

ПРИКЛАД ПОБУДУВАННЯ ТА АНАЛІЗА ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДВЗ

1. Побудування функціональної моделі

Система керування ДВЗ складається з елементів вхідної та вихідної периферії ЕБУ, які мають за інформаційні аналогові та імпульсні сигнали. Кожний елемент системи здійснює певні функціональні перетворення. ЕБК виконує найбільш складні багатофункціональні та багатопараметричні перетворення вхідних сигналів, що надходять з інформаційних датчиків до вихідних сигналів (функцій) керування виконавчими пристроями. Такі передумови передбачають застосування функціональної діагностичної моделі для аналізу системи керування як об'єкта діагностування.

Для встановлення зв'язків між функціональними блоками системи розглянемо її функціональну структуру (див. рис. 3.31). В середовищі ЕБК показані кореспондування вхідних сигналів від датчиків системи до сигналів керування окремими виконавчими пристроями. Розглядати ЕБК як один багатофункціональний блок не можна, оскільки він реалізує декілька функцій перетворення (має декілька виходів). Щоб дотримуватися правил побудування функціональних діагностичних моделей, перебудуємо складну функцію ЕБК до простих багатопараметричних функцій по керуванню кожним з виконавчих пристроїв.

Для прикладу розглянемо сигнал керування форсунками Y_1 . Цей сигнал формується на підставі вхідних сигналів від датчиків СО – потенціометра – X_1 , ДПКВ – X_2 , ДТОР – X_3 , ДПДЗ – X_4 , ДМВП – X_5 , ДША – X_6 , ДСІ – X_7 та залежить від рівня бортової напруги X_8 . Таким чином функція перетворення по каналу керування форсунками буде мати

$$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8) \quad .$$

Такі ж функції можна побудувати для кожного виконавчого пристрою (модуля запалювання, регулятора неробочого ходу, паливного насоса, вентилятора системи охолодження). В результаті перебудови структури багатофункціонального блоку ЕБК отримуємо сім багатопараметричних функціональних блоків. Такий підхід дає змогу локалізувати несправність ЕБК до рівня каналу керування.

Функціональна структура (див. рис. 3.31) враховує тільки інформаційні зв'язки між блоками. Щоб отримати більш адекватну модель, додатково необхідно розглядати зв'язки, які відображують кола живлення елементів та комутаційні прилади в мережах живлення як функціональні блоки. Для урахування цього необхідно розглянути схему електричних підключень елементів системи (рис. А.1). До елементів мережі живлення слід віднести: вимикач запалювання (ВЗ); центральний запобіжник живлення системи FU1; запобіжник мережі живлення електробензонасоса FU3; запобіжник живлення ЕБК – FU2; запобіжник кола головного реле FU4; головне реле живлення KV1; реле вимикання бензонасоса KV2; двигун вентилятора системи охолодження KV3, приводу муфти компресора кондиціонера. Деякі датчики системи споживають електроенергію від джерела живлення системи. У зв'язку з цим на діагностичній моделі слід встановити зв'язки, що відображають ці кола живлення для датчиків ДША, ДМВП.

Традиційно позначимо вхідні параметри датчиків через X , вихідні параметри через Y , а функціональні блоки – через Q . На рис. А.2 наведено схему побудованої діагностичної моделі системи керування ДВЗ з розподіленим впорскуванням палива. В табл. А.1 наведено перелік функціональних блоків моделі відповідно до їх схемного позначення.

Згідно зі схемою моделі (рис. А.2) вхідні параметри $X_2, X_3, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9$, являють собою неелектричні структурні параметри об'єкта керування. Параметр X_{10} є радіохвильовим сигналом, що надходить від транспордеру (кодового ключа запалювання). Вихідні сигнали системи керування $Y_{21}, Y_{22}, Y_{25}, Y_{26}, Y_{28}, Y_{30}$ мають цілком електричну природу. Всі інші структурні параметри Y в середині системи є цілком електричними.

Для побудованої діагностичної моделі приймаємо, що всі вхідні параметри X мають допустимі значення (ДВЗ працює нормально). Обумовлюємо, що у системі можуть спостерігатися тільки незалежні несправності. Крім того, передбачаємо, що несправним може бути будь-який елемент системи, але тільки один. Інакше кажучи, як тільки виникла перша несправність, система підлягає діагностуванню та усуненню пошкодження. Ставиться завдання – визначити несправний блок моделі за відхиленнями вихідних сигналів.

Наступним кроком аналізу діагностичної моделі є перебудова схеми моделі до вигляду таблиці несправностей. Для цього слід надати функції перетворення аналітичний вигляд

$$\begin{aligned} Y_1 &= X_1 \cdot Q_1; & Y_2 &= X_2 \cdot Q_2; & Y_3 &= X_3 \cdot Q_3; & Y_4 &= X_1 \cdot X_4 \cdot Q_4; \\ Y_5 &= X_5 \cdot Q_5; & Y_6 &= X_6 \cdot Q_6; & Y_7 &= X_1 \cdot X_7 \cdot Q_7; & Y_8 &= X_8 \cdot Q_8; \\ Y_9 &= X_9 \cdot Q_9 & Y_{10} &= X_{10} \cdot Q_{10}; & Y_{11} &= X_{11} \cdot Y_{24} \cdot Q_{11}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{12} &= Y_1 \cdot Q_{12}; & Y_{13} &= Y_1 \cdot Q_{13}; & Y_{14} &= Y_1 \cdot Q_{14}; \\
Y_{15} &= Y_{11} \cdot Y_5 \cdot Y_{12} \cdot Y_8 \cdot Y_2 \cdot Y_9 \cdot Y_{10} \cdot Y_3 \cdot Q_{15}; & Y_{16} &= Y_4 \cdot Y_{10} \cdot Q_{16}; \\
Y_{17} &= Y_3 \cdot Y_{12} \cdot Y_8 \cdot Y_9 \cdot Y_6 \cdot Y_{10} \cdot Q_{17}; & Y_{18} &= Y_{12} \cdot Y_7 \cdot Y_3 \cdot Y_5 \cdot Y_8 \cdot Q_{18}; \\
Y_{19} &= Y_3 \cdot Y_5 \cdot Y_9 \cdot Y_4 \cdot Q_{19}; & Y_{20} &= Y_3 \cdot Y_4 \cdot Y_8 \cdot Q_{20}; & Y_{21} &= Y_{15} \cdot Y_{24} \cdot Q_{21}; \\
Y_{22} &= Y_{23} \cdot Q_{22}; & Y_{23} &= Y_{13} \cdot Y_{16} \cdot Y_{24} \cdot Q_{23}; & Y_{24} &= Y_{14} \cdot Q_{24}; \\
Y_{25} &= Y_4 \cdot Y_{17} \cdot Q_{25}; & Y_{26} &= Y_{27} \cdot Q_{26}; & Y_{27} &= Y_{18} \cdot Y_{24} \cdot Q_{27}; \\
Y_{28} &= Y_{19} \cdot Q_{28}; & Y_{29} &= Y_{24} \cdot Y_{20} \cdot Q_{29}; & Y_{30} &= Y_{29} \cdot Q_{30}.
\end{aligned}$$

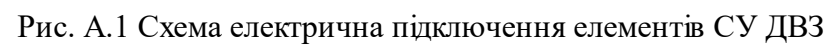
Виконуємо перебудову функцій цілі за структурними параметрами до вигляду $Y = X \cdot Q$ методом підстановки

$$\begin{aligned}
Y_{11} &= X_1 \cdot X_{11} \cdot Q_{11} \cdot Q_{14} \cdot Q_{24}; & Y_{12} &= X_1 \cdot Q_1 \cdot Q_{12}; \\
Y_{13} &= X_1 \cdot Q_1 \cdot Q_{13}; & Y_{14} &= X_1 \cdot Q_1 \cdot Q_{14}; \\
Y_{15} &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_8 \cdot X_9 \cdot X_{10} \cdot X_{11} \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_5 \cdot Q_8 \cdot Q_9 \cdot Q_{10} \cdot Q_{11} \times \\
&\times Q_{12} \cdot Q_{14} \cdot Q_{15} \cdot Q_{24} \\
Y_{16} &= X_1 \cdot X_4 \cdot X_{10} \cdot Q_4 \cdot Q_{10} \cdot Q_{16}; \\
Y_{17} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_6 \cdot X_8 \cdot X_9 \cdot X_{10} \cdot Q_1 \cdot Q_3 \cdot Q_6 \cdot Q_8 \cdot Q_9 \cdot Q_{10} \cdot Q_{12} \cdot Q_{17}; \\
Y_{18} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot Q_1 \cdot Q_3 \cdot Q_5 \cdot Q_7 \cdot Q_8 \cdot Q_{12} \cdot Q_{18}; \\
Y_{19} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_9 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_9 \cdot Q_{19}; \\
Y_{20} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_8 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_8 \cdot Q_{20}; \\
Y_{23} &= X_1 \cdot X_{14} \cdot X_{10} \cdot Q_1 \cdot Q_4 \cdot Q_{10} \cdot Q_{13} \cdot Q_{14} \cdot Q_{23} \cdot Q_{24}; \\
Y_{24} &= X_1 \cdot Q_{14} \cdot Q_{24}; \\
Y_{27} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot Q_1 \cdot Q_3 \cdot Q_5 \cdot Q_7 \cdot Q_8 \cdot Q_{12} \cdot Q_{14} \cdot Q_{18} \cdot Q_{24} \cdot Q_{27}; \\
Y_{29} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_8 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_8 \cdot Q_{14} \cdot Q_{20} \cdot Q_{24} \cdot Q_{29}.
\end{aligned}$$

Вихідні відгуки моделі системи відповідно приймають вигляд

$$\begin{aligned}
Y_{21} &= X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_8 \cdot X_9 \cdot X_{10} \cdot X_{11} \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot Q_5 \cdot Q_8 \cdot Q_9 \cdot Q_{10} \cdot Q_{11} \cdot Q_{12} \times \\
&\times Q_{14} \cdot Q_{15} \cdot Q_{21} \cdot Q_{24} \\
Y_{22} &= X_1 \cdot X_4 \cdot X_{10} \cdot Q_1 \cdot Q_4 \cdot Q_{10} \cdot Q_{13} \cdot Q_{14} \cdot Q_{16} \cdot Q_{22} \cdot Q_{23} \cdot Q_{24};
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Y_{25} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_6 \cdot X_8 \cdot X_9 \cdot X_{10} \cdot Q_1 \cdot Q_3 \cdot Q_6 \cdot Q_8 \cdot Q_9 \cdot Q_{10} \cdot Q_{12} \cdot Q_{17} \cdot Q_{25} \\
Y_{26} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_5 \cdot X_7 \cdot X_8 \cdot Q_1 \cdot Q_3 \cdot Q_5 \cdot Q_7 \cdot Q_8 \cdot Q_{12} \cdot Q_{14} \cdot Q_{18} \cdot Q_{24} \cdot Q_{26} \cdot Q_{27} \\
Y_{28} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_9 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_9 \cdot Q_{19} \cdot Q_{28}; \\
Y_{30} &= X_1 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_8 \cdot Q_3 \cdot Q_4 \cdot Q_8 \cdot Q_{14} \cdot Q_{20} \cdot Q_{24} \cdot Q_{29} \cdot Q_{30} .
\end{aligned}$$



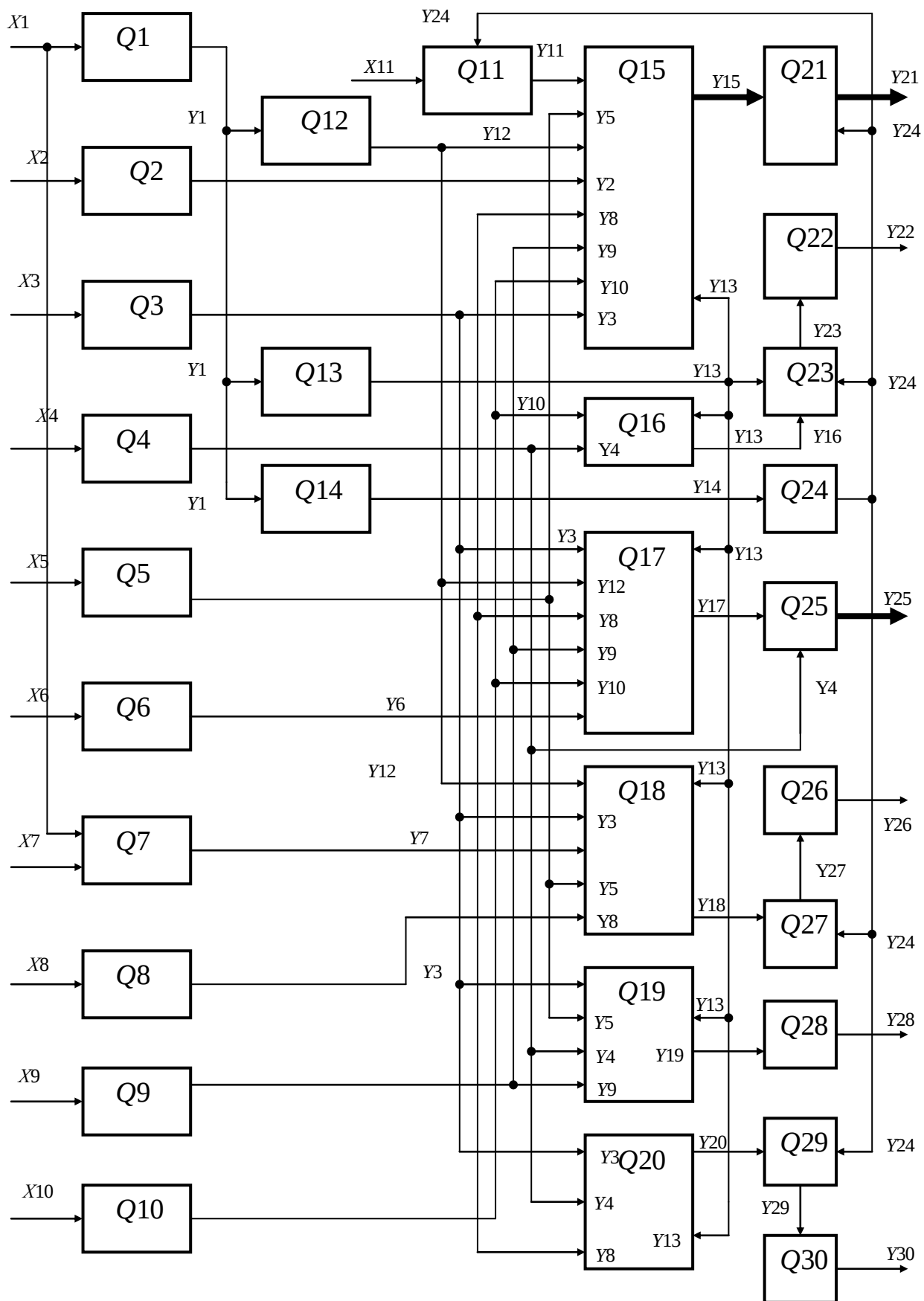


Рис. А.2 Функціональна діагностична модель системи

Перелік функціональних блоків діагностичної моделі

Позиція	Назва функціонального блока	Скорочення у тексті
Q_1	Запобіжник центральної мережі живлення	FU1
Q_2	СО-потенціометр	СОП
Q_3	Датчик положення колінчатого валу	ДПКВ
Q_4	Вимикач запалювання	ВЗ
Q_5	Датчик положення дросельної заслінки	ДПДЗ
Q_6	Датчик детонації	ДД
Q_7	Вимикач кондиціонера	ВК
Q_8	Датчик температури охолоджуючої рідини	ДТОР
Q_9	Датчик масової витрати повітря	ДМВП
Q_{10}	Приймач імобілайзера	ДСІ
Q_{11}	Датчик швидкості руху автомобіля	ДША
Q_{12}	Запобіжник кола живлення ЕБК	FU2
Q_{13}	Запобіжник кола живлення електробензонасоса	FU3
Q_{14}	Запобіжник кола головного реле	FU4
Q_{15}	Канал керування паливними форсунками (ЕБК)	КУФ
Q_{16}	Канал керування паливним насосом (ЕБК)	КУН
Q_{17}	Канал керування запалюванням (ЕБК)	КУЗ
Q_{18}	Канал керування кондиціонером (ЕБК)	КУК
Q_{19}	Канал керування обертами неробочого ходу (ЕБК)	КНХ
Q_{20}	Канал керування системою охолодження двигуна	КУВ
Q_{21}	Електромагнітні паливні форсунки	ПФ
Q_{22}	Електробензонасос	БН
Q_{23}	Реле вмикання електробензонасоса	KV2
Q_{24}	Головне реле вмикання напруги живлення	KV1
Q_{25}	Модуль запалювання	МЗ
Q_{26}	Двигун компресора кондиціонера	ДК
Q_{27}	Реле вмикання кондиціонера	KV4
Q_{28}	Регулятор неробочого ходу	РНХ
Q_{29}	Реле вмикання електродвигуна вентилятора.	KV3
Q_{30}	Двигун вентилятора системи охолодження	ВСО

Рядкам таблиці несправностей (ТН) відповідають технічні стани системи? які розуміють як несправні стани окремих блоків Q . Стовпцям ТН відповідають перевірки вихідних (структурних параметрів Y). Якщо результат, перевірки параметру Y_j – позитивний для визначеного стану системи Q_i , в ТН проставляємо умовну одиницю «1», якщо негативний – умовний нуль «0».

