів керування – 40,0 грн.;

При встановленні розподілу ймовірності несправних станів елементів системи прийняти, що: 20% відмов системи пов'язані з несправністю датчиків; 50% - виконавчих пристроїв; 30% - електронного блоку керування. При цьому вважати, що: 40% відмов ЕБК пов'язано з пошкодженнями пристроїв вхідної обробки (схем узгодження); 30% пошкоджень викликані непрацездатністю мікро ЕОМ та програмного забезпечення; 10% - відмовою драйверів виконавчих пристроїв; 20% - перетворювачів напруги (стабілізаторів напруги та кварцових резонаторів).

Таблиця 2 – Атрибути датчиків систем керування

№ Дат.	Призначення датчика	Принцип дії	Складність	Вид сигналу	Конструкція	Схема узг.-ня
1	Температури рідини	Терморезистивний	Безпосереднього перетворення	Аналоговий	Стаціонарні	Подільник АЦП
2	Частоти обертання	Фотоелектричний	Непрямого перетворення	Цифрований	Обертаючі	Лічильник
3	Положення КВ	Індукційний	Безпосереднього перетворення	Імпульсний	Стаціонарні	Формувач Лічильник
4	Детонації	П'єзоелектричний	Безпосереднього перетворення	Аналоговий	Стаціонарні	Формувач АЦП
5	Положення ДЗ	Потенціометричний	Безпосереднього перетворення	Аналоговий	Поворотні	АЦП
6	Акселератора	Потенціометричний	Безпосереднього перетворення	Аналоговий	Обертаючі	АЦП
7	Швидкості руху	Магнітоелектричний	Мехатронний	Цифрований	Обертаючі	Лічильник
8	Тиску	П'єзоелектричний	Мехатронний	Аналоговий	Мембранні	АЦП
9	Кисню	Електрохімічний	Безпосереднього перетворення	Дискретний*	Стаціонарні	Лічильник
10	Фази	Магнітоелектричний	Мехатронний	Цифрований	Стаціонарні	Лічильник
11	Сигналу за- палювання	Електромагнітний	Безпосереднього перетворення	Імпульсний	Обертаючі	Формувач Лічильник
12	Витрати повітря	Термоанемометричн.	Мехатронний	Двійковий**	Стаціонарні	Без СУ
13	Закриття ДЗ	Контактний	Безпосереднього перетворення	Дискретний*	Кінцеві	Подільник
14	Прискорення	П'єзоелектричний	Мехатронний	Двійковий**	Стаціонарні	Без СУ
15	Витрати палива	Магнітоелектричний	Непрямого перетворення	Цифрований	Турбінний	Лічильник

Таблиця 3 – Атрибути виконавчих пристроїв систем керування

№ ВП	Призначення	Режим функціонування	Потужність, Вт	Навантаж., %	Живлення, В	Схема драйверу
1	Паливна форсунка	Вібраційний	8	80	12	Ключі, драйвери ключів
2	Модуль запалювання	Циклічний	50	100	12	Драйвери ключів
3	Регулятор холостого ходу	Випадковий	4	60	5	Логічні схеми
4	Клапан системи рециркуляції	Випадковий	1,8	70	12	Ключі
5	Підігрівач повітря	Постійний	80	150	12	Ключі
6	Привід ДЗ	Постійний	16	90	5	ЦАП
7	Соленоїд розподільчого вау	Випадковий	130	120	12	Ключі
8	Сигналізатор пошкоджень	Випадковий	3	50	12	Ключі

При оцінці ефективності впровадження програми діагностики прийняти кількість робочих днів за рік 250 днів, а кількість автомобілів з системами керування, що підлягають діагностуванню - 4 автомобіля.

### **Вказівки до виконання курсової роботи**

#### ***1. Побудування функціональної діагностичної моделі***

Функціональна діагностична модель (ДМ) - модель блочної структури, в якій кожний блок виконує певну функцію перетворення вхідного сигналу у вихідний. Припускається, що кожний блок моделі може знаходитися в двох станах – справному або несправному. Функціональна ДМ дозволяє локалізувати несправність до рівня функціонального блока. Щоб задати функціональну ДМ системи, необхідно виконати наступні операції:

1. Визначити всі можливі технічні стани системи. Слід вважати, що несправним може бути будь-який але тільки один елемент системи (функціональний блок моделі  $Q_i$ ).

2. Вказати, які комбінації допустимих впливів  $X_i$  необхідно додати до кожного блока  $Q_i$  для одержання допустимої реакції  $Y_i$ . Під допустимою реакцією розуміють значення вихідного параметра блока, що знаходиться в справному стані.

3. Задати схему об'єкта діагностики та означити блоки і функціональні зв'язки між ними.

При побудованні блочної схеми функціональної ДМ необхідно дотримуватися вимоги – функціональний блок в схемі може мати декілька входів, але тільки один вихід (виконувати певну функцію). Схема функціональної ДМ системи керування будується на підставі інформації, що наведена в табл. 1...3.

## ***2. Складання функцій перетворення***

Функціональна ДМ може надаватися в аналітичному вигляді як сукупність функцій перетворення. Вихідні функції блоків моделі  $Y_i$  отримують на підставі її блочної схеми за положеннями алгебри логіки. Наприклад, логічна функція  $Y_1 = X_1 X_2 Q_1$  показує, що її значення допустимі ( $Y_1 = 1$ ), якщо одночасно є допустимими значення вхідних параметрів блоку ( $X_1 = 1, X_2 = 1$ ) та блок справний ( $Q_1 = 1$ ). Отримані вихідні функції перетворюються до вигляду  $Y = XQ$  для всіх функціональних блоків методом підстановки.

## ***3. Формування таблиці несправностей***

Функції перетворення  $Y = XQ$  дозволяють отримати ДМ в універсальній абстрактній формі у вигляді таблиці несправностей.

Таблиця несправностей (ТН) – таблиця, в якій у рядках записані технічні стани системи  $S_i$ , у стовпцях – елементарні перевірки  $\Pi_j$ .

Таблиця несправностей заповнюється на підставі функцій перетворення по рядкам або стовпцям. При цьому, множина станів  $S_i$  в ТН розглядається як перелік несправних блоків  $Q_i = \langle 0 \rangle$ , а множина перевірок  $\Pi_j$  - як значення функцій  $Y_j$ . Вважається, що вхідні параметри  $X_1, X_2, X_3$  – мають допустиме значення «1». Стан  $S_0$  відповідає справному стану системи.

Таблиця несправностей може бути скорочена без втрати діагностичних властивостей за наступними правилами:

1. Якщо в ТН є перевірки (стовпці), що мають тільки «0» або тільки «1», то їх можна видалити.
2. Якщо в ТН є однакові стовпці, то їх можна звести в один.

#### **4. Визначення оптимального діагностичного теста**

Діагностичний тест це сукупність перевірок достатніх для локалізації усіх заздалегідь заданих несправностей технічної системи. Розрізняють мінімальні та оптимальні діагностичні тести.

Мінімальний діагностичний тест (МДТ) – тест, який складається з мінімального переліку перевірок, що необхідні для визначення усіх заздалегідь заданих несправностей (станів системи).

Оптимальний діагностичний тест (ОДТ) – тест, оптимізований за заданим критерієм. Тест, мінімізований за вартістю, має мінімальну сумарну вартість перевірок, що входять до його складу. Для визначення МДТ або ОДТ використовують таблицю покриттів.

Таблиця покриттів (ТП) – таблиця, отримана на підставі таблиці несправностей, стовпцям якої відповідають елементарні перевірки із множини перевірок  $\Pi_j$ , а рядками – елементи множини  $U_e$ , що складається з пар розрізнявальних станів  $S_i, S_k$ . Таблиця покриття формується наступним чином. На перехрещенні стовпця  $\Pi_j$  та рядка  $U_e$  ставиться значення двійкової змінної  $A_{j,e}$  за умови, що:  $A_{j,e}=1$ , якщо результат ТН –  $R_{i,j} \neq R_{k,j}$ ;  $A_{j,e}=0$  при  $R_{i,j} = R_{k,j}$ . Як правило, значення «0» в ТП не проставляють. Таблиця покриттів має наступні властивості:

1. Якщо в ТП утворюється пустий рядок, то пара станів, що відповідає цьому рядку, нерозрізняльна 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 видалити з таблиці.

Оптимальний діагностичний тест отримують шляхом перекриття розрізнявальності в таблиці покриттів (методом крізної одиниці). Для цього сформовану ТП доповнюють значеннями вартостей перевірок (див. завдання).

Метод кризної одиниці полягає в виборі перевірок для порівнювальних станів (рядків ТП) для яких виконується умова розрізнювальності (наявність одиниці). Як що при виборі виникають альтернативні перевірки то обирається перевірка з меншою вартістю. При цьому слід мінімізувати кількість обраних перевірок які складають ОДТ (не додавати нових перевірок до тесту, якщо є альтернативна перевірка яка вже увійшла до складу ОДТ). Щоб здійснити такий вибір більш оперативно рекомендується спочатку обрати рядки (пари станів), які розрізняються тільки за результатами однієї перевірки. Відповідні перевірки додати до складу ОДТ (перевірки які не можна обминути). Потім розглядати альтернативні перевірки за методом, що пропонується.

### ***5. Встановлення розподілу ймовірностей відмов***

Для несправних систем (систем, що відмовили), розподіл ймовірностей відмов елементів можна символізувати

$$Д\%+ЕБК\%+ВП\%=100\% . \quad (1)$$

Розподіл ймовірностей відмов по елементах системи визначають методом вагових коефіцієнтів (МВК). Величина вагового коефіцієнту  $k_v$  визначає відносну (по групі елементів) ймовірність відмови або безвідмовної роботи кожного елемента. Найбільше значення  $k_v=1$  обирається для найкращого (або найгіршого) елемента в групі з боку надійності.