На підставі перелічених міркувань формуємо загальну ТН системи керування (табл. А.2).

Таблиця А.2

Загальна таблиця несправностей системи керування

Стани системи Si (Qi)	Перелік перевірок $\Pi_j(Y_j)$																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
S2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
S3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
S4	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0
S5	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
S6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
S7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
S8	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
S9	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
S10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1
S11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1
S13	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	1	1	1	1	1
S14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
S15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
S18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
S19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
S20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
S21	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	1	1	1	1	1
S22	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	1
S23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
S24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
S25	1	1	1	1	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
S26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
S27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
S28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
S29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
S30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

2. Складання тестів за вихідними діагностичними параметрами

За вихідні діагностичні параметри (симптоми) системи керування ДВЗ приймаємо реакцію виконавчих пристроїв системи, яка може бути зареєстрована (проаналізована) на підставі суб'єктивної оцінки. До вихідних діагностичних параметрів згідно зі схемою (рис. А.2) відносяться такі ознаки:

- спрацьовування (характерний стукіт) паливних форсунок (блок Q21);
- робота (шум) електродвигуна паливного насоса (блок Q22);
- іскроутворення на виводах модуля запалювання (блок Q25);
- робота (шум) електродвигуна компресора кондиціонера (блок Q26);
- спрацьовування (характерний стукіт, обертання та переміщення голки ротору крокового двигуна) РНХ (блок Q28);
- робота (характерний шум, обертання ротора електродвигуна) вентилятора системи охолодження (блок Q30).

При формуванні таблиці несправностей (табл. А.3) за відгуками системи керування урахуємо можливі несправності всіх окремих блоків за винятком несправності датчика системи імобілайзера (стан системи S10).

Для аналізу табл. А.3 збоку розрізняювальності станів системи використовуємо принцип розрядності двійкового коду, присвоюючи кожній перевірці ваговий коефіцієнт розряду відповідно до порядкового номера перевірки. Далі, підсумовуючи вагові коефіцієнти позитивних перевірок, визначаємо вагу кожного стану, яка відповідає десятинному числу двійкового коду стану. Такий підхід дозволяє знайти однакові з позицій діагностики стани системи (нерозрізняювальні стани). Результати аналізу табл. А.3 показують, що на заданій множині перевірок спостерігаються сім груп нерозрізняювальних станів:

- перша група (вага стану 62) – номери станів S2, S11, S15, S21 – позначаємо як загальний стан S2;
- друга група (вага стану 61) – номери станів S13, S16, S22, S23 – позначаємо як загальний стан S13;
- третя група (вага стану 59) – номери станів S6, S17, S25 – позначаємо як загальний стан S6;
- четверта група (вага стану 55) – номери станів S7, S18, S26, S27 – позначаємо як загальний стан S7;
- п'ята група (вага стану 47) – номери станів S19, S28 – позначаємо як загальний стан S19;
- шоста група (вага стану 31) – номери станів S20, S29, S30 – позначаємо, як загальний стан S20;
- сьома група (вага стану 20) – номери станів S14, S24 – позначаємо, як загальний стан S14.

Після скорочення таблиці за прийнятими групами станів отримуємо скорочену таблицю несправностей (табл. А.4) з форматом 14S×6П.

Таблиця несправностей за відгуками підсистем

Стани системи S_i	Перелік перевірок						Розбіжність	
	21	22	25	26	28	30	вага стану	група
S1	0	0	0	0	1	1	48	
S2	0	1	1	1	1	1	62	1
S3	0	1	0	0	0	0	2	
S4	1	0	1	1	0	0	13	
S5	0	1	1	0	0	1	38	
S6	1	1	0	1	1	1	59	3
S7	1	1	1	0	1	1	55	4
S8	0	1	0	0	1	0	18	
S9	0	1	0	1	0	1	42	
S10	0	0	0	1	1	1	56	
S11	0	1	1	1	1	1	62	1
S12	0	1	0	0	1	1	50	
S13	1	0	1	1	1	1	61	2
S14	0	0	1	0	1	0	52	
S15	0	1	1	1	1	1	62	1
S16	1	0	1	1	1	1	61	2
S17	1	1	0	1	1	1	59	3
S18	1	1	1	0	1	1	55	4
S19	1	1	1	1	0	1	47	5
S20	1	1	1	1	1	0	31	6
S21	0	1	1	1	1	1	62	1
S22	1	0	1	1	1	1	61	2
S23	1	0	1	1	1	1	61	2
S24	0	0	1	0	1	0	20	
S25	1	1	0	1	1	1	59	3
S26	1	1	1	0	1	1	55	4
S27	1	1	1	0	1	1	55	4
S28	1	1	1	1	0	1	47	5
S29	1	1	1	1	1	0	31	6
S30	1	1	1	1	1	0	31	6
Вага перевірки	1	2	4	8	16	32	$\Sigma 63$	

Мінімальний діагностичний тест (МДТ) можна отримати на підставі таблиці покриттів (табл. А.5).

Щоб зменшити обсяг операцій скорочення таблиці за методом скороченого перебору, для отримання МДТ використовуємо метод послідовного перебору, який полягає в наступному. Для пари станів $S_{i,k}$ обирається одна з непокритих перевірок (перевірка, що має «1») та додаємо цю перевірку до МДТ. Далі процес повторюється послідовно для кожної пари станів. Обираючи наступну перевірку серед конкуруючих, слід додержуватися правила мінімізації кількості отриманих перевірок МДТ. Враховуючи значну розрядженість сформованої таблиці покриттів, в першу чергу визначаємо перевірки, які не можна обминути (непокрита перевірка тільки одна для пари стану).

Таблиця А.4

Скорочена таблиця несправностей за відгуками підсистем

Стани системи S_i	Перелік перевірок					
	21	22	25	26	28	30
S1	0	0	0	0	1	1
S2	0	1	1	1	1	1
S3	0	1	0	0	0	0
S4	1	0	1	1	0	0
S5	0	1	1	0	0	1
S6	1	1	0	1	1	1
S7	1	1	1	0	1	1
S8	0	1	0	0	1	0
S9	0	1	0	1	0	1
S12	0	1	0	0	1	1
S13	1	0	1	1	1	1
S14	0	0	1	0	1	0
S19	1	1	1	1	0	1
S20	1	1	1	1	1	0

При аналізі табл. А.5 описаним методом як «необхідні» перевірки визначаються: перевірка П22 для пари станів S1,12; перевірка П25 для пари станів S2,12; перевірка П28 для пари станів S3,8 та перевірка П30 для пари станів S8,12. Альтернативними перевірками залишаються перевірки П21,П26.

Аналіз процесу перебору всіх пар станів (позначено смугою в таблиці) показує, що для отримання МДТ до переліку «необхідних» перевірок слід додати одну з альтернативних перевірок. Таким чином за результатами аналізу таблиці покриттів отримуємо два мінімальні тести

$$\text{МДТ1}=[\text{П22}, \text{П25}, \text{П26}, \text{П28}, \text{П30}], \quad \text{МДТ2}=[\text{П21}, \text{П22}, \text{П25}, \text{П28}, \text{П30}].$$

Для здійснення кожної з перевірок, що входять до складу МДТ, слід забезпечити режими функціонування системи керування (режими ДВЗ), в яких активізуються відповідні виконавчі пристрої. За реакцією виконавчих пристроїв отримується результат перевірки.

Таблиця А.5

3. Складання тестів за структурними діагностичними

Таблиця покриттів за відгуками підсистем

Пари станів S_i, k	Перелік перевірок Π_j						Пари станів S_i, k	Перелік перевірок Π_j					
	21	22	25	26	28	30		21	22	25	26	28	30
S1,2		1	1	1			S5,6	1		1	1	1	
S1,3		1			1	1	S5,7	1				1	
S1,4	1		1	1	1	1	S5,8			1		1	1
S1,5		1	1		1		S5,9			1	1		
S1,6	1	1		1			S5,12			1		1	
S1,7	1	1	1				S5,13	1	1		1	1	
S1,8		1				1	S5,14		1			1	1
S1,9		1		1	1		S5,19	1			1		
S1,12		1					S5,20	1			1	1	1
S1,13	1		1	1			S5,24		1			1	1
S1,14			1			1	S6,7			1	1		
S1,19	1	1	1	1	1		S6,8	1			1		1
S1,20	1	1	1	1		1	S6,9	1				1	
S2,3			1		1	1	S6,12	1			1		
S2,4	1	1			1	1	S6,13		1	1			
S2,5				1	1		S6,14	1	1	1	1		1
S2,6	1		1				S6,19			1		1	
S2,7	1			1			S6,20			1			1
S2,8			1	1		1	S7,8	1		1			1
S2,9			1		1		S7,9	1		1	1	1	
S2,12			1				S7,12	1		1			
S2,13	1	1					S7,13		1		1		
S2,14		1		1		1	S7,14	1	1				1
S2,19	1				1		S7,19				1	1	
S2,20	1					1	S7,20				1		1
S3,4	1	1	1	1			S8,9				1	1	1
S3,5			1			1	S8,12						1
S3,6	1			1	1	1	S8,13	1	1	1	1		1
S3,7	1		1		1	1	S8,14		1	1			
S3,8					1		S8,19	1		1	1	1	1
S3,9				1		1	S8,20	1		1	1		
S3,12					1	1	S9,12				1	1	
S3,13	1	1	1	1	1	1	S9,13	1	1	1		1	
S3,14		1	1		1		S9,14		1	1	1	1	1
S3,19	1		1	1		1	S9,19	1		1			
S3,20	1		1	1	1		S9,20	1		1		1	1
S4,5	1	1		1		1	S12,13	1	1	1	1		
S4,6		1	1		1	1	S12,14		1	1			1
S4,7		1		1	1	1	S12,19	1		1	1	1	
S4,8	1	1	1	1	1		S12,20	1		1	1		1
S4,9	1	1	1			1	S13,14	1			1		1
S4,12	1	1	1	1	1	1	S13,19		1			1	
S4,13					1	1	S13,20		1				1
S4,14	1			1	1		S14,19	1	1		1	1	1
S4,19		1				1	S14,20	1	1		1		
S4,20		1			1		S19,20					1	1

параметрами

Визначимо мінімальний діагностичний тест при діагностуванні системи керування за допомогою цифрового мультиметра та конектора. Усі перевірки діагностичних параметрів виконуються на периферійних виводах ЕБК та полягають у вимірюванні напруги сигнальних кіл і кіл живлення інформаційних датчиків та виконавчих пристроїв безпосереднього керування.

На підставі схеми електричних підключень (рис. А.1) та схеми діагностичної моделі (рис. А.2) визначаємо сукупність перевірок, які виконуються за допомогою мультиметра:

- П2 – рівень опорної напруги СО-потенціометра;
- П3 – середнє значення напруги імпульсного сигналу ДПКВ;
- П4 – напруга бортової мережі живлення ЕБК;
- П5 – рівень напруги сигналу ДПДЗ;
- П6 – середнє значення імпульсного сигналу ДД;
- П7 – рівень напруги сигналу замовлення на вмикання кондиціонера;
- П8 – рівень напруги сигналу ДТОР;
- П9 – рівень напруги сигналу ДМВП;
- П11 – середнє значення напруги імпульсного сигналу ДША;
- П12 – напруга бортової мережі на виході запобіжника;
- П15 – середнє значення напруги імпульсних сигналів керування паливними форсунками по двом колам 1-4 та 2-3;
- П16-наявність нульового потенціалу при вмиканні бензонасоса;
- П17-середнє значення напруги імпульсних сигналів керування запалюванням по двом колам 1-4 та 2-3;
- П18 – наявність нульового потенціалу при вмиканні кондиціонера;
- П19 – наявність напруги окремих короткочасних імпульсів керування РНХ по двох обмотках крокового двигуна;
- П20 – наявність нульового потенціалу при вмиканні вентилятора.

Технічні стани системи в таблиці несправностей відповідають пошкодженням блоків (елементів) згідно з їх позначеннями (табл. А.1). Виходячи з наведеної інформації, формуємо таблицю несправностей системи керування для діагностування за вхідними та вихідними параметрами ЕБК (табл. А.6).

В табл. А.6 не розглядаємо складову системи – датчик імобілайзера (ДСІ), який відповідає за стан системи S10 та потребує перевірки сигналу Y10 (П10). Аналізуючи вагові коефіцієнти, можна зробити такі скорочення:

- Нерозрізнювальні стани S13, S21, S22, S23, S25 – S30 (ваговий коефіцієнт 131071) скорочуємо та приводимо до загального стану S13;
- Нерозрізнювальні стани S1, S12 (ваговий коефіцієнт 103423) скорочуємо та приводимо до загального стану S1;
- Нерозрізнювальні стани S11, S14, S24 (ваговий коефіцієнт 128511) скорочуємо та приводимо до загального стану S11.

Таблиця несправностей за вхідними та вихідними параметрами ЕБК

Стани S_i	Перелік перевірок P_j															
	2	3	4	5	6	7	8	9	11	12	15	16	17	18	19	20
S1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
S2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
S3	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
S4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
S5	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
S6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
S7	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
S8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0
S9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
S11	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
S12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1
S13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S14	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
S15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
S16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
S17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
S18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
S19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
S20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
S21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S24	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
S25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ва га	1	2	4	8	1 6	32	64	128	512	102 4	202 4	40 96	819 2	163 84	327 68	65536

Після скорочення табл. А.6 має формат $17S \times 16П$. Щоб отримати мінімальний діагностичний тест МДТ для заданої сукупності станів та переві-

рок, сформуємо таблицю покриттів (табл. А.7) на основі скороченої таблиці несправностей, за відомими правилами перетворення.

Для отримання МДТ використовуємо метод послідовного перебору непокритих перевірок за відповідними станами системи. Згідно з табл. А.7 обов'язковими перевірками (тільки одна «1» в рядку станів) є: перевірка П2 для пари станів S2,15; перевірка П6 для пари станів S6,17; перевірка П7 для пари станів S7,18; перевірка П11 для пари станів S11,15; перевірки П15 – П20 для відповідних пар станів S13, S15 – S13, 20.

Далі, використовуючи насамперед обрані за першою ознакою перевірки, відслідковуємо достатність їх кількості для послідовного перебору всіх пар станів системи із таблиці покриттів. Аналіз процесу перебору пари станів за необхідними перевірками, який позначено в таблиці смугою, показує, що МДТ складається з десяти перевірок (замість загальної сукупності шістнадцяти перевірок)

$$\text{МДТ} = (\text{П2, П6, П7, П11, П15, П16, П17, П18, П19, П20}).$$

Для здійснення кожної з перевірок, що входять до складу МДТ, необхідно виконати такі операції:

- обрати необхідний засіб (прилад) для вимірювання діагностичного параметра (ДП) та підготувати його до процесу вимірювань;
- підключити діагностичний прилад до відповідних контрольних точок схеми підключень елементів системи керування;
- забезпечити режим функціонування системи керування (режим ДВЗ) в якому вимірюється (реєструється) діагностичний параметр;
- виконати вимірювання діагностичних параметрів та проаналізувати їх значення.