Датчики системи керування оцінюють за чотирма ( $m=4$ ) коефіцієнтами якості. Перший коефіцієнт  $k_{д1}$  - визначає надійність датчика, пов'язану з принципом його дії. Другий та третій коефіцієнти  $k_{д2}$ ,  $k_{д3}$  - враховують складність функції (пристрою) перетворення інформації. За четвертим коефіцієнтом  $k_{д4}$  - оцінюють надійність датчика, що залежить від особливості конструктивного улаштування пристрою. Коефіцієнти, що наведені у табл. 4 отримують на підставі аналізу даних про наробку їх на відмову, шляхом статистичних спостережень або за паспортними даними чи технічними умовами на виріб.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів якості датчиків систем керування

Принцип дії	$k_{Д1}$	Складність	$k_{Д2}$	Вид сигналу	$k_{Д3}$	Конструкція	$k_{Д4}$		
Потенціометричні	0,6	Безпосереднього перетворення	1,0	Дискретний	1,0	Поворотні	0,9		
П'єзоелектричні	0,8					Струнні			
Індукційні	1,0			Аналоговий	0,8	Обертаючі	0,7		
Індуктивні	0,9								
Ємнісні	0,9			Імпульсний	0,9	Стационарн.	1,0		
Фотоелектричні	0,65								
Тензоелектричні	0,7			Цифровий	0,7	Кінцеві	0,6		
Електромагнітні	0,85								
Магнітоелектричні	0,92			Непрямого перетворення	0,8	Двійковий	0,6	Мембранні	0,8
Термоелектричні	0,5								
Терморезистивні	0,84	Мехатронного типу	0,7						
Термоанемометричні	0,4								
Контактні	0,5								
Ультразвукові	0,55								
Інфрачервоні	0,72								
Електрохімічні	0,3								

Надійність виконавчих пристроїв оцінюють за чотирма коефіцієнтами:  $k_{ВП1}$  - визначається складністю улаштування та наробкою на відмову;  $k_{ВП2}$  - враховує режим функціонування пристрою;  $k_{ВП3}$  - залежить від номінальної потужності пристрою (струму, що споживається);  $k_{ВП4}$  - враховує режим навантаження (табл. 5).

Таблиця 5 – Значення коефіцієнтів якості виконавчих пристроїв

Вид пристрою	$k_{ВП1}$	Режим функціонування	$k_{ВП2}$	Потужність, Вт	$k_{ВП3}$	Навант. %	$k_{ВП4}$
Електроклапан	0,9	Постійне вмикання	0,9	До 2,0	0,92	50	1,0
Соленоїд	0,94						
Електродвигун	0,8	Випадковий	1,0	2...5	0,96	80	0,98
Кроковий двигун	0,78						
Апарати запалювання	0,72	Циклічний	0,8	5...12	1,0	100	0,92
Нагрівальні елементи	0,7						
Сигналізатори	1,0	Вібраційний	0,7	60...120	0,84	120	0,8
				120...200	0,7	150	0,7
				Понад 200	0,6		



Загальний ваговий коефіцієнт кожного  $i$ -го елемента в групі (датчиків, виконавчих пристроїв) визначається як середнє значення окремих  $j$ -их коефіцієнтів якості  $k$

$$k_i = \frac{\sum_{j=1}^m k_j}{m} . \quad (2)$$

де  $m$  – кількість коефіцієнтів якості елемента.

Ваговий параметр несправного стану  $i$ -го елемента в групі визначається зворотно пропорційно загальним ваговим коефіцієнтам

$$\Pi_i = \frac{k_i}{\sum_{j=1}^n k_j} . \quad (3)$$

де  $n$  – кількість елементів в групі, що визначають якість елемента.

Ймовірність відмови  $i$ -го елемента системи визначається пропорційно частки відмов, яка приходить на групу означених елементів  $\Delta$ , та ваговому параметру

$$P_i = \frac{\frac{1}{\Pi_i} \Delta}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\Pi_j}} . \quad (4)$$

Складність ЕБК визначається: переліком периферійних пристроїв, рівнем технології виробництва, умовами та режимами експлуатації. Структура ЕБК в загальному випадку поєднує: схеми узгодження сигналів датчиків (СУ), драйвери виконавчих пристроїв (ДР), вторинні перетворювачі напруги (ПН), базу часу (БЧ), мікроконтролер (МК). Таким чином можна вважати

$$\text{ДР}\% + \text{СУ}\% + \text{ПН}\% + \text{БЧ}\% + \text{КП}\% = \text{ЕБК}\% \quad (5)$$

Складність (кількість елементів) схем узгодження визначається видом сигналу від датчика. Надійність функціонування залежить від наявності активних елементів та ступеню їх інтеграції. Активні це

СУ, що мають живлення, пасивні без живлення. Вважаємо, що сигнали, які надходять від датчиків у вигляді двійкового коду узгодження не потребують.

Визначення ймовірностей відмов для схем узгодження виконується на підставі трьох коефіцієнтів якості (див. табл. 6), аналогічно розрахунку ймовірностей відмов датчиків за формулами (2...4), з урахуванням частки функціональних блоків  $\Delta_{СУ}$  в структурі ЕБК та загальної частки ЕБК  $\Delta_{ЕБ}$  у складі системи (див. завдання).

Таблиця 6 – Значення коефіцієнтів якості схем узгодження

Вид інформаційного сигналу	$k_{СУ1}$	Складність	$k_{СУ2}$	Живлення	$k_{СУ3}$
Дискретний*	0,7	Подільник	1,0	Активні	0,9
Аналоговий	0,8	Формувач	0,9	Пасивні	1,0
Імпульсний	0,9	Лічильник	0,8		
Цифрований	1,0	АЦП	0,7		

Ймовірність відмов драйверів залежить від схемного рішення, конструктивних особливостей, режимних факторів сигналу керування та потужносних характеристик виконавчих пристроїв. Інформація для розрахунків ймовірності наведена у табл. 7.

Таблиця 7 – Значення коефіцієнтів якості драйверів виконавчих пристроїв

Вид пристрою	$k_{ДР1}$	Режим функціонування	$k_{ДР2}$	Вих. потужність, Вт	$k_{ДР3}$	Режим навант. %	$k_{ДР4}$
Ключі	1,0	Постійне вмикавання	0,9	До 2,0	0,92	50	1,0
Драйвери ключів	0,9			5...12	0,96		
ЦАП	0,7	Випадковий	1,0	12...60	0,9	120	0,8
Логічні схеми	0,8	Циклічний	0,8	60...120	0,84		
МП перетворювачі	0,68	Вібраційний	0,7	120...200	0,7		
				Понад 200	0,6	150	0,7

Якщо схемне рішення драйвера складається з декількох пристроїв, коефіцієнти якості цих пристроїв перемножуються.

Розподіл ймовірностей в групі драйверів розраховують аналогічно виконавчим пристроям за формулами (2...4), з урахуванням частки  $\Delta_{ВП}$  та частки ЕБК  $\Delta_{ЕБ}$ . (див. завдання).

Загальний ваговий коефіцієнт для кожного каналу перетворення КП в середовищі ЕОМ визначають на підставі експоненціальної залежності. з урахуванням додаткових програмних структур.

$$k_{КП.i} = \exp -0,02n_{Д.i} , \quad (6)$$

де  $n_{Д}$  – кількість датчиків (інформаційних сигналів), що використовуються для формування сигналу по каналу керування.

Функціональні блоки ПН і БЧ (5) є обов'язковими складовими будь-якого мікропроцесорного пристрою. Тому в структурі ЕБК зазвичай обумовлюють загальний відсоток ймовірності пошкоджень цих блоків  $\Delta_{ПБ}$  (див. завдання). В такому разі, ймовірність несправного стану ПН та БЧ визначається пропорційно їх функціональному навантаженню (кількості функціональних блоків, для яких відгук означених пристроїв є стимулом). З урахуванням часток  $\Delta_{ПН} + \Delta_{БЧ} = \Delta_{ПБ}$  та  $\Delta_{ЕБ}$

$$P_{БЧ} = \frac{n_{ОБ} \Delta_{ПБ} \Delta_{ЕБ}}{100n_{О}}, \quad P_{ПН} = \frac{n_{ОП} \Delta_{ПБ} \Delta_{ЕБ}}{100n_{О}}, \quad (7)$$

де  $n_{ОБ}$  - кількість блоків для яких забезпечується опорна частота;

$n_{ОП}$  - кількість блоків для яких забезпечується напруга ПН;

$n_{О} = n_{ОБ} + n_{ОП}$  - загальна кількість блоків, що охоплені.

## **6. Побудування алгоритмів діагностування**

Перевірки, що входять до складу діагностичного тесту (ДТ), можуть виконуватися в будь-якій послідовності. При цьому витрати на локалізацію несправних станів об'єкту діагностування будуть різними. З метою мінімізації витрат на діагностування розробляють оптимізовані алгоритми діагностування (алгоритми, побудовані за багатокроковою процедурою з використанням вибраної функції переваги).

Функція переваги – функція, яка кількісно характеризує певну якість алгоритму, що дозволяє проводити вибір елементарних пере-

вірок на кожному кроці процедури діагностування за своїм екстремальним значенням. Функції переваги можуть будуватися за різними критеріями. В загальному вигляді функція переваги представляється відношенням функцій, що характеризують вигаш та втрати від вибору перевірки  $P_j$ .

При виборі перевірки на кожному кроці процедури діагностування перевага віддається перевірці, для якої функція переваги має максимальне значення. Для побудування алгоритмів діагностування необхідно визначити:

1. Таблицю несправностей, сукупність перевірок якої утворює діагностичний тест.
2. Розподіл ймовірностей  $P_i$  знаходження об'єкту в кожному з технічних станів, що розглядаються в таблиці несправностей;
3. Вартість проведення кожної елементарної перевірки  $C_j$ , що входить до складу діагностичного тесту;
4. функцію переваги, за якою оптимізується алгоритм.

Побудування алгоритму діагностування починають з формування таблиці несправностей в обсязі оптимального діагностичного тесту. Сформована таблиця доповнюється розподілом ймовірностей знаходження об'єкту в кожному з несправних станів  $P_i$  та вартості виконання кожної перевірки  $C_j$ . При побудуванні алгоритму вважати, що діагностуванню підлягають тільки несправні системи. Функції переваги за вартістю  $F_1$ , інформативністю  $F_2$  та результативністю  $F_3$ , представляються відношеннями

$$F_1 = \frac{1}{C_j}, \quad F_2 = \frac{1}{l_j} = \frac{1}{|n1_j - n0_j|}, \quad F_3 = \frac{1}{p_j} = \frac{1}{|P1_j - P0_j|}, \quad (8)$$

де  $C_j$  – вартість проведення  $j$ -ої перевірки.