Для виконання перевірки П20 необхідний спеціальний двоканальний лічильник (тестер РНХ), який слід увімкнути та обнулити перед проведенням вимірювань (реєстрація надходження імпульсів керування РНХ). Всі інші перевірки виконуються за допомогою цифрового мультиметра у режимі вольтметра постійної або змінної напруги. Мультиметр теж слід увімкнути та обрати відповідний діапазон вимірювання напруги.

Підключення вимірюючого пристрою до схеми системи керування здійснюється за допомогою діагностичного конектора відповідно з номерами (адресами) виводів рознімання ЕБК (див. табл. 3.2). Для реалізації підключення необхідно:

- розстикувати рознімання ЕБК;
- встановити в розрив кіл центральне рознімання діагностичного адаптера підключення;

Таблиця А.7

Таблиця покриттів за структурних діагностичних параметрів

Пари станів $S_{i,k}$	Перелік перевірок структурних діагностичними параметрами ДП (Π_j)															
	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8	Π_9	Π_{11}	Π_{12}	Π_{15}	Π_{16}	Π_{17}	Π_{18}	Π_{19}	Π_{20}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
S 1.2	1									1			1	1		
S 1.3		1								1					1	1
S 1.4			1							1	1	1	1	1	1	1
S 1.5				1						1			1		1	
S 1.6					1					1	1			1		
S 1.7						1				1	1		1			
S 1.8							1			1						1
S 1.9								1		1				1	1	
S 1.11									1	1			1	1		
S 1.13										1	1		1	1		
S 1.15										1			1	1		
S 1.16										1	1	1	1	1		
S 1.17										1	1			1		
S 1.18										1	1		1			
S 1.19										1	1		1	1	1	
S 1.20										1	1		1	1		1
S 2.3	1	1											1	1	1	1
S 2.4	1		1								1	1			1	1
S 2.5	1			1										1	1	
S 2.6	1				1						1		1			
S 2.7	1					1					1			1		
S 2.8	1						1						1	1		1
S 2.9	1							1					1		1	
S 2.11	1								1							
S 2.13	1										1					
S 2.15	1															
S 2.16	1										1	1				
S 2.17	1										1		1			
S 2.18	1										1			1		
S 2.19	1										1				1	
S 2.20	1										1					1
S 3.4		1	1								1	1	1	1		
S 3.5		1		1									1			1
S 3.6		1			1						1			1	1	1
S 3.7		1				1					1		1		1	1
S 3.8		1					1								1	
S 3.9		1						1						1		1
S 3.11		1							1				1	1	1	1
S 3.13		1									1		1	1	1	1
S 3.15		1											1	1	1	1
S 3.16		1									1	1	1	1	1	1
S 3.17		1									1			1	1	1
S 3.18		1									1		1		1	1
S 3.19		1									1		1	1		1
S 3.20		1									1		1	1	1	
S 4.5			1	1							1	1		1		1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
S 4.6			1		1							1	1		1	1
S 4.7			1			1						1		1	1	1
S 4.8			1				1				1	1	1	1	1	
S 4.9			1					1			1	1	1			1
S 4.11			1						1		1	1			1	1
S 4.13			1									1			1	1
S 4.15			1								1	1			1	1
S 4.16			1												1	1
S 4.17			1									1	1		1	1
S 4.18			1									1		1	1	1
S 4.19			1									1				1
S 4.20			1									1			1	
S 5.6				1	1						1		1	1	1	
S 5.7				1		1					1				1	
S 5.8				1			1						1		1	1
S 5.9				1				1					1	1		
S 5.11				1					1					1	1	
S 5.13				1							1			1	1	
S 5.15				1										1	1	
S 5.16				1							1	1		1	1	
S 5.17				1							1		1	1	1	
S 5.18				1							1				1	
S 5.19				1							1			1		
S 5.20				1							1			1	1	1
S 6.7					1	1							1	1		
S 6.8					1		1				1			1		1
S 6.9					1			1			1				1	
S 6.11					1				1		1		1			
S 6.13					1								1			
S 6.15					1						1		1			
S 6.16					1							1	1			
S 6.17					1											
S 6.18					1								1	1		
S 6.19					1								1		1	
S 6.20					1								1			1
S 7.8						1	1				1		1			1
S 7.9						1		1			1		1	1	1	
S 7.11						1			1		1			1		
S 7.13						1								1		
S 7.15						1					1			1		
S 7.16						1						1		1		
S 7.17						1							1	1		
S 7.18						1										
S 7.19						1								1	1	
S 7.20						1								1		1
S 8.9							1	1						1	1	1
S 8.11							1		1				1	1		1
S 8.13							1				1		1	1		1
S 8.15							1					1	1	1		1
S 8.16							1				1	1	1	1		1
S 8.17							1				1			1		1
S 8.18							1				1		1			1

S 8.19							1				1		1	1	1	1
--------	--	--	--	--	--	--	---	--	--	--	---	--	---	---	---	---

Закінчення табл. А. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
S 8.20							1				1		1	1		
S 9.11								1	1				1		1	
S 9.13								1			1		1		1	
S 9.15								1					1		1	
S 9.16								1			1	1	1		1	
S 9.17								1			1				1	
S 9.18								1			1		1	1	1	
S 9.19								1			1		1			
S 9.20								1			1		1		1	1
S 11.13									1		1					
S 11.15									1							
S 11.16									1		1	1				
S 11.17									1		1		1			
S 11.18									1		1			1		
S 11.19									1		1				1	
S 11.20									1		1					1
S 13.15											1					
S 13.16												1				
S 13.17													1			
S 13.18														1		
S 13.19															1	
S 13.20																1
S 15.16											1	1				
S 15.17											1		1			
S 15.18											1			1		
S 15.19											1				1	
S 15.20											1					1
S 16.17												1	1			
S 16.18												1		1		
S 16.19												1			1	
S 16.20												1				1
S 17.18													1	1		
S 17.19													1		1	
S 17.20													1			1
S 18.19														1	1	
S 18.20														1		1
S 19.20															1	1

- під'єнати середнє рознімання адаптера до конектора;
- підключити вимірювальний прилад до конектора.

Режим що забезпечує виникнення ДП на виводах конектора встановлюється органами керування ДВЗ відповідно до алгоритму функціонування підсистем. Аналіз значень діагностичних параметрів, що вимірюються діагностичним приладом, здійснюється на підставі карти потенціалів (див. табл.3.2).

4. Усунення нерозрізнявальностей технічних станів системи

Спочатку проаналізуємо нерозрізнявальності станів, які мають місце при діагностуванні системи керування за її відгуками (симптомами). До симптомів, що свідчать про несправний стан системи, відповідно до номерів груп (див. п.2) слід віднести:

1. Не працюють паливні форсунки.
2. Не працює паливний насос.
3. Не виникає іскроутворення та запалювання.
4. Не вмикається кондиціонер.
5. Нема реакції РНХ на зміну навантажувального режиму системи та двигуна.
6. Не вмикається вентилятор системи охолодження.
7. Не працюють одночасно паливний насос, кондиціонер, вентилятор системи охолодження, паливні форсунки.

Щоб локалізувати кожний з несправних елементів (усунути нерозрізнявальність) або знайти пошкодження в колах цих елементів за переліченими симптомами, слід використовувати відповідні діагностичні карти ДК-П (перевірки вузлів та агрегатів) та схеми електричних підключень.

За другим симптомом в першу чергу необхідно перевірити запобіжник (елемент Q13), оскільки ймовірність його пошкодження найбільша, а вартість перевірки найменша.

Сьомий симптом свідчить про пошкодження в колах живлення. Спочатку перевіряється запобіжник Q14, потім головне реле Q24. Слід зауважити, що навіть при справному стані всіх елементів системи вона може бути несправною (характеризується симптомами несправності) за рахунок пошкоджень зв'язків між елементами (порушення електричних кіл). Перевірка кіл виконується за допомогою пробників, вольтметрів, омметрів або перемичок.

Тепер проаналізуємо способи локалізації несправного елемента за нерозрізнявальними станами, які виникли при діагностуванні системи за вхідними та вихідними параметрами на виводах ЕБК.

Спочатку виконується перевірка стану запобіжників системи (блоки Q1, Q12, Q13, Q14). Якщо несправність при цьому не виявляється, переходять до наступного кроку. В першій групі нерозрізнявальних станів (див. п.3) локалізація несправного елемента може здійснюватися на основі аналізу вихідних відгуків виконавчих пристроїв:

- не працюють тільки паливні форсунки – несправні форсунки (блок Q21);
- не працює тільки паливний насос – несправний насос (блок Q22);

- не спрацьовує реле вмикання паливного насоса та не працює паливний насос – несправне реле вмикання паливного насоса (блок Q23);
- нема тільки іскроутворення на свічках запалювання – несправний модуль запалювання (блок Q25) або високовольтні проводи;
- не спрацьовує реле вмикання кондиціонера та не працює двигун кондиціонера – несправне реле вмикання (блок Q27);
- нема реакції ДНХ на зміну навантажувального режиму системи та ДВЗ – несправний ДНХ (блок Q28);
- не працює двигун вентилятора системи охолодження та не спрацьовує реле його вмикання (блок Q29);
- не спрацьовує двигун вентилятора, реле вмикання спрацьовує - несправний електродвигун вентилятора (блок Q30).

Активізацію перелічених виконавчих пристроїв можна здійснювати шляхом забезпечення режимів функціонування системи (ДВЗ) або шляхом тестування за допомогою сканера DST-2.

Якщо після проведення тестування виконавчих пристроїв наведеним способом несправність не локалізована, всі елементи системи справні але є пошкодження в сигнальних колах їх керування або колах живлення.

Для локалізації (визначення) місця пошкодження гальванічних зв'язків слід користуватися діагностичними картами ДК-П та схемами електричних підключень елементів системи.

5. Визначення ймовірностей відмов елементів системи

Інформація про розподіл ймовірностей технічних станів системи потрібна для побудови умовних алгоритмів діагностування об'єкта, що оптимізується, за критеріями інформативності та результативності (з використанням відповідних функцій переваги).

За вихідні дані для визначення ймовірностей відмов елементів системи (несправних станів системи) обираємо інформацію про розподіл ймовірностей відмов у групах елементів системи. Така інформація отримується на основі статистичної обробки даних про технічне обслуговування систем керування ДВЗ типу Motronic на протязі п'яти років. За цими даними 40% відмов системи виникають через вихід з ладу датчиків, що входять до складу системи; 20% відмов – через несправності ЕБК; 15% складають несправності виконавчих пристроїв; 25% - це відмови, спричинені пошкодженнями комутаційної апаратури та кабельної мережі. Елементна структура системи керування «BOSCH Motronic 1.5.4» наведена на рис. А.3.

Ставиться задача встановити ймовірності відмов кожного елементу системи, що розглядається як об'єкт діагностування. Для вирішення цієї задачі застосовуємо метод аналізу показників надійності на основі коефіцієнтів питомої ваги.

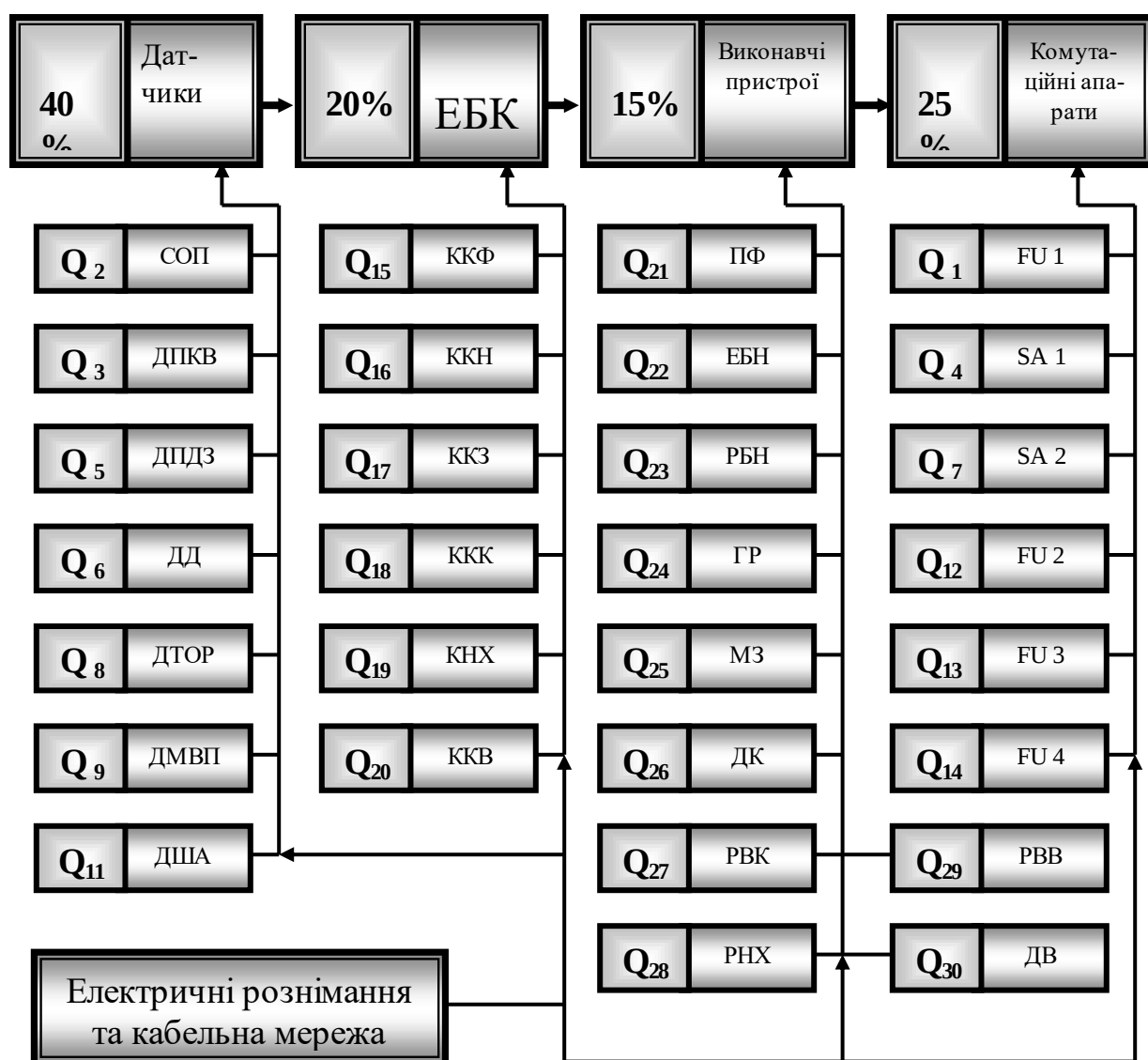


Рис. А.3 Елементна структура системи керування ДВЗ для розрахунку ймовірностей відмов

Цей метод аналізу полягає в наступному. Кожному елементу системи незалежно від її типу (для будь-якої мехатронної системи) присвоюються коефіцієнти питомої ваги (вагові параметри) за різними ознаками, що пов'язані з особливостями улаштування об'єкта та режимами його функціонування. При цьому такі фактори як пробіг автомобіля (термін експлуатації), умови та режими експлуатації системи, поновлення елементів системи на час діагностування для діагностичної моделі (абстрактної форми об'єкта) не враховуються. Така передумова спрощує задачу та цілком можлива, оскільки всі ці фактори розповсюджуються на всі елементи системи загалом. Далі,

оперуючи коефіцієнтами відмов, здійснюється розподіл ймовірностей відмов кожного елемента в межах загальної ймовірності несправного стану групи елементів системи (за вихідними даними).

Виконаємо аналіз показників надійності (ймовірностей відмов) для кожного елемента системи, розглядаючи їх як складові ймовірностей відмов по відповідним групам елементів.

Датчики системи керування, що розглядаються як функціональні блоки (табл. А.8), оцінюються за чотирма коефіцієнтами. Перший коефіцієнт $RD1$ визначає надійність датчика, пов'язану з принципом його дії (принципової побудови). Другий та третій коефіцієнти $RD2, RD3$ враховують складність функції (пристрою) перетворення інформації. За четвертим коефіцієнтом $RD4$ оцінюється надійність датчика, що регламентується особливістю конструкції пристрою. Коефіцієнти, наведені у табл. А.8, отримують на основі аналізу даних про напрацювання їх на відмову (шляхом статистичних спостережень або за паспортними даними чи технічними умовами на виріб).

Ваговий коефіцієнт безвідмовної роботи датчика визначається на основі окремих коефіцієнтів для кожного i -го датчика

$$RD_i = RD1_i \cdot RD2_i \cdot RD3_i \cdot RD4_i.$$

Ваговий параметр працездатного стану i -го датчика (за умовою, що один з датчиків відмовив) в межах групи елементів визначається пропорційно ваговим коефіцієнтам надійності

$$PD_i = \frac{RD_i}{\sum RD_i} \cdot 100\%.$$

Ймовірність відмови i -го датчика, що розглядається у складі всієї системи ($\Delta_1=40\%$ - відсоток відмов на групу датчиків) визначається на основі зворотних функцій надійності

$$q_{Di} = \frac{\frac{1}{PD_i} \cdot \Delta_1}{\sum \left(\frac{1}{PD_i} \right)}.$$

Результати розрахунку за наведеними формулами зведені у табл. А.8.

Електронний блок керування (ЕБК) згідно з діагностичної моделі (рис. А.2) містить шість багатопараметричних функціональних блоки, які формують сигнали керування виконавчими пристроями системи (див. табл.А.1).

Таблиця А.8

Результати розрахунку ймовірностей технічних станів датчиків системи

Дат- чики систе- ми	Блок ДМ	Вагові коефіцієнти								Результати розрахунку		
		Принцип дії	$RD1$	Влаштування ви- мірювального ка- налу	$RD2$	Вид сигналу	$RD3$	Конструк- тивне влашту- вання	$RD4$	RD	PD , %	q_D , %
СОП	Q2	Потенціо- метричний	0,6	Безпосереднього перетворення	1,0	Аналоговий	0,8	Стаці- онарний	1,0	0,48	13,56	4,94
ПКВ	Q3	Індукційний	1,0	Безпосереднього перетворення	1,0	Імпульсний	0,9	Стаці- онарний	1,0	0,9	25,43	2,63
ПДЗ	Q5	Потенціо- метричний	0,6	Безпосереднього перетворення	1,0	Аналоговий	0,8	Пово- ротний	0,9	0,43	12,14	5,51
ДД	Q6	П'єзо- кристалевий	0,8	Безпосереднього перетворення	1,0	Імпульсний	0,9	Стаці- онарний	1,0	0,72	20,34	3,3
ТОР	Q8	Термо- електричний	0,6	Безпосереднього перетворення	1,0	Аналоговий	0,8	Стаці- онарний	1,0	0,48	13,56	4,94
МВП	Q9	Термоанемо- метричний	0,4	Непрямого перет- ворення	0,8	Аналоговий	0,8	Мембран- ний	0,8	0,21	5,93	11,28
ДША	Q11	Магнітоеле- ктричний	0,8	Непрямого перет- ворення	0,8	Оцифрова- них значень	0,7	Оберта- льний	0,7	0,32	9,04	7,4

P A 3 O M	3,54	100	40
-----------	------	-----	----

Критерієм для оцінки ймовірностей технічних станів кожного каналу є складність функцій перетворення цих каналів, яка обумовлюється складністю пристроїв вхідної обробки сигналів, кількістю інформаційних входів, можливостями мікропроцесору, обсягом пам'яті запам'ятовуючих пристроїв, кількістю каналів керування виконавчими пристроями.

Статистичні дані по відмовам ЕБК показують що: 20% відмов пов'язано з пошкодженнями пристроїв вхідної обробки; 70% відмов викликані непрацездатністю мікро-ЕОМ; 10% - це відмови узгоджуючих каскадів (вихідних пристроїв).

Надійність вхідних пристроїв відповідно до їх складності оцінюємо на основі вагових коефіцієнтів надійності:

- аналогового інформаційного входу $RA=0,6$ (складність АЦП);
- входу сигналів оцифрованих значень $RO=0,8$ (складність цифрового лічильника);
- входу імпульсних сигналів $RI=0,7$ (складність формувача та лічильника);
- входу сигналу у вигляді двійкового коду $RK=1,0$ (не потребує вхідного пристрою зовсім);
- входу дискретного сигналу $RD=1,0$ (розглядається як окремий випадок двійкового коду).

Кількість інформаційних входів X_j , що забезпечують сигнал керування Y_i по кожному з каналів (інформаційне навантаження) визначаємо з функціональної структури системи (див. рис. 3.31). Загальний ваговий параметр відмови пристроїв вхідної обробки по кожному i -му каналу керування підраховуємо за формулою

$$\overline{PV}_i = (1 - RA) \cdot n_{Ai} + (1 - RO) \cdot n_{Oi} + (1 - RI) \cdot n_{ui} + (1 - RK) \cdot n_{Ki} + (1 - RD) \cdot n_{Di} ,$$

де n - кількість входів ЕБК з відповідних датчиків системи.

Відносна ($\Delta_{2.1}=20\%$ у складі ЕБК) ймовірність відмови вхідних пристроїв по кожному i -му каналу пропорційна параметру відмови

$$q_{Vi} = \frac{\overline{PV}_i \cdot \Delta_{2.1}}{\sum \overline{PV}_i}.$$

Відносна ($\Delta_{2.2}=70\%$ у складі ЕБК) ймовірність відмови мікро-ЕОМ по кожному i -му каналу буде пропорційна кількості інформаційних входів

$$q_{Ei} = \frac{X_{i,Y} \cdot \Delta_{2.2}}{\sum_I X_{i,Y}}.$$

Відносна ($\Delta_{2.3}=10\%$ у складі ЕБК) ймовірність відмови узгоджуючих каскадів (апаратних драйверів) буде однакова для кожного каналу керування та залежить від їх загальної кількості

$$q_{Ki} = \frac{\Delta_{2.3}}{\sum Y_i}.$$

Підсумкова ймовірність відмови i -го каналу керування ЕБК ($\Delta_2 = 20\%$ у складі системи керування) визначається як сума її складових

$$q_{EBVi} = (q_{Vi} + q_{Ei} + q_{P_{Ki}}) \cdot \frac{\Delta_2}{100}.$$

Вихідні дані та результати розрахунку ймовірностей технічних станів ЕБК, згідно наведеним формулам, по каналах керування наведено у табл. А.9.

Надійність виконавчих пристроїв оцінюється за трьома рейтинг-коефіцієнтами: $R1$, що визначає складність улаштування та напрацювання на відмову; $R2$ враховує режим функціонування пристрою; $R3$ визначає надійність, виходячи з номінальної потужності пристрою (струму, що споживається). Перелік виконавчих пристроїв системи та значення відповідних вагових коефіцієнтів наведено у табл. А.10.

Загальний ваговий коефіцієнт безвідмовної роботи i -го виконавчого пристрою визначається як добуток перелічених коефіцієнтів

$$R\Pi_i = R1_i \cdot R2_i \cdot R3_i.$$

Ваговий параметр працездатного стану i -го пристрою визначають аналогічно ваговому параметру датчиків

$$P\Pi_i = \frac{R\Pi_i}{\sum R\Pi_i} \cdot 100\%.$$

Ймовірність відмови i -го пристрою ($\Delta_3=15\%$ у складі системи керування) визначається аналогічно ймовірності датчиків

$$q_{\Pi i} = \frac{\frac{1}{P\Pi_i} \cdot \Delta_3}{\sum \left(\frac{1}{P\Pi_i} \right)}.$$

Таблиця А.9

Результати розрахунку ймовірностей технічних станів каналів керування (ЕБК)

Канали керування ЕБК	Позначення блоку ДМ	Кількість інформаційних входів						Результати розрахунку				
		n_A	n_o	$n_{и}$	n_k	n_d	$\sum n$	PV	$q_v, \%$	$q_E, \%$	$q_K, \%$	$q_{ЕБУ}, \%$
ККФ	Q15	4	1	1	-	-	6	2,1	5,9	17,5	1,66	5,0
ККН	Q16	-	-	1	-	1	2	0,3	0,85	5,83	1,67	1,68
ККЗ	Q17	3	-	2	-	-	5	1,8	5,08	14,58	1,66	4,26
ККК	Q18	2	-	1	-	1	4	1,1	3,1	11,67	1,67	3,3
КНХ	Q19	2	-	1	-	1	4	1,1	3,1	11,67	1,67	3,28
ККВ	Q20	1	-	1	-	1	3	0,7	1,97	8,75	1,67	2,48
Р А З О М							24	7,1	20	70	10	20

Таблиця А.10

Результати розрахунку ймовірностей технічних станів виконавчих пристроїв системи

Виконавчі пристрої	Блок ДМ	Вагові коефіцієнти за						Результати розрахунку		
		групою елементів	R1	режимом функціонування	R2	за струмом споживання, А	R3	РП	РП, %	qп, %
Паливні форсунки	Q21	Клапан	0,5	Циклічний	0,6	0,6	1,0	0,3	5,3	2,5
Паливний насос	Q22	Двигун	0,8	Постійний	0,8	5,0	0,8	0,512	9,0	1,4
Реле насоса	Q23	Реле	0,9	Постійний	0,8	5,0	0,8	0,58	10,17	1,3
Головне реле	Q24	Реле	0,9	Постійний	0,8	10	0,7	0,504	8,9	1,5
Модуль запалювання	Q25	Апарат запалювання	0,6	Циклічний	0,6	8,0	0,7	0,252	4,44	3,0
Двигун компресора	Q26	Двигун	0,8	Періодичний	1,0	4,0	0,8	0,64	11,3	1,2
Реле кондиціонера	Q27	Реле	0,9	Періодичний	1,0	4,0	0,8	0,72	12,7	1,0
Регулятор НХ	Q28	Двигун	0,8	Періодичний	1,0	0,3	1,0	0,8	14,11	0,9
Реле вентилятора	Q29	Реле	0,9	Періодичний	1,0	3,0	0,8	0,72	12,7	1,0
Двигун вентилятора	Q30	Двигун	0,8	Періодичний	1,0	3,0	0,8	0,64	11,3	1,2
Р А З О М								5,664	100	15

Результати розрахунку згідно з наведеними формулами по кожному виконавчому пристрою наведені у табл. А.10.

Визначення ймовірностей відмов для елементів (функціональних блоків) комутаційної апаратури виконується також на основі трьох рейтинг-коефіцієнтів аналогічно розрахунку ймовірностей відмов виконавчих пристроїв. В останню формулу у цьому випадку підставляється відповідний відсоток $\Delta_4=25\%$. Результати розрахунку ймовірностей відмов пристроїв комутаційної апаратури наведено у табл. А.11.

Таким чином, отримані дані про ймовірності технічних станів системи (розподіл ймовірностей відмов), які мають місце при пошкодженнях будь-якого її елемента. Ця інформація використовується при побудуванні алгоритмів діагностування, які оптимізуються за ймовірнісними показниками.

6. Розрахунок вартостей перевірок

Інформація про вартість проведення кожної перевірки, що входить до складу діагностичного тесту, потрібна для побудови алгоритмів діагностування об'єкта, які оптимізуються за показниками вартості (з використанням функції переваги за вартістю).

Вартість перевірки буде складатися з витрат на проведення операцій діагностування: заробітної плати оператора (час проведення операції та кваліфікації оператора); витрат на витратні матеріали (паливо); витрат на енергію, необхідну для приладів, амортизаційні відрахування на діагностичну апаратуру.

Для побудування алгоритмів діагностування достатньо визначити відносну вартість перевірок. Вихідні дані для розрахунку вартостей перевірок наведені у табл. А.12.

Вартість кожної перевірки визначаємо за статтями витрат. Витрати на заробітну плату

$$C_{\text{зп}} = t_{\text{п}} \cdot S_{\text{год}} \cdot K_{\text{доп}},$$

де $t_{\text{п}}$ - загальний час проведення перевірки, год.;

$S_{\text{год}}$ - вартість однієї години роботи оператора ($S_{\text{год}}=2,6$ грн.);

$K_{\text{доп}}$ - коефіцієнт доплати ($K_{\text{доп}}=1,4$).

Вартість палива, яке потрібне для проведення перевірки,

$$C_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}},$$

де $V_{\text{п}}$ - витрати палива, літр;

$S_{\text{п}}$ - вартість одного літра палива ($S_{\text{п}}=2,1$ грн.).

Таблиця А.11

Результати розрахунку ймовірностей технічних станів комутаційної апаратури системи

Елементи комутаційної апаратури	Блок ДМ	Рейтинг-коефіцієнти						Результати розрахунку		
		групою елементів	R1	режимом функціонування	R2	за струмом споживання, А	R3	RKA	PKA, %	qKA, %
Запобіжник мережі живлення	Q1	Запобіжник плавкий	0,5	постійний	0,8	21	0,4	0,16	6,51	7,6
Вимикач запалювання	Q4	Перемикач	0,7	періодичний	1,0	0,5	1,0	0,7	28,6	1,7
Вимикач кондиціонера	Q7	Вимикач	0,8	періодичний	1,0	0,5	1,0	0,8	32,3	1,5
Запобіжник кіл живлення ЕБК	Q12	Запобіжник плавкий	0,5	постійний	0,8	10	0,7	0,28	11,4	4,3
Запобіжник кола живлення паливного насоса	Q13	Запобіжник плавкий	0,5	постійний	0,8	5,0	0,8	0,32	13,0	3,8
Запобіжник кола живлення головного реле	Q14	Запобіжник плавкий	0,5	постійний	0,8	15	0,5	0,2	8,14	6,1
Р А З О М								2,46	100	25

Таблиця А.12

Вихідні дані для розрахунку вартостей перевірок

Перевірка	Статті витрат на		Витрати часу, хв	Витрати палива, літр
	Діагностичні прилади (вартість, грн..)	операції діагностування		
П2 (СОП)	Мультиметр (100)	Підготувати прилад. Увімкнути запалювання	2,0 0,2	—
П6 (ДД)	Осцилограф (200)	Підготувати прилад. Увімкнути запалювання. Провести тестування	4,0 0,2 1,0	—
П7 (ВК)	Мультиметр (100)	Підготувати прилад. Увімкнути запалювання. Увімкнути вимикач	2,0 0,2 0,2	—
П11 (ДША)	Осцилограф (200)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	4,0 0,2 8,0	0,15
П15 (КУФ)	Осцилограф (200)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	4,0 0,2 12,0	0,2
П16 (КУН)	Мультиметр (100)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	2,0 0,2 3,0	0,05
П17 (КУЗ)	Осцилограф (200)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	4,0 0,2 8,0	0,3
П18 (КУК)	Мультиметр (100)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	4,0 0,2 8,0	0,2
П19 (КНХ)	Тестер неробочого ходу (150)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	1,2 0,2 16,0	0,3
П20 (КУВ)	Мультиметр (100)	Підготувати прилад. Запустити двигун. Провести тестування	2,0 0,2 6,0	0,1

Амортизаційні відрахування на відновлення діагностичних приладів, віднесені до проведення однієї перевірки, визначаємо виходячи з того, що очікувана кількість автомобілів, які підлягають діагностуванню за один робочий день $n_A=1$,

$$C_{\text{дп}} = \frac{A_{\text{дп}} \cdot S_{\text{дп}}}{100 \cdot N_{\text{роб}} \cdot n_A},$$

де $A_{\text{дп}}$ - відсоток амортизаційних відрахувань за рік ($A_{\text{дп}} = 25\%$);

$S_{\text{дп}}$ - вартість діагностичного приладу, грн.;

$N_{\text{роб}}$ - кількість робочих днів за рік ($N_{\text{роб}} = 250$).

Загальна вартість кожної перевірки визначається як сума складових витрат на її проведення

$$C_1 = C_{\text{зп}} + C_{\text{п}} + C_{\text{дп}},$$

Результати розрахунку за наведеними формулами систематизуємо у табл. А.13.

Таблиця А.13

Результати розрахунку вартостей перевірок

Статті витрат	Вартість перевірок									
	П2	П6	П7	П11	П15	П16	П17	П18	П19	П20
Заробітна плата	0,13	0,32	0,15	0,3	0,98	0,3	0,62	0,74	1,06	0,5
Витрати на паливо	-	-	-	0,32	0,42	0,11	0,63	0,42	0,63	0,21
Амортизаційні відрахування	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,15	0,1
Разом	0,23	0,52	0,25	0,82	1,6	0,51	1,45	1,26	1,84	0,81
Пріоритет за вартістю	1	4	2	6	9	3	8	7	10	5

У таблиці також наведено пріоритети проведення перевірки за вартісним показником. Отримана інформація про вартість перевірок буде використана для побудування алгоритмів діагностування, які оптимізуються за вартісним показником.