$p_j$  – функція, що визначає ймовірність негативного результату перевірки  $P_j$ ;

$P1_j, P0_j$  – суми ймовірностей, відповідно позитивного та негативного результату перевірки  $P_j$ .

$l_j$  – функція, що визначає кількість інформації, яку отримують при виконанні перевірки  $P_j$ ;

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

На підставі таблиці несправностей в обсязі ОДТ будують алгоритми діагностування з використанням функцій переваги (8). Процес побудування алгоритму полягає в послідовному виконанні двох операцій:

1. З множини перевірок ОДТ назначається перевірка переважна за обраним критерієм (функцією переваги).

2. Множина технічних станів розбивається на дві підмножини, для одної з яких обрана перевірка має позитивний результат  $R_j = \gg 1 \gg$ , для другої – негативний  $R_j = \gg 0 \gg$ . Розбивання на підмножини проводиться до виділення (відокремлення) кожного із станів, що розглядаються. При цьому перевірки, призначені для локалізації кожного стану, не повинні повторюватись.

### ***7. Визначення вартостей алгоритмів***

Для порівняння алгоритмів діагностування, які оптимізовані за різними критеріями, визначають умовну вартість алгоритму  $B_{\text{АД}}$  (середні витрати на виділення одного технічного стану). Умовна вартість побудованих алгоритмів діагностування визначається на підставі вартостей перевірок  $C_j$  необхідних для локалізації кожного технічного стану системи та ймовірностей відмов кожного елементу системи  $P_i$  по формулі

$$B_{\text{АД}} = \sum_{i=1}^n C_{S_i} P_i . \quad (9)$$

де  $n$  - кількість технічних станів, що розглядаються;

$C_{S_i}$  - сума вартостей елементарних перевірок, реалізація яких дозволяє виділити стан  $S_i$ .

Вартість виділення кожного із станів  $C_{S_i}$  визначається як сума вартостей перевірок які необхідно провести у відповідності з побудованим алгоритмом.

$$C_{S_i} = \sum C_j , \quad (10)$$

Середня вартість постановки діагнозу визначається як сумарна вартість відокремлення всіх технічних станів системи (всіх наперед визначених несправностей) поділена на кількість перевірок що входять до складу діагностичного тесту.

## 8. Оцінка ефективності впровадження програми діагностики

Ефективність впровадження алгоритму в процес діагностування визначається як відсоток зниження витрат на постановку діагнозу в разі застосування переважного алгоритму відносно загальній вартості проведення всіх наперед заданих перевірок системи керування.

Вважаємо, що в середньому несправність системи буде локалізована після проведення половини перевірок. Тоді вартість постановки діагнозу без застосування алгоритму діагностування визначається через половину загальної (сумарної) вартості перевірок. Якщо для постановки діагнозу обмежитись перевірками в обсязі діагностичного тесту, економічний ефект за рік складе

$$E_{\text{рік.ДТ}} = 0,5 \left( \sum_{j=1}^n C_j - \sum_{j=1}^{n_{\text{ДТ}}} C_j \right) N_{\text{роб}} n_A, \quad (11)$$

де  $n$  – загальний перелік можливих перевірок (функціональних блоків);

$n_{\text{ДТ}}$  – перелік перевірок в обсязі діагностичного тесту;

$N_{\text{роб}}$  – кількість робочих днів за рік;

$n_A$  – кількість автомобілів (систем), що обслуговуються за день.

Вразі виконання перевірок в певній послідовності (використання алгоритму діагностування) економічний ефект за рік підраховується через умовну вартість переважного алгоритму  $B_{\text{П}}$

$$E_{\text{рік.АД}} = N_{\text{роб}} n_A \left( \sum_{j=1}^n C_j - B_{\text{П}} \right) \quad (12)$$

Показник економічної ефективності визначає відсоток зниження витрат на постановку діагнозу

$$\Pi_E = 100\% \left( 1 - \frac{B_{\text{П}}}{\sum_{j=1}^n C_j} \right). \quad (13)$$

## Приклад виконання курсової роботи

1. Побудування функціональної діагностичної моделі. Функціональна схема системи керування подачею палива складається з трьох датчиків вимірювальної інформації Д1(1), Д2(2), Д3(12); двох виконавчих пристроїв ВП1(1), ВП2(3); електронного блока ЕБ (див. рис. 1).

Згідно завдання за варіантом датчики (див. табл. 2) та виконавчі пристрої системи (див. табл. 3) мають такі атрибути:

Д1(1) – датчик температури охолоджуючої рідини, терморезистивний, безпосереднього перетворення, аналоговий, без живлення;

Д2(2) – датчик частоти обертання, фотоелектричний, непрямого перетворення, має цифровий вихідний сигнал, потребує живлення +5 В;

Д3(12) – датчик витрати повітря, термоанемометричний, мехатронного типу, має вихідний сигнал у вигляді двійкового коду, потребує живлення +5 В для перетворюючої частини та +12 В для нагрівального елемента;

ВП1(1) – паливна форсунка потужністю 8 Вт, працює в вібраційному режимі під 80% електричного навантаження, живлення від мережі +12 В;

ВП2(3) – регулятор холостого ходу потужністю 4 Вт, працює у випадковому режимі під 60% електричного навантаження, живлення від драйверу ЕБК імпульсами стабілізованої напруги +5 В .

Функції перетворення сигналів по каналах керування виконавчими пристроями (див. табл. 1) мають вигляд  $Y_1=f_1(X_1, X_2, X_3)$ ;  $Y_2=f_2(X_1, X_2, X_3)$ . Відповідно до вихідних даних будуюмо функціональну діагностичну модель системи яка складається з тринадцяти функціональних блоків  $Q_1 \dots Q_{13}$  (рис.2).

На схемі діагностичної моделі прийняті позначення (див. табл. 8). Структурні параметри в середині системи є цілком електричними. Відповідно до наведеної схеми моделі вхідні (стимули) та вихідні (відгуки) параметри системи наведені в табл. 9.

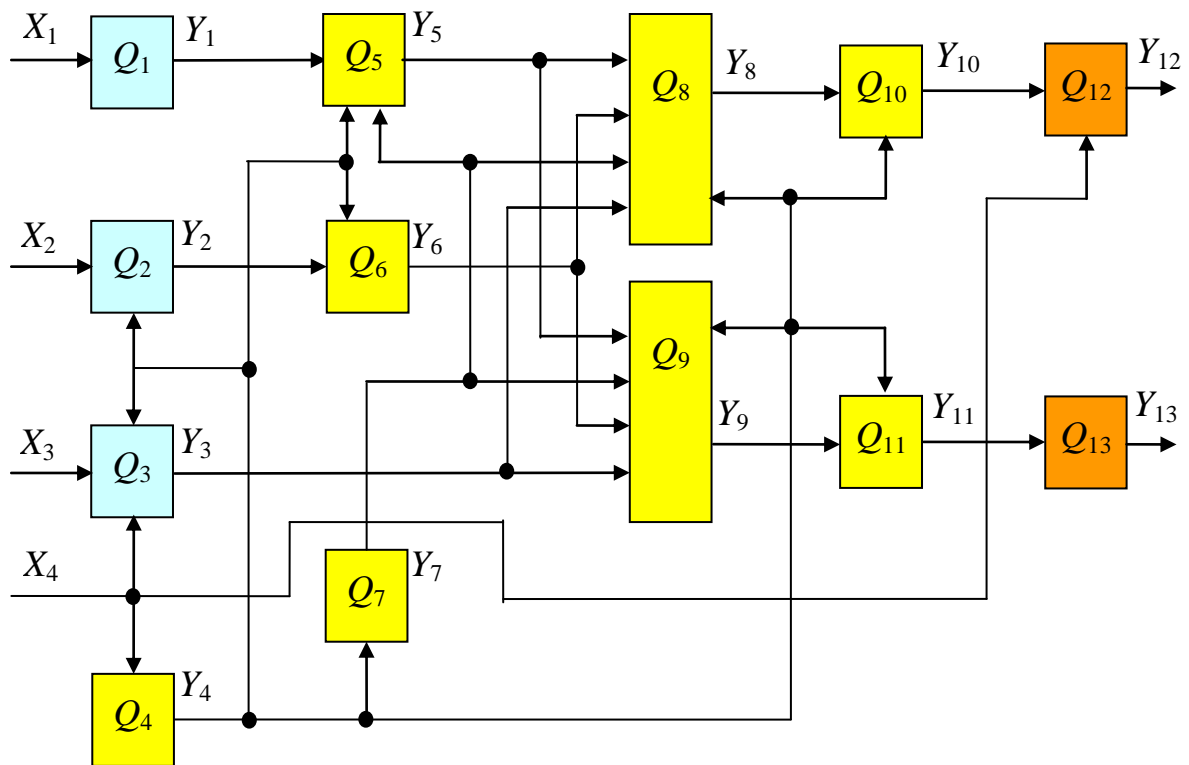


Рисунок 2 – Схема функціональної діагностичної моделі системи керування

Таблиця 8 – Перелік функціональних блоків діагностичної моделі

Позиція	Назва функціонального блока	Вартість перевірки	Позначення
$Q_1$	Датчик температури охолоджуючої рідини	4,6	ДТОР
$Q_2$	Датчик частоти обертання	4,6	ДЧО
$Q_3$	Датчик масової витрати повітря	4,6	ДМРВ
$Q_4$	Перетворювач напруги +12/5В (ЕБК).	12,0	ПН
$Q_5$	Схема узгодження сигналу ДТОР (ЕБК)	28,0	СУ1
$Q_6$	Схема узгодження сигналу ДЧО (ЕБК)	28,0	СУ2
$Q_7$	База часу	16,0	БЧ
$Q_8$	Канал керування форсункою (ЕБК).	40,0	КГФ
$Q_9$	Канал керування РХХ (ЕБК).	40,0	КХХ
$Q_{10}$	Драйвер паливної форсунки (ЕБК)	30,0	ДПФ
$Q_{11}$	Драйвер регулятора холостого ходу (ЕБК).	30,0	ДХХ
$Q_{12}$	Клапан паливної форсунки	8,4	КПФ
$Q_{13}$	Електропривод регулятора холостого ходу	8,4	ПХХ