Наступним етапом є безпосереднє встановлення послідовності проведення перевірок з метою мінімізації витрат коштів та часу на встановлення діагнозу (локалізацію несправності).

7. Складання алгоритмів діагностування за різними функціями переваги

Для складання алгоритму діагностування забудь-яким критерієм оптимізації необхідно, в першу чергу, сформулювати таблицю несправностей системи на основі тільки тих перевірок, що входять до складу МДТ (табл. А.14).

З урахуванням нерозрізнювальності станів (див. підрозділ 4) для МДТ формуємо таблицю несправностей за вхідними та вихідними параметрами

ЕБК. Доповнюємо таблицю розподілом ймовірностей відмов за станами системи q_i (див. підрозділ 5) та позначаємо вартість кожної перевірки C_j (табл. А.13).

Далі визначаємо параметр інформативності I_j для кожної перевірки як різницю між кількістю позитивних та негативних результатів перевірки відповідно до станів системи. Додатково визначаємо параметр результативності r_j як різницю між сумами ймовірностей позитивних та негативних результатів кожної перевірки. Підраховані параметри додаємо до таблиці несправностей (табл. А.14).

Для побудування алгоритму діагностування за критерієм мінімальної вартості використовуємо відповідну функцію переваги (1.6). Процедура побудування алгоритму виконується в такій послідовності.

1. З переліку перевірок обираємо перевірку П2 з мінімальною вартістю.
2. Поділяємо множину всіх станів системи за обраною перевіркою на дві підмножини: $S_1, S_3 - S_9, S_{11}, S_{13}, S_{15} - S_{20}$, – стани для яких отримується позитивний результат P («1» в таблиці несправностей); S_2 – стан, що має негативний результат N («0» в таблиці несправностей) на перевірці П2. На даному кроці процедури відокремлено стан S_2 (несправний блок Q_2 – СО-потенціометр).
3. Обираємо наступну перевірку П7 (за пріоритетом вартості) як найдешевшу з тих, що залишилися.
4. Поділяємо стани, що залишилися, на підмножини: $S_1, S_3 - S_6, S_8, S_9, S_{11}, S_{13}, S_{15} - S_{20} - P$ та $S_7 - N$. За результатами поділу відокремлено стан S_7 .
5. Перевірка П16, третя за пріоритетом вартості, розподіляє стани, що залишилися на підмножини: $S_1, S_3, S_5, S_6, S_8, S_9, S_{13}, S_{15}, S_{17} - S_{20} - P$ та $S_4, S_{11}, S_{16} - N$.
6. Для підмножини станів, що отримана на попередньому кроці, обираємо перевірку П6: $S_1, S_3, S_5, S_8, S_9, S_{13}, S_{15}, S_{17} - S_{20} - P$; $S_6 - N$.
7. Перевірка П20 для станів, що залишились на шостому кроці, визначає розрізнявальність: $S_1, S_5, S_9, S_{13}, S_{15}, S_{17} - S_{19} - P$; $S_3, S_8, S_{20} - N$.
8. Для підмножини станів з позитивними результатами перевірки обираємо наступну перевірку П18: $S_9, S_{13}, S_{15}, S_{17}, S_{19} - P$; $S_1, S_5, S_{18} - N$.
9. Перевірка П17: $S_{13}, S_{15}, S_{19} - P$; $S_9, S_{17} - N$.
10. Перевірка П17: $S_{13}, S_{19} - P$; $S_{15} - N$. Стан S_{15} відокремлено.
11. Повертаємося до підмножин, що мали на попередніх операціях розділу негативні результати перевірок. Для підмножини станів S_4, S_{11}, S_{16} (крок 5) обираємо перевірку П20: $S_{11}, S_{16} - P$; $S_4 - N$. Стан S_4 відокремлено.
12. Перевірка П11: $S_{16} - P$; $S_{11} - N$. Стан S_{16} та S_{11} відокремлено.
13. Для підмножини станів S_3, S_8, S_{20} (крок 7) обираємо перевірку П18: $S_{20} - P$; $S_3, S_8 - N$. Стан S_{20} відокремлено.

14. Стани $S3$, $S8$ розрізняються та відокремлюються на перевірці : $S8 - P$; $S3 - N$.

15. Для підмножини станів $S1$, $S5$, $S18$ (крок 8) обираємо перевірку П17: $S5, S18 - P$; $S1 - N$. Стан $S1$ відокремлено.

Таблиця А.14

Таблиця несправностей системи, сформована за мінімальним діагностичним тестом

Технічний стан S_i	Перевірки, що складають тест (P_j)										Ймовірності відмов, q	Примітка
	P_2	P_6	P_7	P_{11}	P_{15}	P_{16}	P_{17}	P_{18}	P_{19}	P_{20}		
S_{1H}	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0.119	2 стана
S_2	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0.0494	
S_3	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0.0263	
S_4	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0.017	
S_5	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0.0551	
S_6	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0.033	
S_7	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0.015	
S_8	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0.094	
S_9	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0.1128	
S_{11H}	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0.15	3 стана
S_{13H}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.173	10 станів
S_{15}	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0.05	
S_{16}	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0.0168	
S_{17}	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0.0426	
S_{18}	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0.033	
S_{19}	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0.0328	
S_{20}	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.0248	
C_j	1	4	2	6	9	3	8	7	10	5	$\Sigma P_j=1$	
l_j	15	15	15	15	3	11	5	5	7	9		
P_j	0,998	0,98	0,996	0,6	0,992	0,572	0,736	0,844	0,848	0,952		

16. Стани S18 та S5 розрізняються та відокремлюються за результатами перевірки П15.

Таким чином всі стани системи відокремлено на основі перевірок тесту. На рис. А.1.4 наведено алгоритм діагностування системи (функціональної моделі) у вигляді, зручному для користування.

Алгоритми діагностування, оптимізовані за критеріями інформативності та результативності, складаються аналогічно з використанням відповідних функцій переваги (рис. А.5, А.6).

8. Розрахунок вартості алгоритмів діагностування

Визначення діагностичних тестів та побудування алгоритмів діагностування системи керування дозволяє:

- зменшити кількість перевірок, необхідних для визначення технічного стану системи (знайти елемент системи, що відмовив);
- зменшити витрати на локалізацію несправності за рахунок використання показників вартості перевірок та ймовірності відмов елементів системи.

Застосування розроблених алгоритмів діагностування та впровадження їх до практичної діяльності оператора дозволяє проводити діагностику системи найбільш доцільним способом з боку витрат часу (оперативний показник) та коштів (показник вартості).

Для визначення ефективності розробки порівнюємо витрати часу та коштів на локалізацію однієї умовної несправності при діагностуванні системи без використання та з використанням побудованих алгоритмів діагностування.

Загальна кількість перевірок, на підставі яких формується таблиця несправностей для діагностичної моделі системи, складає $n1=16$. Кількість перевірок, що входять до складу мінімального діагностичного тесту (МДТ) $n2=10$. Якщо оперувати поняттям середньої витрати часу на проведення однієї перевірки, то оперативність проведення діагностики за розробленим тестом підвищується в 1,6 рази. Додатковий виграш можна отримати за рахунок оптимізації послідовності перевірок тесту.

Умовна вартість побудованих алгоритмів діагностування (рис. А.4 – А6) визначається на основі вартостей перевірок C_i необхідних для локалізації кожного технічного стану системи (див. табл. А.13) та ймовірностей відмов кожного елементу системи q_i (див. табл.Д.1.8.,Д.11) з виразу (1.7). Спочатку визначаємо вартість локалізації кожного стану відповідно до алгоритму, оптимізованого за вартісним показником

$$C_{S1}=C17+C18+C20+C6+C16+C7+C2=1,45+1,26+0,81+0,52+0,51+0,25+0,23= 5,03 \text{ грн.};$$