Таблиця 9 – Стимули та відгуки системи керування

Позначення	Діагностичний параметр	Одиниця виміру (ознака)
$X_1$	Частота обертання	хв. <sup>-1</sup>
$X_2$	Ступень натискування на педаль	%
$X_3$	Температура охолоджуючої рідини	град.
$Y_{12}$	Спрацьовування газової форсунки	положення
$Y_{13}$	Спрацьовування РХХ	положення

2. Складання функцій перетворення. Згідно зі схемою діагностичної моделі (див. рис. 2) складаємо вихідні функції для кожного блока:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= X_1 \cdot Q_1, & Y_2 &= X_2 \cdot Y_4 \cdot Q_2, & Y_3 &= X_3 \cdot X_4 \cdot Y_4 \cdot Q_3, & Y_4 &= X_4 \cdot Q_4, \\
 Y_5 &= Y_1 \cdot Y_4 \cdot Y_7 \cdot Q_5, & Y_6 &= Y_2 \cdot Y_4 \cdot Q_6, & Y_7 &= Y_4 \cdot Q_7, \\
 Y_8 &= Y_3 \cdot Y_4 \cdot Y_5 \cdot Y_6 \cdot Y_7 \cdot Q_8, & Y_9 &= Y_3 \cdot Y_4 \cdot Y_5 \cdot Y_6 \cdot Y_7 \cdot Q_9, & Y_{10} &= Y_4 \cdot Y_8 \cdot Q_{10}, \\
 Y_{11} &= Y_4 \cdot Y_9 \cdot Q_{11}, & Y_{12} &= X_4 \cdot Y_{10} \cdot Q_{12}, & Y_{13} &= Y_{11} \cdot Q_{13}.
 \end{aligned}$$

Методом підстановки отримуємо функції перетворення вхідних параметрів у вигляді  $Y=X \cdot Q$ :

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= X_1 \cdot Q_1, & Y_2 &= X_2 \cdot X_4 \cdot Q_2 \cdot Q_4, & Y_3 &= X_3 \cdot X_4 \cdot Q_3 \cdot Q_4, & Y_4 &= X_4 \cdot Q_4, \\
 Y_5 &= X_1 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_7, & Y_6 &= X_2 \cdot X_4 \cdot Q_2 \cdot Q_4 \cdot Q_6, \\
 Y_7 &= X_4 \cdot Q_4 \cdot Q_7, & Y_8 &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_8, \\
 Y_9 &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_9, \\
 Y_{10} &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_8 \cdot Q_{10}, \\
 Y_{11} &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_9 \cdot Q_{11}, \\
 Y_{12} &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_8 \cdot Q_{10} \cdot Q_{12}, \\
 Y_{13} &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_9 \cdot Q_{11} \cdot Q_{13}.
 \end{aligned}$$

3. *Формування таблиці несправностей.* Використовуючи отримані функції формуємо бінарну таблицю несправностей заповнюючи її по рядам або по стовпцям за прийнятими правилами (табл. 10).

Таблиця 10 – Таблиця несправностей

Стани $S_i$	Перелік перевірок $P_j$												
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12	П13
$S_0$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_1$	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
$S_2$	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
$S_3$	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
$S_4$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$S_5$	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
$S_6$	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
$S_7$	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
$S_8$	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
$S_9$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
$S_{10}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
$S_{11}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
$S_{12}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
$S_{13}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

При формуванні таблиці вважаємо, що перевірка  $P_j$  відповідає вимірюванню діагностичного параметра  $Y_i$  на виході блоку  $Q_i$ , а стан системи  $S_i$  визначається несправним станом відповідного блоку  $Q_i$ . Технічний стан  $S_0$  позначаємо як справний стан системи.

Одиницям в таблиці несправностей відповідає позитивний результат перевірки  $R_j=«1»$ , а нулям – негативний  $R_j=«0»$ . Сформована таблиця не містить однакових рядків (всі стани розрізнявальні) та однакових стовбців (зайві перевірки відсутні), от же вона не підлягає скороченню.

4. *Визначення оптимального діагностичного тесту.* Для визначення оптимального діагностичного тесту (ОДТ) перетворюємо таблицю несправностей до таблиці покриттів (табл. 11). Вважаємо що діагностуванню підлягають тільки несправні об'єкти (справний стан  $S_0$  – не розглядається).

Таблиця 11 – Таблиця покриттів перевірок

Пари станів	Перелік перевірок П <sub>і</sub>												
	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12	П13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S <sub>1</sub> /S <sub>2</sub>	1	1			1	1							
S <sub>1</sub> /S <sub>3</sub>	1		1		1								
S <sub>1</sub> /S <sub>4</sub>	1	1	1	1		1	1						
S <sub>1</sub> /S <sub>5</sub>	1												
S <sub>1</sub> /S <sub>6</sub>	1				1	1							
S <sub>1</sub> /S <sub>7</sub>	1						1						
S <sub>1</sub> /S <sub>8</sub>	1				1				1		1		1
S <sub>1</sub> /S <sub>9</sub>	1				1			1		1		1	
S <sub>1</sub> /S <sub>10</sub>	1				1			1	1		1		1
S <sub>1</sub> /S <sub>11</sub>	1				1			1	1	1		1	
S <sub>1</sub> /S <sub>12</sub>	1				1			1	1	1	1		1
S <sub>1</sub> /S <sub>13</sub>	1				1			1	1	1	1	1	
S <sub>2</sub> /S <sub>3</sub>		1	1			1							
S <sub>2</sub> /S <sub>4</sub>			1	1	1		1						
S <sub>2</sub> /S <sub>5</sub>		1			1	1							
S <sub>2</sub> /S <sub>6</sub>		1											
S <sub>2</sub> /S <sub>7</sub>		1			1	1	1						
S <sub>2</sub> /S <sub>8</sub>		1				1			1		1		1
S <sub>2</sub> /S <sub>9</sub>		1				1		1		1		1	
S <sub>2</sub> /S <sub>10</sub>		1				1		1	1		1		1
S <sub>2</sub> /S <sub>11</sub>		1				1		1	1	1		1	
S <sub>2</sub> /S <sub>12</sub>		1				1		1	1	1	1		1
S <sub>2</sub> /S <sub>13</sub>		1				1		1	1	1	1	1	
S <sub>3</sub> /S <sub>4</sub>		1		1	1	1	1						
S <sub>3</sub> /S <sub>5</sub>			1		1								
S <sub>3</sub> /S <sub>6</sub>			1			1							
S <sub>3</sub> /S <sub>7</sub>			1		1		1						
S <sub>3</sub> /S <sub>8</sub>			1						1		1		1
S <sub>3</sub> /S <sub>9</sub>			1					1		1		1	
S <sub>3</sub> /S <sub>10</sub>			1					1	1		1		1
S <sub>3</sub> /S <sub>11</sub>			1					1	1	1		1	
S <sub>3</sub> /S <sub>12</sub>			1					1	1	1	1		1
S <sub>3</sub> /S <sub>13</sub>			1					1	1	1	1	1	
S <sub>4</sub> /S <sub>5</sub>		1	1	1		1	1						
S <sub>4</sub> /S <sub>6</sub>		1	1	1	1		1						
S <sub>4</sub> /S <sub>7</sub>		1	1	1		1							
S <sub>4</sub> /S <sub>8</sub>		1	1	1	1	1	1		1		1		1
S <sub>4</sub> /S <sub>9</sub>		1	1	1	1	1	1	1		1		1	
S <sub>4</sub> /S <sub>10</sub>		1	1	1	1	1	1	1	1		1		1
S <sub>4</sub> /S <sub>11</sub>		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	
S <sub>4</sub> /S <sub>12</sub>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1
S <sub>4</sub> /S <sub>13</sub>		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
S <sub>5</sub> /S <sub>6</sub>					1	1							

Продовження таблиці 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$S_5/S_7$							1						
$S_5/S_8$					1				1		1		1
$S_5/S_9$					1			1		1		1	
$S_5/S_{10}$					1			1	1		1		1
$S_5/S_{11}$					1			1	1	1		1	
$S_5/S_{12}$					1			1	1	1	1		1
$S_5/S_{13}$					1			1	1	1	1	1	
$S_6/S_7$					1	1	1						
$S_6/S_8$						1			1		1		1
$S_6/S_9$						1		1		1		1	
$S_6/S_{10}$						1		1	1		1		1
$S_6/S_{11}$						1		1	1	1		1	
$S_6/S_{12}$						1		1	1	1	1		1
$S_6/S_{13}$						1		1	1	1	1	1	
$S_7/S_8$					1		1		1		1		1
$S_7/S_9$					1		1	1		1		1	
$S_7/S_{10}$					1		1	1	1		1		1
$S_7/S_{11}$					1		1	1	1	1		1	
$S_7/S_{12}$					1		1	1	1	1	1		1
$S_7/S_{13}$					1		1	1	1	1	1	1	
$S_8/S_9$								1	1	1	1	1	1
$S_8/S_{10}$								1					
$S_8/S_{11}$								1		1	1	1	1
$S_8/S_{12}$								1		1			
$S_8/S_{13}$								1		1		1	1
$S_9/S_{10}$									1	1	1	1	1
$S_9/S_{11}$									1				
$S_9/S_{12}$									1		1	1	1
$S_9/S_{13}$									1		1		
$S_{10}/S_{11}$										1	1	1	1
$S_{10}/S_{12}$										1			
$S_{10}/S_{13}$										1		1	1
$S_{11}/S_{12}$											1	1	1
$S_{11}/S_{13}$											1		
$S_{12}/S_{13}$												1	1
$C_j$	4,6	4,6	4,6	12,0	28,0	28,0	16,0	40,0	40,0	30,0	30,0	8,4	8,4

Доповнюємо таблицю вартостями перевірок (рядок  $C_j$ ). Виконуємо аналіз таблиці покриттів методом перекриття розрізняювальності (крізної одиниці). Визначення перевірок, що входять до складу ОДТ виконуємо в наступній послідовності.

Спочатку знаходимо рядки з однією одиницею. Такими рядками є порівняння станів  $S_1/S_5$  на перевірці П1;  $S_2/S_6$  на перевірці П2;  $S_5/S_7$  на перевірці П7;  $S_8/S_{10}$  на перевірці П8;  $S_9/S_{11}$  на перевірці П9;  $S_{10}/S_{12}$  на перевірці П10;  $S_{11}/S_{13}$  на перевірці П11. Обрані перевірки додаємо до складу ОДТ. Непокритими при цьому залишаються порівняння  $S_2/S_4$ ,  $S_3/S_6$ ,  $S_5/S_6$ ,  $S_{12}/S_{13}$  для перших двох порівнянь обираємо найбільш дешево перевірку П3 яка забезпечує розрізнявальність цих станів. Стани  $S_5/S_6$  розрізняються на перевірці П5 або П6. Стани  $S_{12}/S_{13}$  розрізняються тільки на перевірках П12 або П13, їхня вартість однакова тому обираємо одну з них (наприклад перевірку П12) та додаємо її до складу ОДТ. Таким чином перекриття таблиці за розрізнявальністю станів досягаємо при десяти перевірках, які складають ОДТ. Вартість ОДТ при цьому складі

$$\begin{aligned} & \text{ОДТ[П1, П2, П3, П5, П7, П8, П9, П10, П11, П12]} = \\ & = 4,6 + 4,6 + 4,6 + 28,0 + 16,0 + 40,0 + 40,0 + 30,0 + 30,0 + 8,4 = 206,2 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Загальна вартість всіх перевірок становить 254,6 грн.

5. *Встановлення розподілу ймовірностей відмов.* У якості вихідних даних розглядається функціональна модель системи (рис. 2) та інформація про розподіл ймовірностей відмов по групам елементів системи. Згідно завдання: 20% відмов системи виникають через вихід з ладу датчиків, що входять до складу системи; 30% відмов – по причині несправності ЕБК; 50% складають несправності виконавчих пристроїв.

Згідно формулам (2)...(4) визначаємо загальний ваговий коефіцієнт  $k_{Д,i}$ , ваговий параметр справного стану в межах групи елементів  $\Pi_{Д,i}$  та ймовірність несправного стану кожного датчика  $P_{Д,i}$ , через частку відмов на групу датчиків  $\Delta_{Д}=20\%$

$$k_{Д,i} = \frac{\sum_{j=1}^m k_j}{m}, \quad \Pi_{Д,i} = \frac{k_{Д,i}}{\sum_{j=1}^n k_{Д,j}}, \quad P_{Д,i} = \frac{\frac{1}{\Pi_{Д,i}} \Delta_{Д}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\Pi_{Д,j}}}$$

Результати розрахунку зводимо у табл.12.

Перелік виконавчих пристроїв системи та значення відповідних вагових коефіцієнтів наведено в табл. 13.

Таблиця 12 – Результати розрахунку ймовірностей технічних станів датчиків системи

Датчи-ки	Блок ДМ	Коефіцієнти якості								Результати розрахунку		
		Принцип дії	$k_{Д1}$	Улаштування	$k_{Д2}$	Вид сигналу	$k_{Д3}$	Кон-струкція	$k_{Д4}$	$k_{Д}$	$P_{Д}, \%$	$R_{Д}, \%$
ТОР	Q1	Терморези-стивний	0,84	Безпосереднього перетворення	1,0	Аналоговий	0,8	Стаціонар.	1,0	0,91	0,384	5,71
ДЧО	Q2	Магніто електричний	0,92	Мехатронний	0,76	Цифрований	0,7	Обертаю-чий	0,7	0,77	0,325	6,75
ДМВП	Q3	Термоане-мометричний	0,4	Мехатронний	0,76	Двійкового коду	0,6	Стаціонар.	1,0	0,69	0,291	7,54
Р А З О М										2,37	1,0	20

Таблиця 13 – Результати розрахунку ймовірностей технічних станів виконавчих пристроїв системи

Вик. пристрої	Блок ДМ	Коефіцієнти якості								Результати розрахунку		
		Вид пристрою	$k_{ВП1}$	Режим	$k_{ВП2}$	Потуж-ність, Вт	$k_{ВП3}$	Наванта-ження, %	$k_{ВП4}$	$k_{ВП}$	$P_{ВП}, \%$	$R_{ВП}, \%$
ПФ	Q12	Електроклапан	0,9	Вібраційний	0,7	8,0	1,0	80	0,98	0,895	0,503	24,85
РХХ	Q13	Шаговий. дв.	0,78	Циклічний	0,8	4,0	0,96	60	1,0	0,885	0,497	25,15
Р А З О М										1,78	1,0	50

Загальний ваговий коефіцієнт, ваговий параметр та ймовірність несправного стану  $i$ -го виконавчого пристрою визначаємо аналогічно (2)...(4) з урахуванням частки цих приладів у складі системи керування  $\Delta_{ВП}=50\%$

$$k_{ВП.i} = \frac{\sum_{j=1}^m k_j}{m}, \quad \Pi_{ВП.i} = \frac{k_{ВП.i}}{\sum_{j=1}^n k_{ВП.j}}, \quad P_{ВП.i} = \frac{\frac{1}{\Pi_{ВП.i}} \Delta_{ВП}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{\Pi_{ВП.j}}}$$

Результати розрахунку, по кожному виконавчому пристрою зводимо в табл. 13.

Згідно завдання: 40% відмов ЕБК пов'язано з пошкодженнями пристроїв вхідної обробки (схем узгодження); 30% викликані непрацездатністю мікро ЕОМ та програмного забезпечення; 10% - відмови драйверів виконавчих пристроїв; 20% - відмови стабілізатора та бази часу.

Ймовірності відмов схем узгодження визначаємо аналогічно ймовірностям відмов датчиків, з урахуванням частки цих блоків в структурі ЕБК  $\Delta_{СУ}=40\%$  та загальної частки ЕБК у складі системи керування  $\Delta_{ЕБ}=30\%$ .

$$k_{СУ.i} = \frac{\sum_{j=1}^m k_j}{m}, \quad \Pi_{СУ.i} = \frac{k_{СУ.i}}{\sum_{j=1}^n k_{СУ.j}}, \quad P_{СУ.i} = \frac{0,01 \Delta_{СУ} \Delta_{ЕБ}}{\Pi_{СУ.i} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\Pi_{СУ.j}}}$$

Результати розрахунку зводимо у табл. 14.

Ймовірності відмов драйверів виконавчих пристроїв визначаємо аналогічно, з урахуванням частки  $\Delta_{ДР}=10\%$  в структурі ЕБК.

$$k_{ДР.i} = \frac{\sum_{j=1}^m k_j}{m}, \quad \Pi_{ДР.i} = \frac{k_{ДР.i}}{\sum_{j=1}^n k_{ДР.j}}, \quad P_{ДР.i} = \frac{0,01 \Delta_{ДР} \Delta_{ЕБ}}{\Pi_{ДР.i} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\Pi_{ДР.j}}}$$

Результати розрахунку зводимо у табл. 15.



Таблиця 14 – Результати розрахунку ймовірностей технічних станів схем узгодження ЕБК

Схеми узгодження	Блок ДМ	Коефіцієнти якості						Результати розрахунку		
		Вид сигналу	$k_{СУ1}$	Складність	$k_{СУ2}$	Живлення	$k_{ЗСУ}$	$k_{СУ}$	$P_{СУ}, \%$	$R_{СУ}, \%$
СУ1	Q5	Аналоговий	0,8	Подільник АЦП	1,0 0,7	Активні	0,9	0,8	0,462	6,45
СУ2	Q6	Цифрований	1,0	Лічильник	0,8	Пасивні	1,0	0,933	0,538	5,55
Р А З О М								1,733	1,0	12

Таблиця 15 – Результати розрахунку ймовірностей технічних станів драйверів ЕБК

Драйвери	Блок ДМ	Коефіцієнти якості								Результати розрахунку		
		Вид пристрою	$k_{ДР1}$	Режим	$k_{ДР2}$	Потужність, Вт	$k_{ДР3}$	Навантаження, %	$k_{ДР4}$	$k_{ДР}$	$P_{ДР}, \%$	$R_{ДР}, \%$
ДПФ	Q10	Драйвери ключів Ключі	0,9 1,0	Вібраційний	0,7	8,0	0,96	80	0,98	0,885	0,496	1,51
ДХХ	Q11	Логічний перетворювач	0,8	Циклічний	0,8	4,0	1,0	60	1,0	0,9	0,504	1,49
Р А З О М									1,785	1,0	3	

Відносна ймовірність відмови мікропроцесору по кожному  $i$ -му каналу буде пропорційна кількості інформаційних входів (кількості датчиків  $n_{д}$ , що використовуються для формування сигналу по каналу керування). Розраховуємо вагові коефіцієнти каналів керування згідно формулі (6) з урахуванням частки цих функціональних блоків в структурі ЕБК  $\Delta_{кп}=30\%$

$$k_{кп.i} = \exp -0,02n_{д.i} , \quad \Pi_{кп.i} = \frac{k_{кп.i}}{\sum_{j=1}^n k_{кп.j}} , \quad P_{кп.i} = \frac{0,01\Delta_{кп}\Delta_{ЕБ}}{\Pi_{кп.i} \sum_{j=1}^n \frac{1}{\Pi_{кп.j}}} .$$

Результати розрахунку зводимо у табл. 16.