$$C_{S_2}=C_2 = 0,23 \text{ грн.};$$

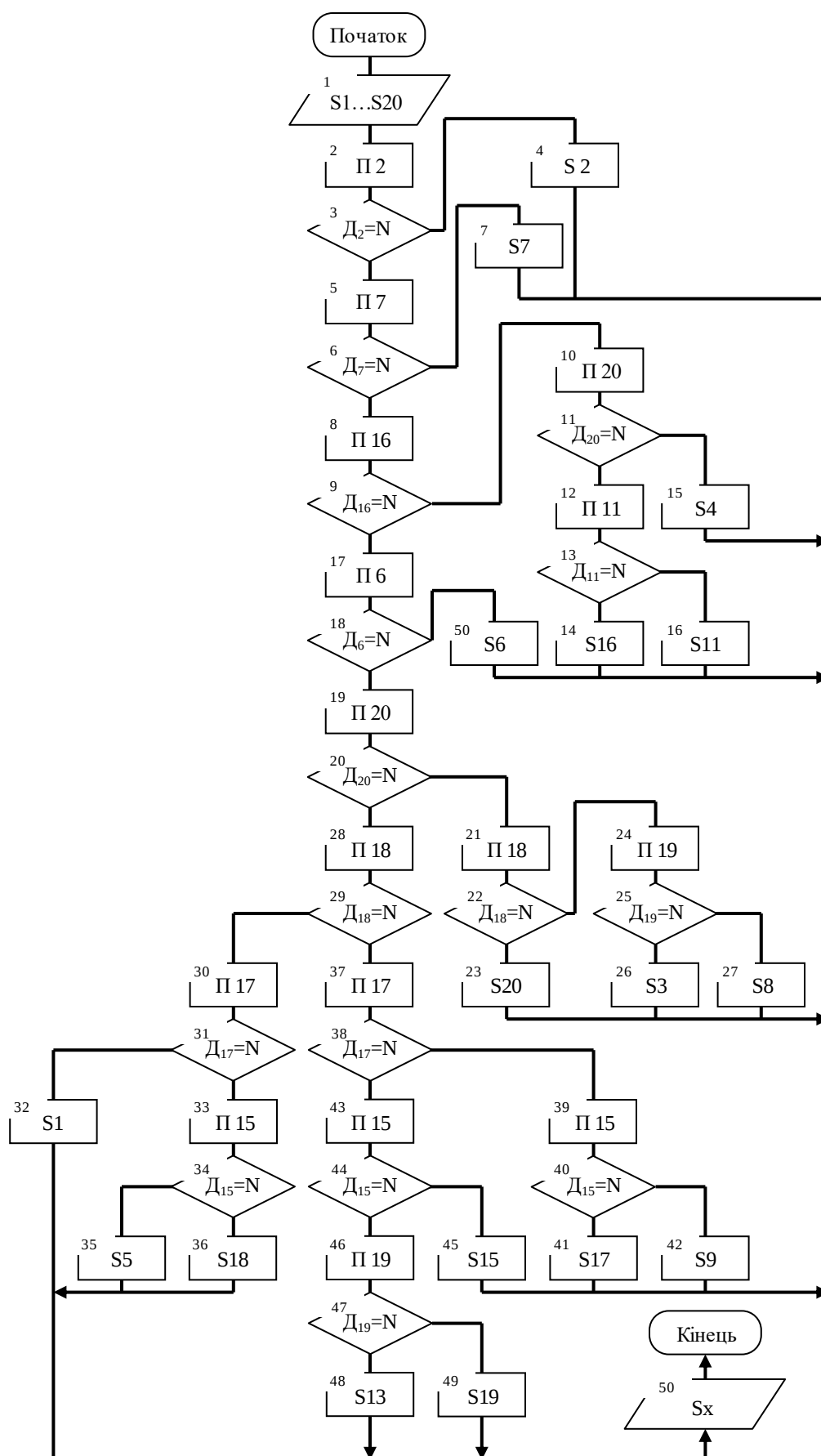


Рис. А.4 Алгоритм, оптимізований за критерієм вартості

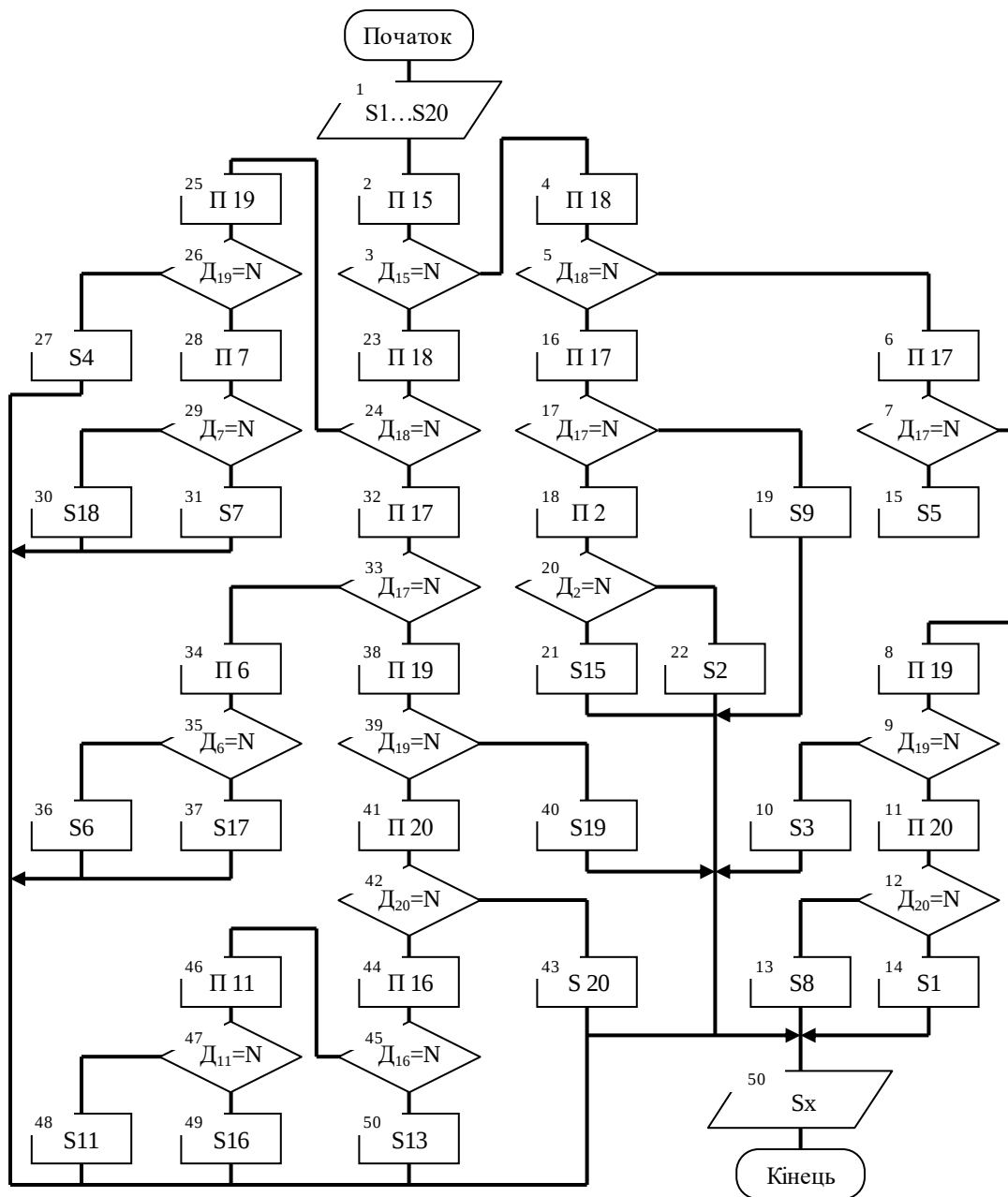


Рис. А.5 Алгоритм, оптимізований за критерієм інформативності

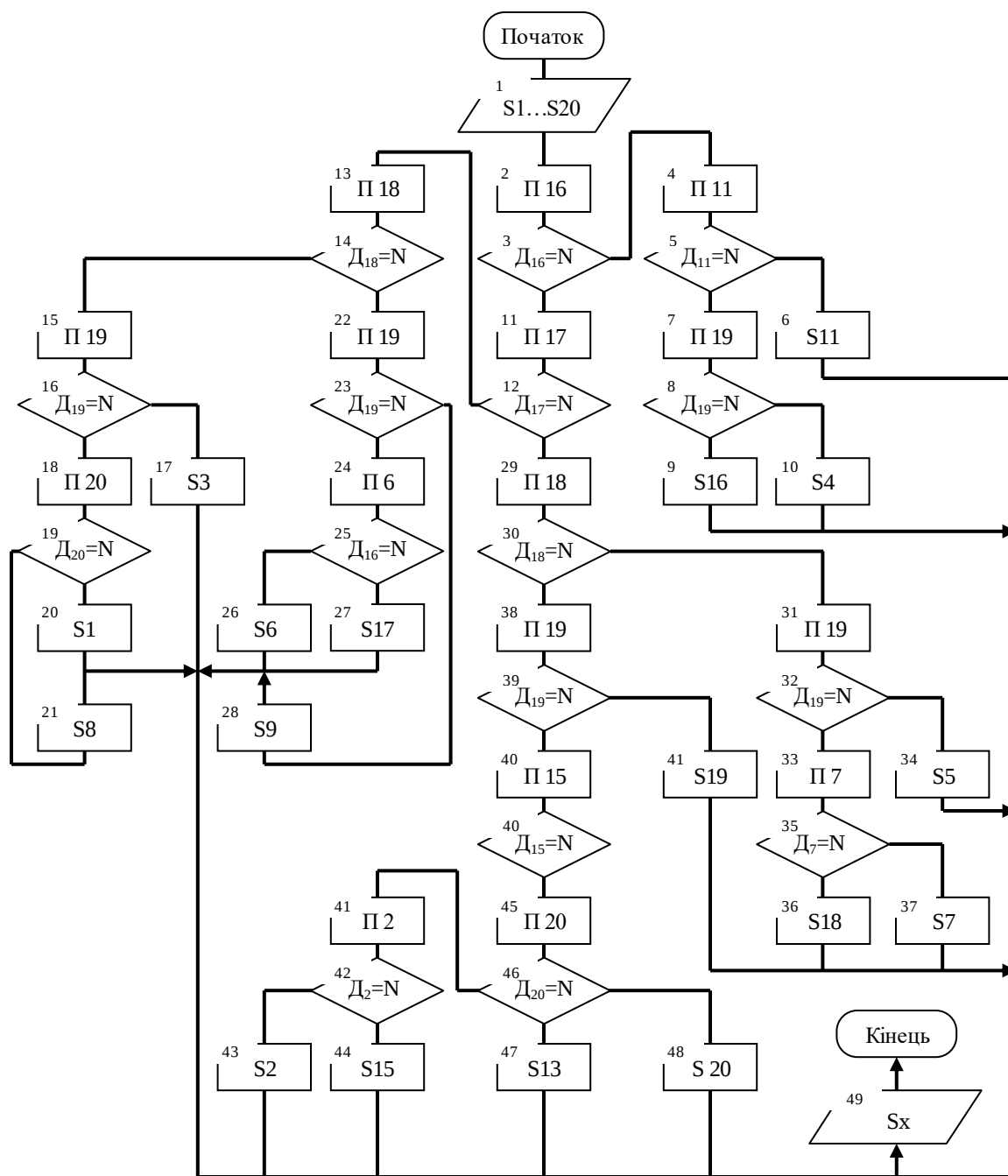


Рис. А.6 Алгоритм, оптимізований за критерієм результативності

$$\begin{aligned}
C_{S3}=C_{S8}=C_{19}+C_{18}+C_{20}+C_6+C_{16}+C_7+C_2 &= 1,84+1,26+0,81+0,52+0,51+ \\
&+0,25+0,23= 5,42 \text{ грн.}; \\
C_{S4}=C_{20}+C_{16}+C_7+C_2 &= 0,81+0,51+0,25+0,23 = 1,8 \text{ грн.}; \\
C_{S5}=C_{S9}=C_{15}+C_{17}+C_{18}+C_{20}+C_6+C_{16}+C_7+C_2 &= 1,6+1,45+1,26+0,81+ \\
&+0,52+0,51+0,25+0,23=6,63 \text{ грн.}; \\
C_{S6}=C_6+C_{16}+C_7+C_2 &= 0,52+0,51+0,25+0,23 = 1,51 \text{ грн.}; \\
C_{S7}=C_7+C_2 &= 0,25+0,23 = 0,48 \text{ грн.}; \\
C_{S11}=C_{S16} &= C_{11}+ C_{20}+C_{16}+C_7+C_2=0,82+0,81+0,51+0,25+0,23=2,62 \text{ грн.}; \\
C_{S13}=C_{19}+C_{15}+C_{17}+C_{18}+C_{20}+C_6+C_{16}+C_7+C_2 &= 1,84+1,6+1,45+1,26+ \\
&+0,81+0,52+0,51+0,25+0,23=8,47 \text{ грн.}; \\
C_{S15}=C_{S17}=C_{S18}=C_{S19}=C_{15}+C_{17}+C_{18}+C_{20}+C_6+C_{16}+C_7+C_2 &= 1,6+1,45+ \\
&+1,26+0,81+0,52+0,51+0,25+0,23=6,63 \text{ грн.}; \\
C_{S20}=C_{18}+C_{20}+C_6+C_{16}+C_7+C_2 &= 1,26+0,81+0,52+0,51+0,25+0,23=3,58 \text{ грн.}
\end{aligned}$$

Аналогічно визначаємо вартості локалізації за показником інформативності

$$\begin{aligned}
C_{S1}=C_{S8}=C_{S20}=C_{20}+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{15} &= 0,81+1,84+1,45+1,26+1,6=6,96 \text{ грн.}; \\
C_{S2}=C_{S15} &= C_2+C_{17}+C_{18}+C_{15}=0,23+1,45+1,26+1,6=4,54 \text{ грн.}; \\
C_{S3}=C_{S19} &= C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{15}=1,84+1,45+1,26+1,6=6,15 \text{ грн.}; \\
C_{S4}=C_{19}+C_{18}+C_{15} &= 1,84+1,26+1,6=4,7 \text{ грн.}; \\
C_{S5}=C_{S9}=C_{17}+C_{18}+C_{15} &= 1,45+1,26+1,6=4,31 \text{ грн.}; \\
C_{S6}=C_{S17}=C_6+C_{17}+C_{18}+C_{15} &= 0,52+1,45+1,26+1,6=4,83 \text{ грн.}; \\
C_{S7}=C_{S18}=C_7+C_{19}+C_{18}+C_{15} &= 0,25+1,84+1,26+1,6=4,95 \text{ грн.}; \\
C_{S11}=C_{S16}=C_{11}+C_{16}+C_{20}+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{15} &= 0,82+0,51+0,81+1,84+ \\
&+1,45+1,26+1,6=8,29 \text{ грн.}; \\
C_{S13}=C_{16}+C_{20}+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{15} &= 0,51+0,81+1,84+1,45+1,26 \\
&+1,6=7,47 \text{ грн.}
\end{aligned}$$

За результативністю вартість локалізації кожного технічного стану

$$\begin{aligned}
C_{S1}=C_{S8}=C_{20}+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{16} &= 0,81+1,84+1,45+1,26+0,51=5,87 \text{ грн.}; \\
C_{S2}=C_{S15}=C_2+C_{15}+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{16} &= 0,23+1,6+1,84+1,45+1,26+0,51= \\
&= 6,89 \text{ грн.}; \\
C_{S3}=C_{S5}=C_{S9}=C_{S19}=C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{16} &= 1,84+1,45+1,26+0,51=5,06 \text{ грн.}; \\
C_{S4}=C_{S16}=C_{19}+C_{11}+C_{16} &= 1,84+0,82+0,51=3,17 \text{ грн.}; \\
C_{S6}=C_{S17}=C_6+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{16} &= 0,52+1,84+1,45+1,26+0,51=5,58 \text{ грн.}; \\
C_{S7}=C_{S18}=C_7+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{16} &= 0,25+1,84+1,45+1,26+0,51=5,31 \text{ грн.}; \\
C_{S11}=C_{11}+C_{16} &= 0,82+0,51=1,33 \text{ грн.}; \\
C_{S13}=C_{S20}=C_{20}+C_{15}+C_{19}+C_{17}+C_{18}+C_{16} &= 0,81+1,6+1,84+1,45+1,26+ \\
&+0,51=7,47 \text{ грн.}
\end{aligned}$$

Згідно з формулою (1.7) визначаємо умовну вартість алгоритму діагностування, який побудовано з використанням функції переваги за вартістю

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{АДІ}} = & C_{S1} \cdot q_1 + C_{S2} \cdot q_2 + C_{S3} \cdot q_3 + C_{S4} \cdot q_4 + C_{S5} \cdot q_5 + C_{S6} \cdot q_6 + \\ & + C_{S7} \cdot q_7 + C_{S8} \cdot q_8 + C_{S9} \cdot q_9 + C_{S11} \cdot q_{11} + C_{S13} \cdot q_{13} + C_{S15} \cdot q_{15} + \\ & + C_{S16} \cdot q_{16} + C_{S17} \cdot q_{17} + C_{S18} \cdot q_{18} + C_{S19} \cdot q_{19} + C_{S20} \cdot q_{20}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{АДІ}} = & 5,03 \cdot 0,119 + 0,23 \cdot 0,0494 + 5,42(0,263 + 0,094) + 1,8 \cdot 0,017 + \\ & 6,63(0,0551 + 0,1128 + 0,05 + 0,0426 + 0,033 + 0,0328) + 1,51 \cdot 0,033 + \\ & 0,48 \cdot 0,015 + 2,62(0,15 + 0,0168) + 8,47 \cdot 0,173 + 3,58 \cdot 0,0248 = 5,5 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Аналогічно визначаємо вартість алгоритму, який побудовано з використанням функції переваги за інформативністю

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{АДІ}} = & 6,15 \cdot 0,0263 + 4,7 \cdot 0,017 + 6,96(0,119 + 0,094 + 0,0248) + 7,47 \cdot 0,73 + \\ & + 4,54(0,0494 + 0,05) + 6,15 \cdot 0,0328 + 4,31(0,0551 + 0,1128) + \\ & + 4,83(0,033 + 0,0426) + 4,95(0,015 + 0,033) + 8,29(0,15 + 0,0168) = 6,55 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Вартість алгоритму, який побудовано за критерієм результативності

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{АДІ}} = & 1,33 \cdot 0,15 + 5,87(0,119 + 0,094) + 6,89(0,0494 + 0,05) + \\ & + 5,06(0,0263 + 0,0551 + 0,0328 + 0,1128) + 3,17(0,017 + 0,0168) + \\ & + 5,58(0,033 + 0,0426) + 5,31(0,015 + 0,033) + 7,47(0,173 + 0,248) = 7,27 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Як найкращий щодо вартості (з урахуванням показника ймовірності) для порівняння обираємо алгоритм, побудований з використанням функції переваги за вартістю $\Pi_{\text{АДІ}} = 5,5$ грн.

Середня вартість однієї умовної перевірки, що входить до тесту

$$\Pi_{\text{П.СР}} = \frac{\sum C_i}{n2},$$

$$\Pi_{\text{П.СР}} = (0,23 + 0,52 + 0,25 + 0,82 + 1,6 + 0,51 + 1,45 + 1,26 + 1,84 + 0,81) / 10 = 0,93 \text{ грн.}$$

9. Визначення економічного ефекту від застосування оптимізуючого алгоритму при діагностуванні системи

Вважаємо, що в середньому несправність локалізується після проведення половини перевірок. Тоді вартість встановлення діагнозу без застосування оптимізуючого алгоритму діагностування можна визначити на основі се-

редньої вартості умовної перевірки та загальної кількості перевірок $n1$. Вартість встановлення діагнозу з використанням алгоритму діагностування, що оптимізований за ймовірнісним та вартісним показниками складе половину умовної вартості алгоритму Π_{AD} .

Економічний ефект від застосування розробленого алгоритму за рік складе

$$E_{PIK} = \left(\frac{\Pi_{П.СР} \cdot n1}{2} - \frac{\Pi_{AD}}{2} \right) \cdot N_{POB} \cdot n_A,$$

$$E_{PIK} = \left(\frac{0,93 \cdot 16}{2} - \frac{5,5}{2} \right) \cdot 250 \cdot 1 = 1172,5 \text{ грн.}$$

Економічний ефект підраховано з припущенням, що діагностуванню за один робочий день підлягає тільки один автомобіль. Отже, ефект буде збільшуватися з підвищенням пропускної здатності діагностичного поста пропорційно кількості автомобілів, що підлягають обслуговуванню.

Більш об'єктивною оцінкою доцільності застосування алгоритму діагностування в процесі сервісного обслуговування автомобілів є відносна ефективність проектного рішення. Підвищення ефективності встановлення діагнозу за рахунок використання алгоритму діагностування щодо оперативності та вартості можна визначити з виразу

$$\Delta E_{AD} = \left(1 - \frac{\Pi_{AD}}{\Pi_{П.СР} \cdot n1} \right) \cdot 100,$$

$$\Delta E_{AD} = \left(1 - \frac{5,5}{0,96 \cdot 16} \right) \cdot 100 = 63 \text{ \%}.$$

Таким чином за результатами техніко-економічного аналізу отримана кількісна оцінка доцільності прийняття проектного рішення.

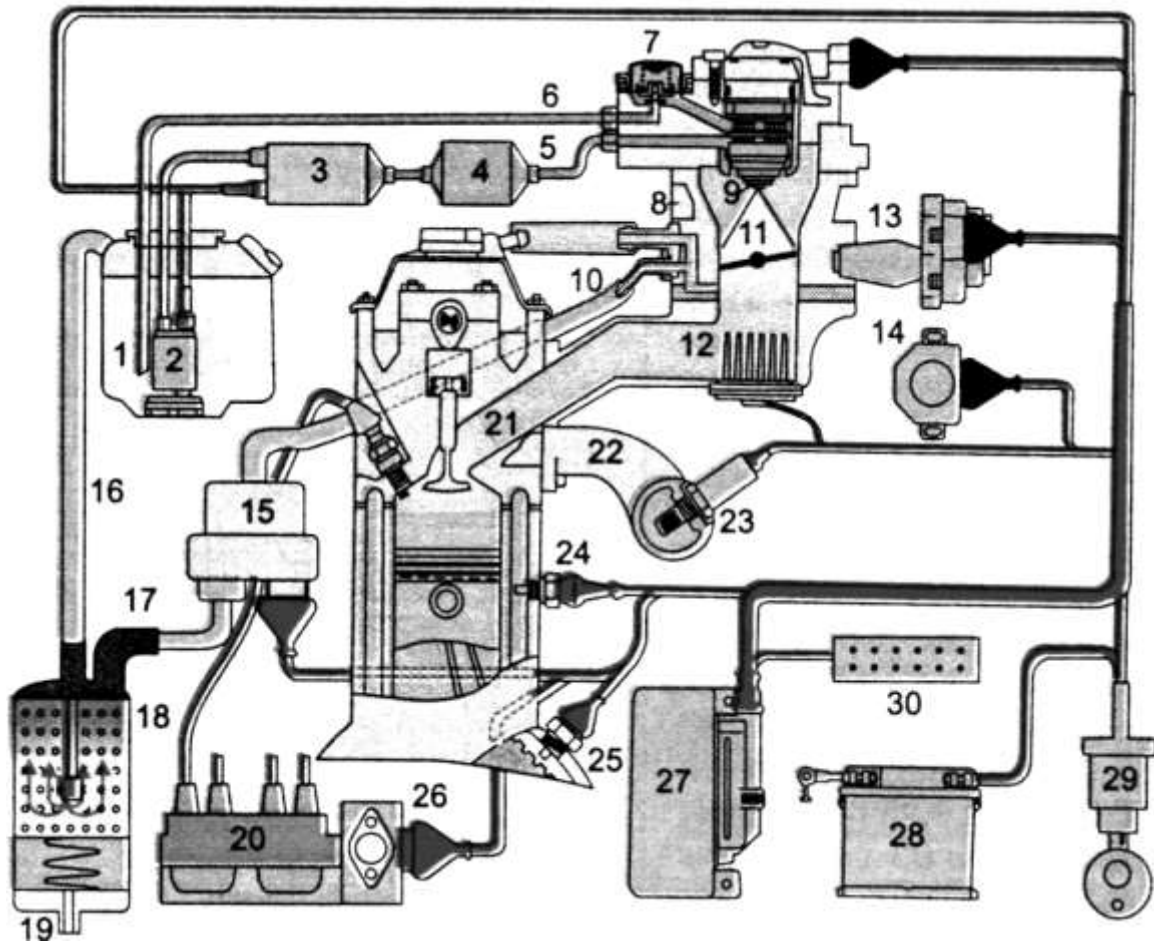
СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БЕНЗИНОВИМИ ДВИГУНАМИ ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРЯННЯ

Рис. Б.1 Система впорскування палива Mono-Motronic:

1 – бензобак; 2 – підкачуючий електробензонасос; 3 – основний електробензонасос; 4 – фільтр тонкої очистки палива; 5 – пряма бензомагістраль; 6 – зворотна бензомагістраль; 7 – регулятор тиску; 8 – центральний вузол впорскування; 9 – центральна форсунка впорскування; 10 – шланг для каналізації випаровувань бензину; 11 – дросельна заслінка; 12 – підігрівач впускного колектора; 13 – електросервопривід дросельної заслінки; 14 – дросельний потенціометр; 15 – запорно-тактовий клапан; 16, 17 – з'єднувальні шланги для вугільного фільтра; 18 – вугільний фільтр; 19 – вхідний повітряний шпунець вугільного фільтра; 20 – двовивідні котушки запалювання; 21 – впускний колектор; 22 – випускний колектор; 23 – датчик концентрації кисню; 24 – датчик температури ДВЗ; 25 – датчик колінчастого валу; 26 – багатоканальний модуль запалювання; 27 – ЕБК; 28 – акумуляторна батарея; 29 – замок ввімкнення запалювання; 30 – діагностичне рознімання

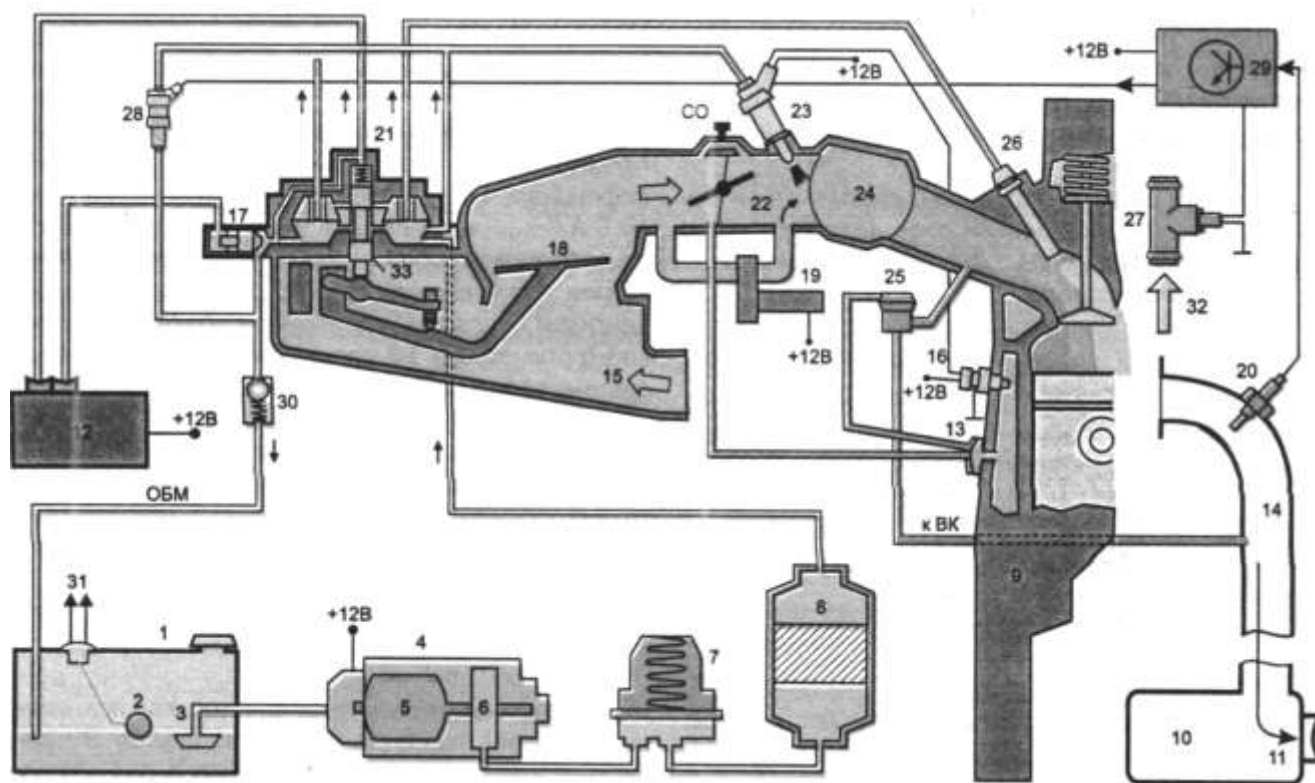


Рис. Б.2. Механічна система упорскування палива К-Jetronic:

1 – бензобак; 2 – поплавковий показчик рівня палива; 3 – сітчастий фільтр; 4 – електробензонасос (ЕБН); 5 – електродвигун ЕБН; 6 – шиберний нагнігач ЕБН; 7 – підпірний накопичувач палива (гідроаккумулятор); 8 – фільтр тонкої очистки бензину; 9 – блок ДВЗ; 10 – каталітичний газонейтралізатор; 11 – вихід відпрацьованих газів в глушникову підсистему; 12 – регулятор керуючого тиску на непрогрітому двигуні (регулятор прогріву); 13 – термопневмоклапан; 14 – випускний колектор; 15 – корпус витратоміра повітря; 16 – термореле часу; 17 – клапан зворотного тиску; 18 – повітряна заслінка витратоміра (ротаметр); 19 – клапан додаткової подачі повітря через байпасний канал; 20 – датчик концентрації кисню; 21 – дозатор-розподільник палива; 22 – дросельна заслінка; 23 – пускова форсунка; 24 – ресивер впускного колектора; 25 – клапан підсистеми рециркуляції; 26 – робоча клапанна форсунка; 27 – термоконтактор; 28 – тактовий

гідроклапан (ТГК); 29 – електронний блок керування для ТГК; 30 – стравлюючий клапан; 31 – контакти датчика рівня палива; 32 – рі-
дина в системі охолодження ДВЗ; 33 – золотниковий клапан (золотник) дозатора-розподільника

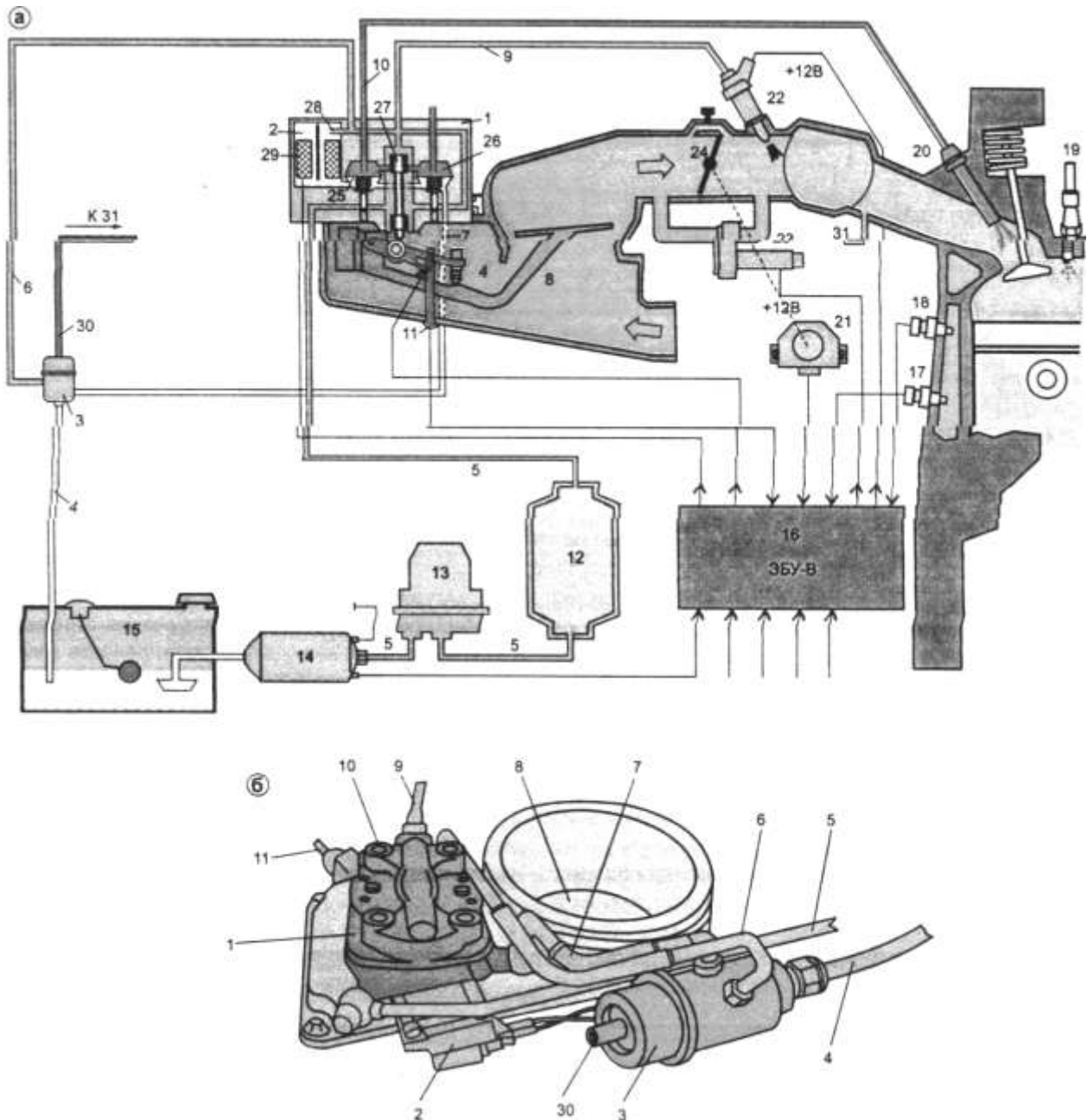


Рис. Б.3 Система упорскування палива KE-Jetronic:

а – функціональна схема; б – конструкція гідромеханічного вузла системи; 1 – дозатор-розподільник; 2 – електрогідравлічний задатчик тиску (ЕГЗТ); 3 – мембранний регулятор тиску (МРТ); 4 – зливна бензобагiстраль; 5 – пряма бензобагiстраль; 6 – з'єднувальна бензобагiстраль; 7 – зворотна бензобагiстраль; 8 – ротаметр витратоміра повітря; 9 – бензошланг до пускової форсунки 10 – канали до робочих форсунок; 11 – електричне рознімання потенціометра (датчика положення ротаметра); 12 – фільтр тонкої очистки бензину; 13 – підпiрний накопичувач палива (гідроаккумулятор); 14 – електробензонасос; 15 – бензобак; 16 – ЕБК упорскування; 17 – датчик температури двигуна; 18 – термореле часу; 19 – свічка запалювання; 20 – робоча форсунка; 21 – потенціометричний датчик положення дросельної заслінки; 22 – пускова форсунка; 23 – клапан додаткової подачі повітря; 24 – дросельна заслінка; 25, 26 – верхня та нижня камери диференціальних клапанів; 27 – поршне-щілевий

вентиль; 28 – паливний жиклер ЕГЗТ; 29 – електромагнітна система ЕГЗТ; 30 – штуцер вакуумної камери МРТ; 31 – штуцер задросельної зони впускного колектора

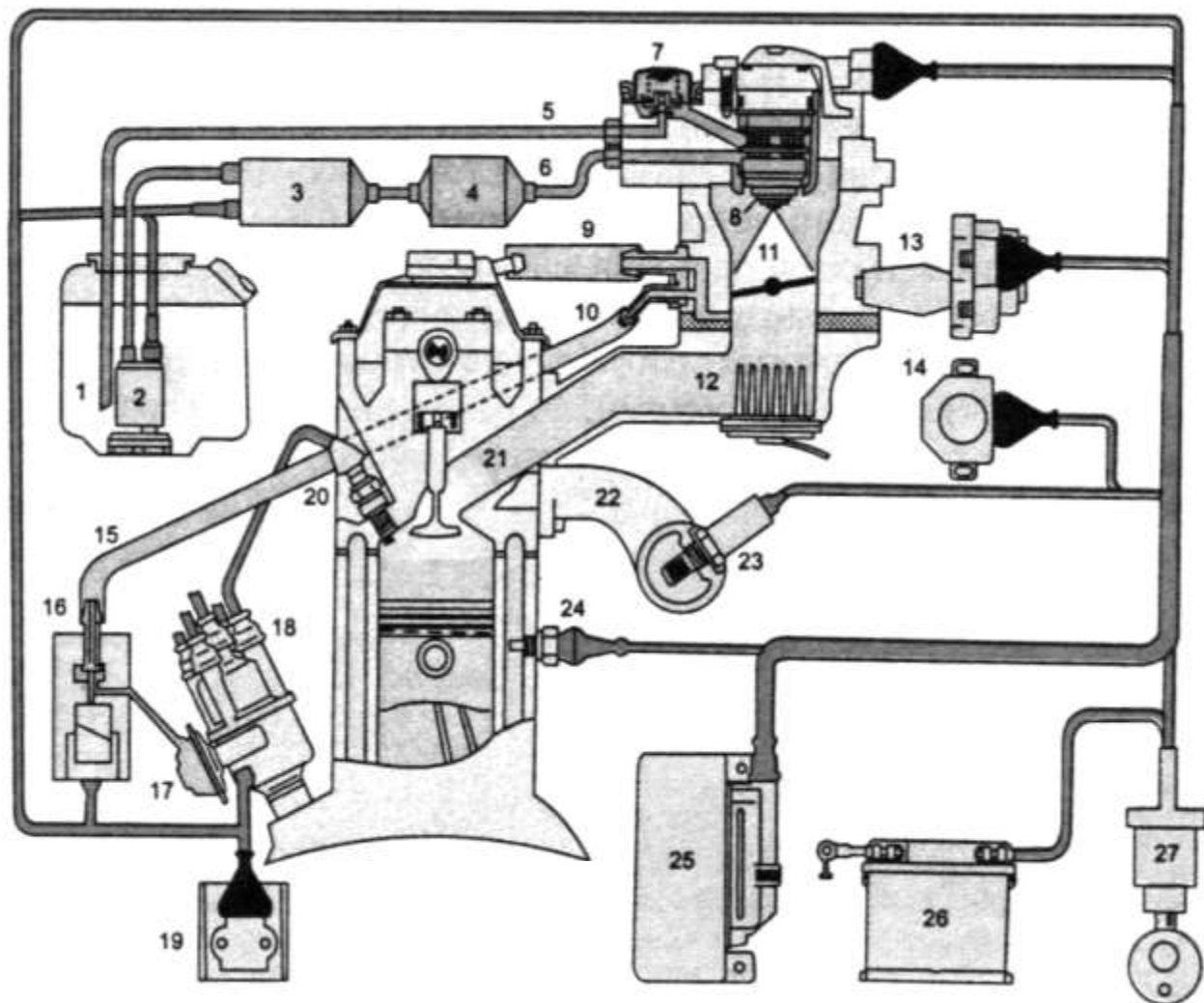


Рис. Б.4 Система упорскування палива Mono-Jetronic:

1 – бензобак; 2 – підкачуючий бензонасос; 3 – основний бензонасос; 4 – бензофільтр;
 5 – зворотний бензопровід; 6 – пряма бензомагістраль; 7 – регулятор тиску; 8 – центральна форсунка впорскування; 9 – вивід картерних газів; 10 – штуцер вакуумного шланга для запорного клапана; 11 – дросельна заслінка; 12 – підігрівач паливної суміші;
 13 – електросервопривід дросельної заслінки; 14 – дросельний потенціометр;
 15 – вакуумний шланг; 16 – запорний пневмоклапан; 17 – вакуумний регулятор випередження запалювання; 18 – датчик-розподільник; 19 – електронний комутатор запалення; 20 – свічка запалювання; 21 – впускний клапан ДВЗ; 22 – випускний колектор;
 23 – датчик кисню; 24 – датчик температури ДВЗ; 25 – електронний блок керування упорскуванням; 26 – акумуляторна батарея; 27 – замок запалювання