Таблиця 16 – Результати розрахунку ймовірностей технічних станів каналів перетворення

Канал керування	Блок ДМ	Результати розрахунку			
		$n_{д}$	$k_{мп}$	$\Pi_{мп},\%$	$P_{мп},\%$
КПФ	Q8	3	0,9418	0,5	4,5
КХХ	Q9	3	0,9418	0,5	4,5
РАЗОМ		-	1,885	1,0	9

Ймовірність несправного стану ПН та БЧ, згідно завдання, складає  $\Delta_{пб}=20\%$  від загальної ймовірності несправності ЕБК. В системі керування використовується один ПН (блок Q<sub>4</sub>), який забезпечує напругою  $n_{qp}=9$  блоків системи, та БЧ (блок Q<sub>7</sub>), який забезпечує опорну частоту для  $n_{qb}=3$  блоків ЕБК. Ймовірність несправного стану цих блоків визначаємо згідно формулі (7) з урахуванням частки ЕБК

$$P_{бч} = \frac{n_{qb}\Delta_{пб}\Delta_{ЕБ}}{100n_q} , \quad P_{пн} = \frac{n_{qp}\Delta_{пб}\Delta_{ЕБ}}{100n_q} .$$

За результатами розрахунку отримуємо  $P_{пн}=4,5\%$ ,  $P_{бч}=1,5\%$ .

На підставі отриманих результатів, складаємо структуру системи у вигляді розподілу ймовірностей відмов по її функціональним елементам (рис. 3).

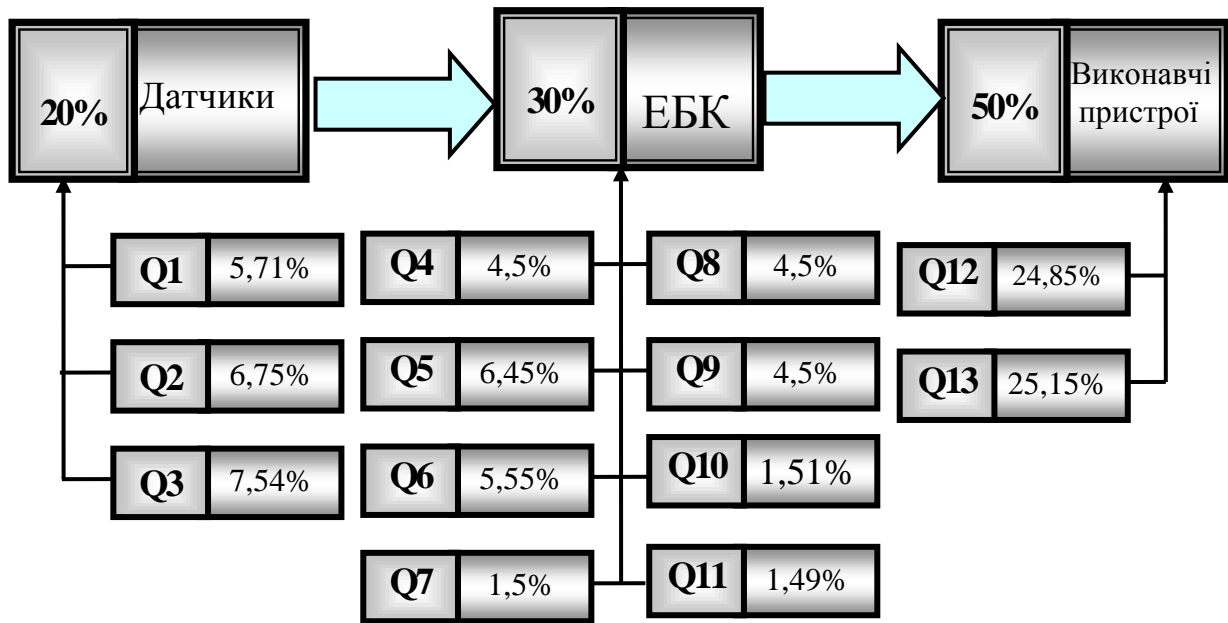


Рисунок 3 – Структурна схема розподілу ймовірностей відмов системи керування

6. Побудування алгоритмів діагностування. При діагностуванні системи керування виконуються різні за вартістю перевірки. Функція переваги за вартістю  $F_1$  дозволяє визначити послідовність призначення перевірок діагностичного тесту при якій мінімізується вартість постановки діагнозу

$$F_1 = \frac{1}{C_j},$$

де  $C_j$  – вартість проведення  $j$ -ої перевірки.

Для побудування алгоритму діагностування за обраним критерієм формуємо таблицю несправностей в обсязі ОДТ та доповнюємо її рядком вартостей перевірок  $C_j$  (табл. 17).

Алгоритм діагностування будуємо за прийнятими правилами:

1. Призначаємо перевірку ПЗ з мінімальною вартістю та розбиваємо стани на підмножини  $S_1, S_2, S_3, S_6 \dots S_{13}$  з позитивним результатом – «1» та  $S_4, S_5$  – з негативним «0».

2. Призначаємо перевірку П2 з мінімальною вартістю з тих, що залишились та розрізняємо стани  $S_4, S_5$ .

3. Для підмножини  $S_1, S_2, S_3, S_6 \dots S_{13}$  також призначаємо перевірку П2 та відокремлюємо стан  $S_3$ .

Таблиця 17 – Таблиця несправностей в обсязі діагностичного тесту

Стани $S_i$	Перелік перевірок										Ймовірність $P, \%$
	П1	П2	П3	П5	П7	П8	П9	П10	П11	П12	
$S_1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5,71
$S_2$	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	6,75
$S_3$	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	7,54
$S_4$	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	4,5
$S_5$	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,45
$S_6$	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	5,55
$S_7$	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1,5
$S_8$	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4,5
$S_9$	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	4,5
$S_{10}$	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1,51
$S_{11}$	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1,49
$S_{12}$	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	24,85
$S_{13}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	25,15
$C_j$	4,6	4,6	4,6	28,0	16,0	40,0	40,0	30,0	30,0	8,4	100
$l_j$	11	9	9	5	9	3	3	5	5	7	
$p_j$	86,5	72,0	78,1	53,5	78,1	17,4	23,4	14,4	26,3	35,8	

4. Для станів, що залишились не розрізнявальними ( $S_1, S_2, S_6 \dots S_{13}$ ) призначаємо перевірку П1 та відокремлюємо стан  $S_2$ .

5. Призначаємо перевірку П12 з мінімальною вартістю з тих, що залишились, та поділяємо сукупність станів  $S_1, S_6 \dots S_{13}$  на підмножини  $S_1, S_{10}, S_{12}$  – «1» і  $S_6, \dots, S_9, S_{11}, S_{13}$ , – «0».

6. Для першої підмножини призначаємо перевірку П11 та відокремлюємо стан  $S_1$ .

7. Стани, що залишились ( $S_{10}, S_{12}$ ) розрізняємо на перевірці П9.

8. Для другої підмножини ( $S_6, \dots, S_9, S_{11}, S_{13}$ ) призначаємо перевірку П7 та відокремлюємо стан  $S_8$ .

9. Для станів, що залишились ( $S_6, S_7, S_9, S_{11}, S_{13}$ ) призначаємо перевірку П5 та відокремлюємо стан  $S_6$ .

10. Для станів, що залишились ( $S_7, S_9, S_{11}, S_{13}$ ) призначаємо перевірку П10 та відокремлюємо стан  $S_{13}$ .

11. Для станів що залишились ( $S_7, S_9, S_{11}$ ) призначаємо перевірку П11 та відокремлюємо стан  $S_7$ .

12. Стани, що залишились ( $S_9, S_{11}$ ) розрізняються на останній перевірці П8.

Графічне зображення побудованого алгоритму діагностування наведено на рис. 4.

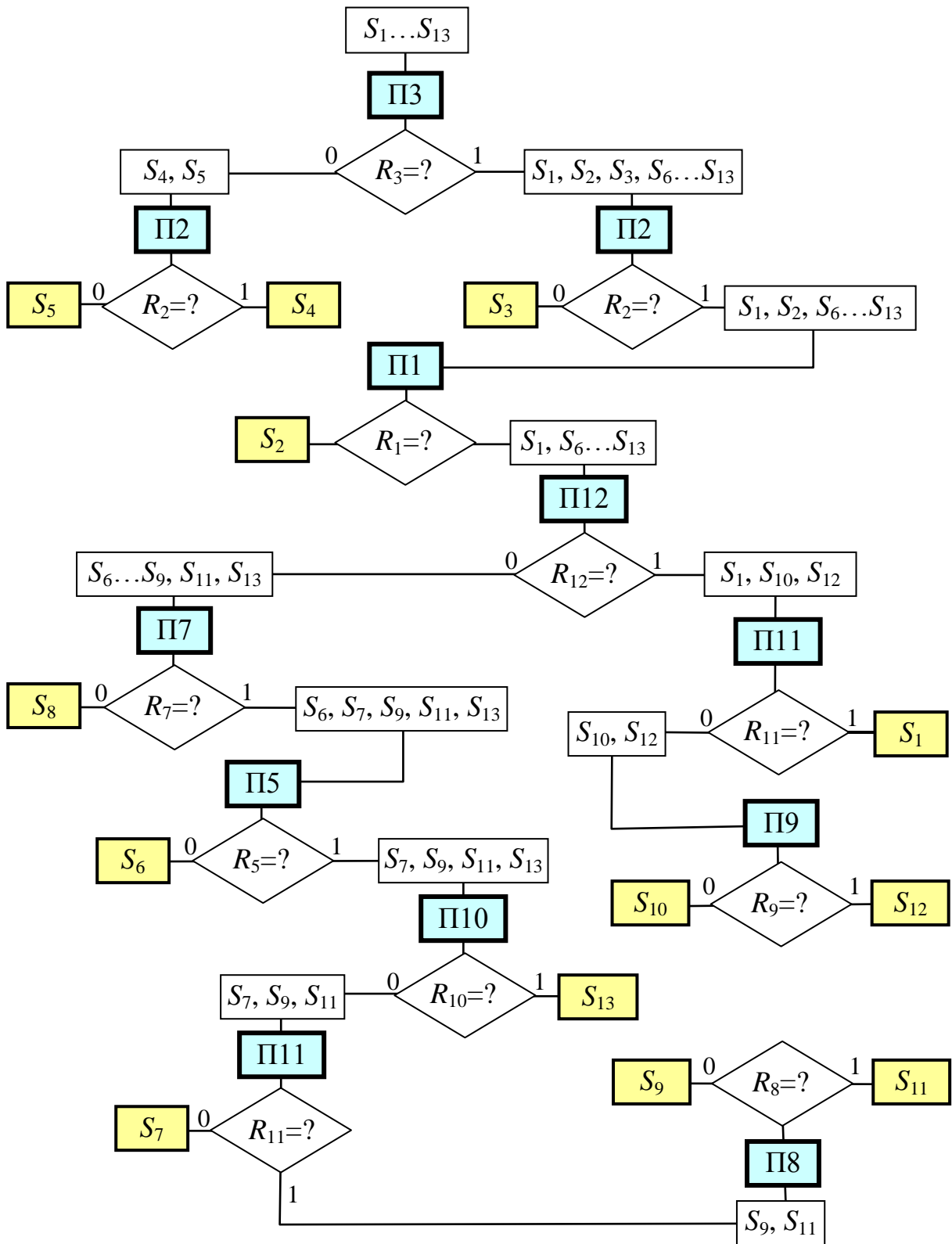


Рисунок 4 – Алгоритм діагностування побудований за критерієм вартості

Для побудування алгоритму за критерієм інформативності використовуємо функцію переваги (8) у вигляді

$$F_2 = \frac{1}{l_j} = \frac{1}{|n1_j - n0_j|},$$

де  $l_j = |n1_j - n0_j|$  – функція, що визначає кількість інформації, яку отримують при виконанні перевірки  $\Pi_j$ ;

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

Для побудування алгоритму діагностування доповнюємо таблицю несправностей значеннями функції  $l_j$  для кожної перевірки (див. табл. 17). Алгоритм діагностування будуємо за прийнятими правилами. Графічне зображення алгоритму з використанням функції переваги за інформативністю наведено на рис. 5.

Третій алгоритм діагностування будуємо з використанням функції переваги за результативністю (8) яка має вигляд

$$F_3 = \frac{1}{p_j} = \frac{1}{|P1_j - P0_j|},$$

де  $p_j$  – функція, що визначає ймовірність негативного результату перевірки  $\Pi_j$ ;

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

Алгоритм оптимізований за результативністю будують згідно із загальною методикою. Критерієм до вибору перевірки на кожному кроці процесу побудування є мінімальні значення функції  $p_j$ . Графічне зображення алгоритму з використанням функції переваги за результативністю показано на рис. 6.

Таким чином, за результатами аналізу вартості перевірок та ймовірності технічних станів системи побудовано алгоритми діагностування з використанням функцій переваги за вартістю, інформативністю та результативністю.

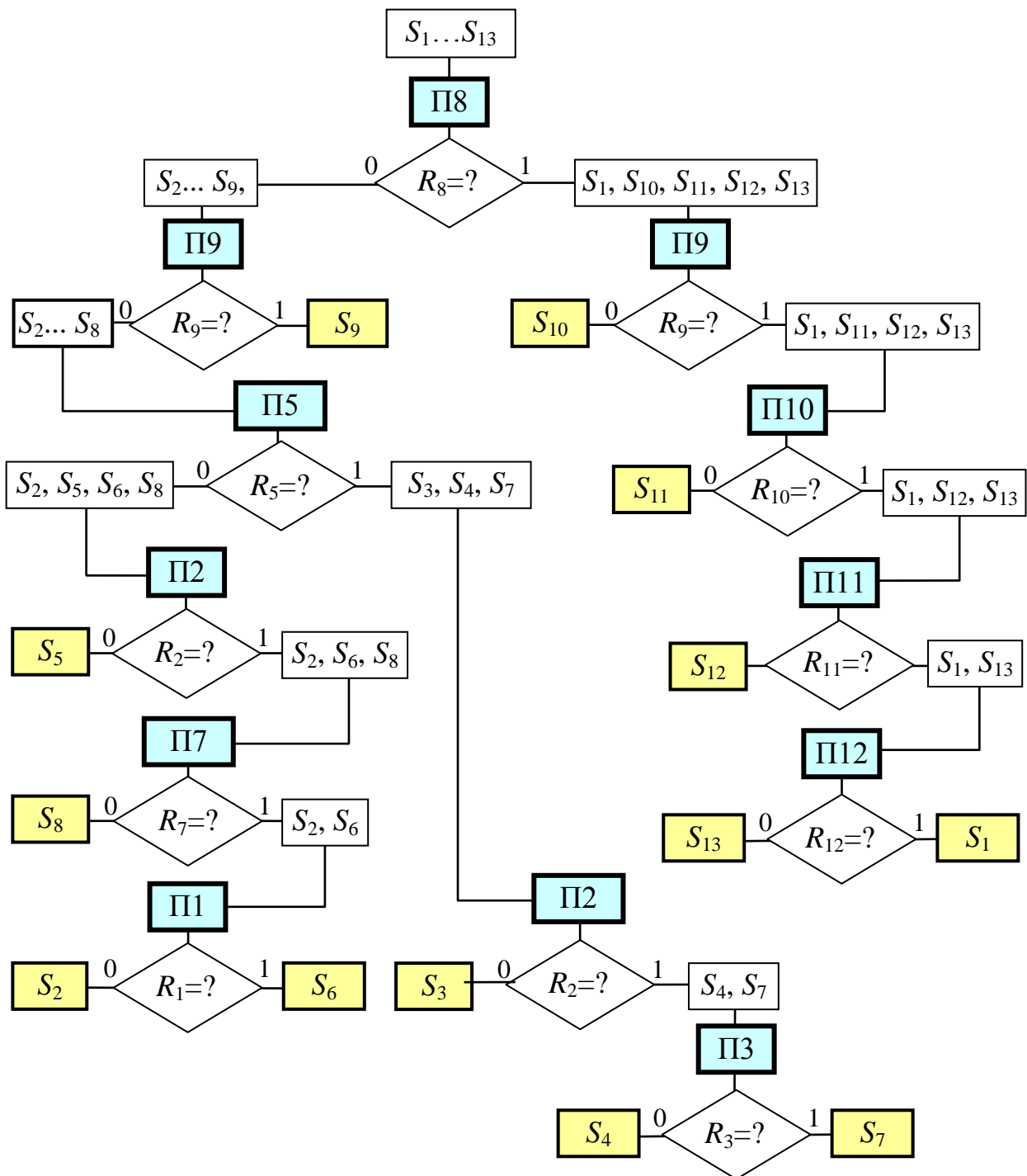


Рисунок 5 – Алгоритм діагностування побудований за критерієм інформативності

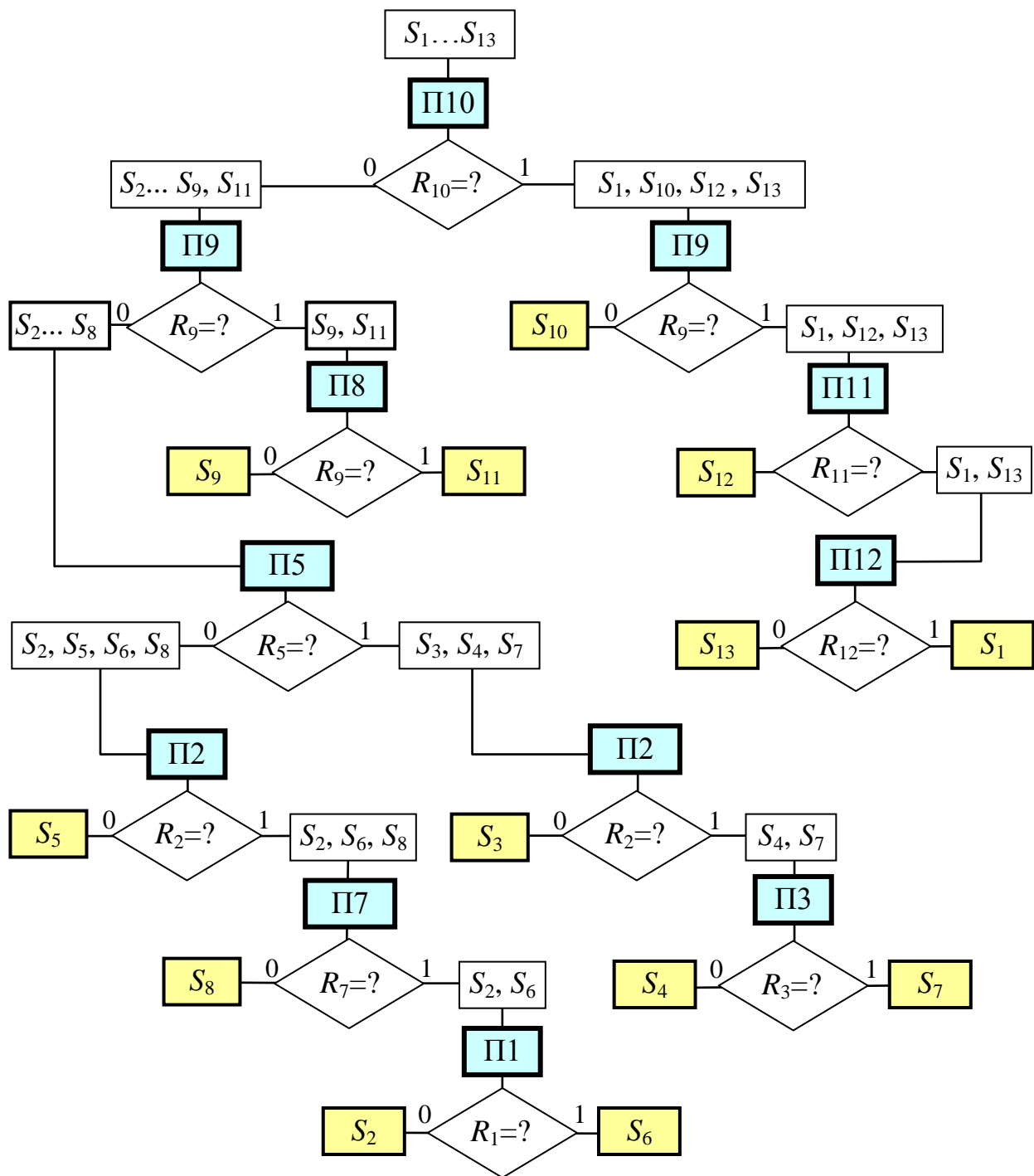


Рисунок 6 – Алгоритм діагностування побудованих за критерієм результативності



7. *Визначення вартостей алгоритмів.* За формулою (10) визначаємо вартість локалізації кожного стану системи відповідно до алгоритму (рис. 4), який оптимізовано за вартісним показником, грн.