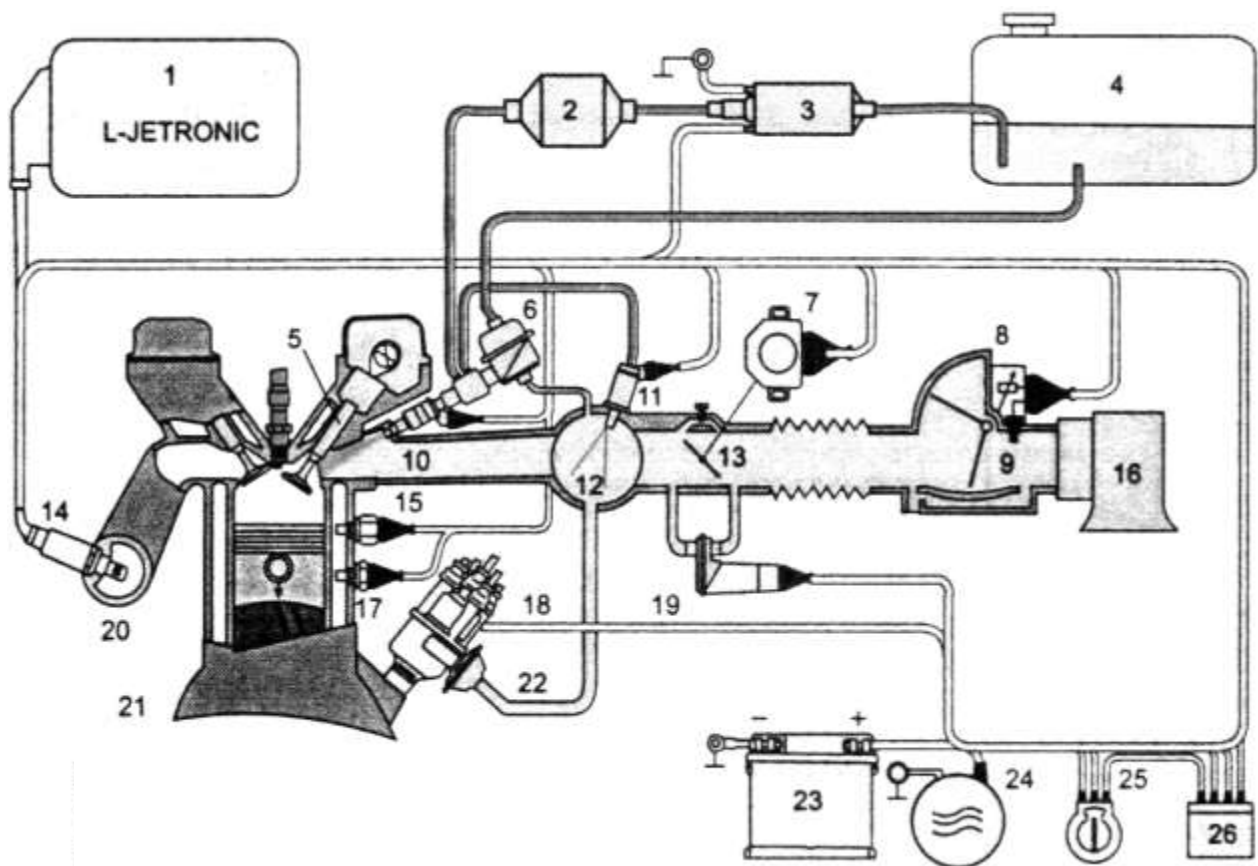


Рис. Б.5 Система впорскування палива L-Jetronic

1 – ЕБК; 2 – фільтр тонкої очистки палива; 3 – електробензонасос; 4 – бензобак; 5 – впускний клапан; 6 – регулятор тиску з вакуумним коректором; 7 – потенціометричний датчик положення дросельної заслінки; 8 – потенціометричний витратомір повітря з датчиком температури; 9 – датчик температури повітря; 10 – робоча форсунка з електронним керуванням; 11 – пускова форсунка; 12 – ресивер впускного колектора; 13 – дросельна заслінка; 14 – датчик концентрації кисню; 15 – датчик температури двигуна; 16 – повітряний фільтр; 17 – термореле часу; 18 – датчик-розподільник; 19 – клапан додаткової подачі повітря; 20 – випускний колектор; 21 – блок циліндрів ДВС; 22 – вакуумний регулятор; 23 – акумуляторна батарея; 24 – генераторна установка; 25 – замок запалювання; 26 – реле керування бензонасосом, пусковою форсункою і термореле часу

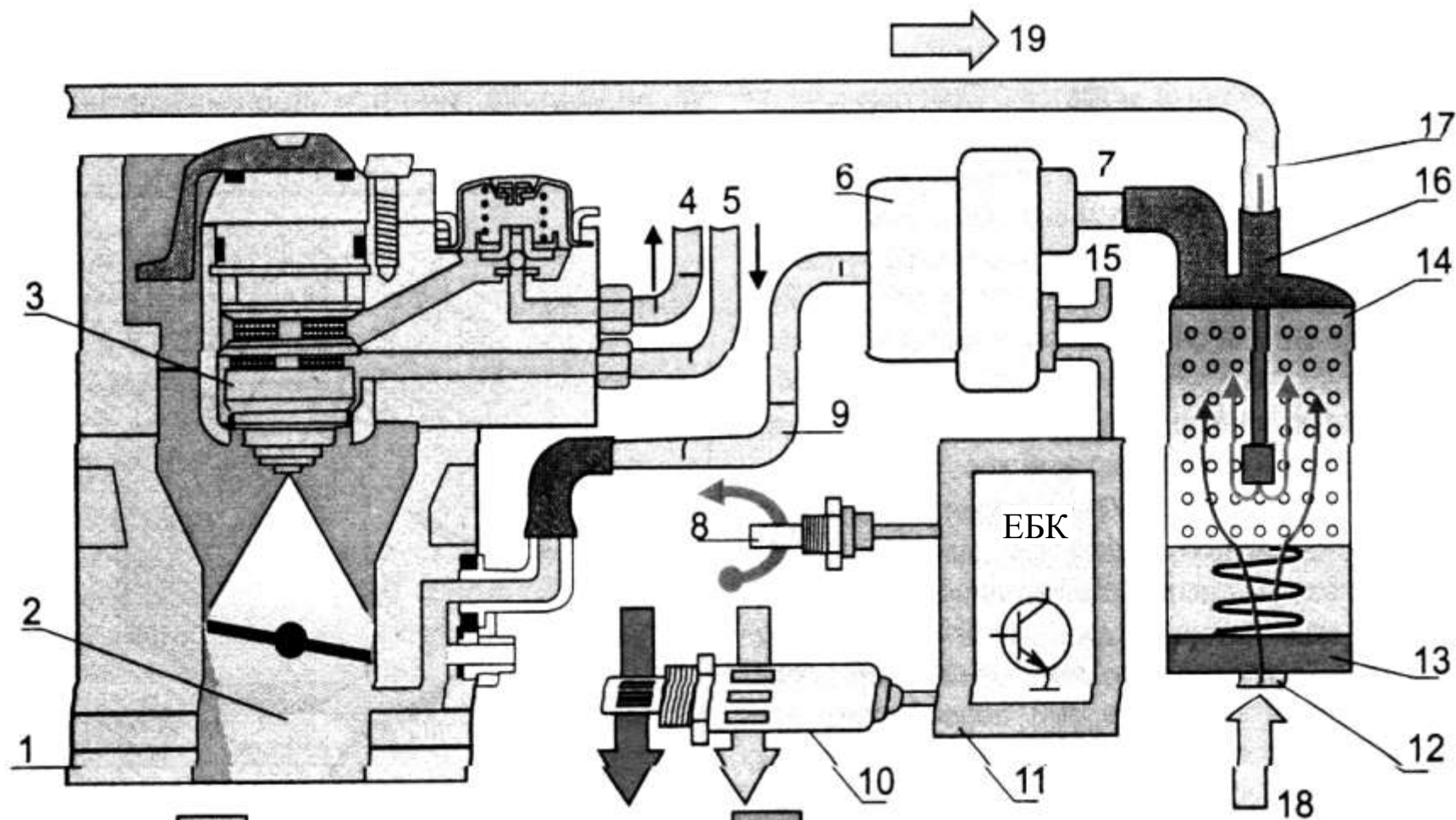


Рис. Б.6 Підсистема утилізації випаровувань бензину в системі Mono-Motronic

1 – центральний впорскуючий вузол; 2 – центральна форсунка впорскування; 3 – регулятор тиску; 4 – зворотний бензопровід; 5 – пряма бензомагістраль; 6 – опорно-тактовий клапан; 7 – з'єднувальний шланг; 8 – датчик температури ДВЗ; 9 – з'єднувальний шланг; 10 – датчик концентрації кисню; 11 – ЕБК; 12 – вхідний повітряний шпунт; 13 – корпус вугільного фільтра; 14 – гранули активованого вугілля; 15 – електроконтакт +12 В; 16 – вугільний фільтр; 17 – з'єднувальний шланг від бензобака; 18 – потік повітря; 19 – пари бензину

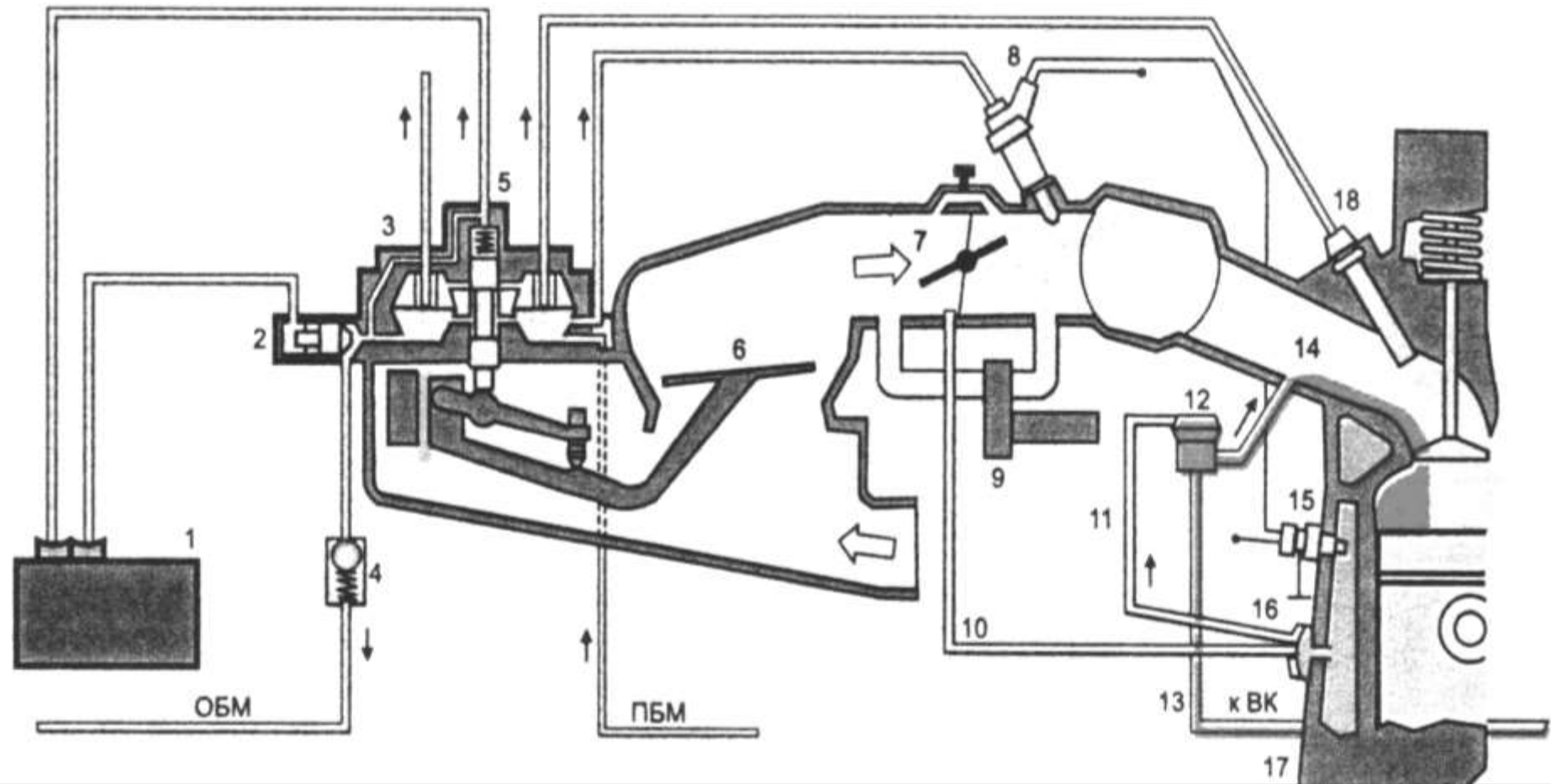


Рис. Б.7. Екологічна система рециркуляції відпрацьованих газів, що входить до складу системи K-Jentronic:

1 – регулятор керуючого тиску; 2 – зворотний клапан; 3 – дозатор-розподільник; 4 – стравлюючий клапан; 5 – поршневощілевий вентиль; 6 – ротаметр витратоміра повітря; 7 – дросельна заслінка; 8 – пускова форсунка; 9 – клапан додаткової подачі повітря; 10,11 – вакуумні канали до клапана рециркуляції; 12 – клапан рециркуляції; 13 – канал подачі відпрацьованих газів; 14 – передклапанна зона впускного колектору; 15 – термореле часу пускової форсунки; 16 – термпневмоклапан керування системою рециркуляції; 17 – блок циліндрів; 18 – робоча форсунка

ЛИТЕРАТУРА

1. Введение в техническую диагностику /Под общ. ред. К.Б. Карандеева.-М.: Энергия, 1968.-224 с.
2. Основы технической диагностики.- Кн.1. (Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза) /Ред. П.П. Пархоменко.-М.: Энергия, 1976.- 464 с.
3. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики. Кн.2. Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства.-М.: Энергия, 1981.- 320 с.
4. Ярмолик В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ.-Минск : Наука и техника, 1988.- 240 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: Учебн. пособие. – М.: СОЛОН-Р, 2001. –272 с.
7. Тимофеев Ю.Л., Ильин Н.М. Электрооборудование автомобилей (неисправности и ТО). – М.: Транспорт, 1981. – 148 с.
8. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: Учебник для автодор. вузов. – М.: Транспорт, 1989. – 287 с.
9. Акимов С.В., Боровских Ю.И., Чижков Ю.П. Электрическое и электронное оборудование автомобилей.–М.: Машиностроение, 1988.-280 с.
10. Брюханов А. Б. Электроника на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1984.- 124 с.
11. Данов Б.А. , Титов В.И. Системы управления двигателем / Электронное оборудование иностранных автомобилей.-М.: Транспорт, 1998.-76с.
12. Литвинов В. С. Электрооборудование. ВАЗ 2110, 2111, 2112. Устройство, поиск и устранение неисправностей.- М.: За рулем, 2000-169 с.
13. Чижков Ю.П., Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей. Учебник для ВУЗов. – М.: изд.- «За рулем», 1999. – 384 с.
14. Системы диагностики. Коды неисправностей автомобилей. Практическое руководство/ Под ред. С.Афониной.- Ростов: изд. Пончик, 1999г.– 288 с.
15. Системы управления двигателем: пер.с англ.–М.: Легион, 1997.– 831 с.
16. Система управления двигателем с распределенным впрыском автомобиля ВАЗ2110 - 2111. Руководство по эксплуатации и ремонту. - М.: изд. Пончик, 2000.-146с.
17. Автомобильные двигатели. Системы управления и впрыска топлива. - С.- Петербург: Альфамер. 1999.- 200 с.

Навчальне видання

БОРОДЕНКО Юрій Миколайович

ДІАГНОСТИКА ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ

Відповідальний за випуск *О.В. Бажинів*

Редактор *Т.В. Каплунова*

Комп'ютерна верстка

План 2006 р., поз.3

Підписано до друку р.

Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Друк RISO. Умовн. друк. арк..... Обл.-вид.арк.....

Замовлення №.....Тираж 300 прим. Ціна договірна

Видавництво ХНАДУ, 6100, м. Харків-МСП, вул.Петровського, 25

*Свідотство Державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції,
серія ДК № 897 від 17.04.2002 р.*