$$\begin{aligned}
 C_{S3}=C_{S4}=C_{S5}=C2+C3=4,6+4,6=9,2, \quad C_{S2}=C1+C2+C3=4,6+4,6+4,6=13,8, \\
 C_{S8}=C1+C2+C3+C7+C12=4,6+4,6+4,6+16+8,4=38,2, \\
 C_{S1}=C1+C2+C3+C11+C12=4,6+4,6+4,6+30+8,4=52,2, \\
 C_{S6}=C1+C2+C3+C5+C7+C12=4,6+4,6+4,6+28+16+8,4=66,2, \\
 C_{S10}=C_{S12}=C1+C2+C3+C9+C11+C12=4,6+4,6+4,6+40+30+8,4=92,2, \\
 C_{S13}=C1+C2+C3+C5+C7+C10+C12=4,6+4,6+4,6+28+16+30+8,4=96,2, \\
 C_{S7}=C1+C2+C3+C5+C7+C10+C11+C12=4,6+4,6+4,6+28+16+30+30+ \\
 +8,4=126,2, \\
 C_{S9}=C_{S11}=C1+C2+C3+C5+C7+C8+C10+C11+C12=4,6+4,6+4,6+28 \\
 +16+40+30+30+8,4=166,2.
 \end{aligned}$$

Згідно (9) підраховуємо умовну вартість застосування першого алгоритму, грн.

$$\begin{aligned}
 B_{\text{АД1}}=C_{S3,4,5}(P_3+P_4+P_5)+C_{S2}\cdot P_2+C_{S8}\cdot P_8+C_{S1}\cdot P_1+C_{S6}\cdot P_6+C_{S10,12}(P_{10}+P_{12})+ \\
 +C_{S13}\cdot P_{13}+C_{S7}\cdot P_7+C_{S9,11}(P_9+P_{11})=9,2(0,0754+0,045+0,0645)+13,8\cdot \\
 0,0675+38,2\cdot 0,045+52,2\cdot 0,0571+66,2\cdot 0,0555+92,2(0,0151+ \\
 +0,2485)+96,2\cdot 0,2515+126,2\cdot 0,015+166,2(0,045+0,0149)= \\
 =1,70+0,93+1,72+2,98+3,67+24,30+24,19+1,89+9,95=71,33.
 \end{aligned}$$

Аналогічно визначаємо вартість локалізації станів системи відповідно до алгоритму діагностування (рис. 5), побудованого за показником інформативності, грн.

$$\begin{aligned}
 C_{S9}=C_{S10}=C8+C9=40+40=80, \quad C_{S11}=C8+C9+C10=40+40+30=110, \\
 C_{S12}=C8+C9+C10+C11=40+40+30+30=140, \\
 C_{S1}=C_{S13}=C8+C9+C10+C11+C12=40+40+30+30+8,4=148,4, \\
 C_{S3}=C_{S5}=C2+C5+C8+C9=4,6+28+40+40=112,6, \\
 C_{S4}=C_{S7}=C2+C3+C5+C8+C9=4,6+4,6+28+40+40=117,2, \\
 C_{S8}=C2+C5+C7+C8+C9=4,6+28+16+40+40=128,6 \\
 C_{S2}=C_{S6}=C1+C2+C5+C7+C8+C9=4,6+4,6+28+16+40+40=133,2.
 \end{aligned}$$

Підраховуємо умовну вартість другого алгоритму діагностування, грн.

$$\begin{aligned}
B_{\text{Ад2}} &= C_{S9,10}(P_9+P_{10})+C_{S11}\cdot P_{11}+C_{S12}\cdot P_{12}+C_{S1,13}(P_1+P_{13})+C_{S3,5}(P_3+P_5)+ \\
&+ C_{S4,7}(P_4+P_7)+C_{S8}\cdot P_8+C_{S2,6}(P_2+P_6)=80(0,045+0,0151)+110\cdot 0,0149 \\
&+140\cdot 0,2485+148,4(0,0571+0,2515)+112,6(0,0754+0,0645)+ \\
&+117,2(0,045+0,015)+128,6\cdot 0,045+133,2(0,0675+0,0555)= \\
&=4,81+1,64+34,79+45,80+15,75+7,03+5,79+16,38=131,99.
\end{aligned}$$

Для третього алгоритму діагностування (рис. 6) вартості виділення несправних станів складе, грн.

$$\begin{aligned}
C_{S10} &= C_9+C_{10}=40+30=70, \quad C_{S9}=C_{S11}=C_8+C_9+C_{10}=40+40+30=110, \\
C_{S12} &= C_9+C_{10}+C_{11}=40+30+30=100, \\
C_{S1} &= C_{S13}=C_9+C_{10}+C_{11}+C_{12}=40+30+30+8,4=108,4, \\
C_{S3} &= C_{S5}=C_2+C_5+C_9+C_{10}=4,6+28+40+30=102,6, \\
C_{S4} &= C_{S7}=C_2+C_3+C_5+C_9+C_{10}=4,6+4,6+28+40+30=107,2, \\
C_{S8} &= C_2+C_5+C_7+C_9+C_{10}=4,6+28+16+40+30=118,6, \\
C_{S2} &= C_{S6}=C_1+C_2+C_5+C_7+C_9+C_{10}=4,6+4,6+28+16+40+30=123.
\end{aligned}$$

Умовна вартість третього алгоритму становить, грн.

$$\begin{aligned}
B_{\text{Ад3}} &= C_{S10}\cdot P_{10}+C_{S9,11}(P_9+P_{11})+C_{S12}\cdot P_{12}+C_{S1,13}(P_1+P_{13})+C_{S3,5}(P_3+P_5)+ \\
&+ C_{S4,7}(P_4+P_7)+C_{S8}\cdot P_8+C_{S2,6}(P_2+P_6)=70\cdot 0,0151+ \\
&+110(0,045+0,0149)+100\cdot 0,2485+108,4(0,0571+0,2515)+ \\
&+102,6(0,0754+0,0645)+107,2(0,045+0,015)+118,6\cdot 0,045+ \\
&+123,2(0,0675+0,0555)= \\
&=1,06+6,59+24,85+33,45+14,35+6,43+5,34+15,15=107,22.
\end{aligned}$$

Результати розрахунку показують, що умовна вартість алгоритму, який побудовано з використанням функції переваги за вартістю, є мінімальною. Тому для впровадження обираємо перший алгоритм (рис. 4), вартість якого становить  $B_{\text{Ад1}}=71,33$  грн.

8. *Оцінка ефективності впровадження програми діагностики.*  
Згідно завдання кількість робочих днів поста діагностики складає  $N_{\text{роб}}=250$ , а кількість автомобілів (систем керування), що підлягають діагностуванню за робочий день  $n_A=4$ . За результатами розрахунків, загальна вартість всіх перевірок без винятку  $n$  складає 254,6 грн., а вартість перевірок  $n_{\text{ДТ}}$  в обсязі ОДТ - 206,2 грн. На підставі цих даних, згідно формулі (11) визначаємо економічний ефект за рахунок скорочення кількості перевірок до обсягу ОДТ, грн.

$$E_{\text{рік.ДГ}} = 0,5 \left( \sum_{j=1}^n C_j - \sum_{j=1}^{n_{\text{ДГ}}} C_j \right) N_{\text{роб}} n_A = 0,5 \cdot 254,6 - 206,2 \cdot 250 \cdot 4 = 24200$$

Вразі виконання перевірок в певній послідовності (використання алгоритму діагностування) економічний ефект за рік підраховуємо через умовну вартість переважного алгоритму по формулі (12), грн.

$$E_{\text{рік.АДІ}} = N_{\text{роб}} n_A \left( \sum_{j=1}^n C_j - B_{\text{АДІ}} \right) = 250 \cdot 4 \cdot 254,6 - 71,33 = 183270.$$

По формулі (13) визначаємо відсоток зниження витрат на постановку діагнозу при застосуванні алгоритму діагностування

$$\Pi_E = 100\% \left( 1 - \frac{B_{\text{АДІ}}}{\sum_{j=1}^n C_j} \right) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{71,33}{254,6} \right) = 72\%.$$

Таким чином за результатами техніко-економічного аналізу отримана кількісна оцінка доцільності впровадження програми діагностики.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бороденко Ю. М. Діагностика електрообладнання АТЗ / Юрій Миколайович Бороденко. – Харків : ХНАДУ, 2006. – 330 с. – (Навчальний посібник).
2. Введение в техническую диагностику /Под общ. ред. К.Б. Карандеева.-М.: Энергия, 1968.-224 с.
3. Основы технической диагностики. Кн.1. (Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза) /Ред. П.П. Пархоменко.-М.: Энергия, 1976.- 464 с.
4. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики. Кн.2. (Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства).-М.: Энергия, 1981.- 320 с.
5. Сергеев А.Г., Ютт В.Е. Диагностирование электрооборудования автомобилей. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
6. Соснин Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей: Учебное пособие. – М.: СОЛОН-Р, 2001. –272 с.
7. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: Учебник для автодор. вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.

Навчальне видання

РОБОЧА ПРОГРАМА, ЗАВДАННЯ ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до курсової роботи «Побудування та аналіз діагностичної моделі  
мікропроцесорної системи керування АТЗ»  
з дисципліни “Діагностика ЕСКТЗ”  
для студентів спеціальності 7.092201 всіх форм навчання

Укладачі: БОРОДЕНКО Юрій Миколайович  
КАЛЬЯНОВ Георгій Константинович

Відповідальний за випуск Бажинов О.В.

Редактор

План 2006, поз.

Підп. до друку

Формат 60×84 1/16

Умов. друк. арк. 1,5

Облік.-вид.арк.1,65

Замовлення №

Тираж 50 прим.

Ціна договірна

---

ХНАДУ, 61002, Харків, МСП, вул. Петровського 25

---

Підготовлено і надруковано видавництвом  
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету