

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра автомобільного транспорту

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ
ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ
АВТОМОБІЛЯ В УМОВАХ СТО**

спеціальність 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва освітньої програми)

**Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТ-41
Назарій КОРОЛЬЧУК**

(підпис)

**Керівник:
к.т.н., доцент
Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ**

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
к.т.н., доцент,
гарант освітньої програми:
Олег ЗАХАРЧУК

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Галузь знань: 27 Транспорт
Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма: «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В. ОНИЩУК

«___» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Назарію КОРОЛЬЧУКУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *«Удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах СТО».*

Керівник роботи: к.т.н., доцент Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ

затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» грудня 2025 р. № 562/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: *структура та принцип роботи електронних систем керування двигуном автомобіля; перелік основних датчиків, виконавчих механізмів, електронних блоків керування, електричних кіл і діагностичних інтерфейсів; типові несправності електронних систем керування двигуном, їх ознаки та можливі причини; методи й засоби діагностування систем керування двигуном в умовах СТО; характеристики незалежних станцій технічного обслуговування, організація діагностичних робіт, склад діагностичного обладнання та програмного забезпечення; чинна послідовність виконання діагностичних операцій, тривалість робіт, типові недоліки діагностичного процесу, частка помилкових висновків і повторних звернень клієнтів; нормативно-технічна, довідкова та навчальна література з питань технічної експлуатації, комп'ютерної діагностики й обслуговування автомобілів.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

1 Теоретичні основи діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля

2 Аналіз організації та технології діагностування електронних систем керування двигуном на СТО

3. Удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном в умовах СТО

4 Оцінка ефективності запропонованих рішень

5. Перелік графічного матеріалу:

Титульний аркуш, мета, об'єкт, предмет, завдання досліджень; основні результати досліджень, висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна частина	<i>І. ПАВЛОВА, к.т.н., доцент каф. АТТ</i>		
Технологічна частина	<i>В. ПРИДЮК, к.т.н., доцент каф. АТТ</i>		

7. Дата видачі завдання «03» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз, вибір та обґрунтування вихідних даних</i>	<i>20.04.2026</i>	
2	<i>Теоретичні основи діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля</i>	<i>02.05.2026</i>	
3	<i>Аналіз організації та технології діагностування електронних систем керування двигуном на СТО</i>	<i>09.05.2026</i>	
4	<i>Удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном в умовах СТО</i>	<i>16.05.2026</i>	
5	<i>Оцінка ефективності запропонованих рішень</i>	<i>23.05.2026</i>	
6	<i>Перевірка кваліфікаційної роботи керівником</i>	<i>28.05.2026</i>	
7	<i>Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини відповідно діючих вимог</i>	<i>30.05.2026</i>	
8	<i>Перевірка роботи на плагіат</i>	<i>за два тижні до захисту</i>	
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>згідно графіка захистів</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Н. КРОРОЛЬЧУК

(ініціали, прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

В. ДЕМБІЦЬКИЙ

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Корольчук Н.І. Удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах СТО. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання. Обсяг кваліфікаційної роботи становить 71 сторінка основного тексту, 10 таблиць, 9 рисунків та 33 джерела за переліком посилань.

У кваліфікаційній роботі розглядаються питання удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах станції технічного обслуговування. Проведено аналіз призначення, структури та принципу роботи електронної системи керування двигуном, визначено основні типи несправностей електронних систем керування двигуном, їх діагностичні ознаки та причини виникнення, проаналізовано сучасні методи, засоби та програмне забезпечення діагностики, а також особливості організації діагностичних робіт на незалежних станціях технічного обслуговування. На основі проведеного аналізу розроблено удосконалену технологію діагностики електронних систем керування двигуном із раціональною послідовністю виконання діагностичних операцій.

У роботі виконано також оцінку ефективності запропонованих організаційно-технічних рішень. Встановлено, що впровадження удосконаленої технології діагностики дозволяє скоротити тривалість пошуку несправностей, зменшити кількість повторних звернень клієнтів, підвищити продуктивність роботи діагностичного поста та підвищити якість обслуговування автомобілів на СТО.

Під час виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту для форматування тексту, створення рисунків, систематизації

матеріалів та створення таблиць, виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі.

Ключові слова: електронна система керування двигуном, діагностика, СТО, діагностичний сканер, електронний блок керування, датчики, виконавчі механізми, технічне обслуговування автомобілів.

ANNOTATION

Korolchuk N.I. Improving the technology of diagnosing electronic engine control systems of a car in service stations. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Automobile Transport" specialty 274 Automobile Transport. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of references. The volume of the qualification work is 71 pages of the main text, 10 tables, 9 figures and 33 sources according to the list of references.

The qualification work considers the issues of improving the technology of diagnosing electronic engine control systems of a car in service stations. An analysis of the purpose, structure and principle of operation of the electronic engine control system was carried out, the main types of malfunctions of electronic engine control systems, their diagnostic signs and causes of occurrence were determined, modern methods, tools and software for diagnostics were analyzed, as well as the features of organizing diagnostic work at independent service stations. Based on the analysis, an improved technology for diagnosing electronic engine control systems with a rational sequence of diagnostic operations was developed.

The work also assessed the effectiveness of the proposed organizational and technical solutions. It was found that the implementation of improved diagnostic technology allows you to reduce the duration of troubleshooting, reduce the number of repeat customer calls, increase the productivity of the diagnostic post and improve the quality of car service at the service station.

During the work, artificial intelligence tools were used to format text, create drawings, systematize materials and create tables, exclusively as an auxiliary tool for searching for ideas, clarifying formulations and reviewing literature. All statements, conclusions and results of the study belong to the author and are based on his own analysis.

Keywords: electronic engine control system, diagnostics, service station, diagnostic scanner, electronic control unit, sensors, actuators, car maintenance.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Теоретичні основи діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля	12
1.1 Призначення, функції та структура електронної системи керування двигуном.	12
1.2 Основні елементи системи керування двигуном автомобіля.	16
1.3 Типові несправності електронних систем керування двигуном та їх діагностичні ознаки.	21
1.4 Класифікація типових несправностей електронних систем керування двигуном.	22
1.5 Сучасні методи, засоби та програмне забезпечення діагностування в умовах СТО.	25
Висновки до розділу	29
2 Аналіз організації та технології діагностування електронних систем керування двигуном на СТО	31
2.1 Загальна характеристика станції технічного обслуговування.	31
2.2 Організація діагностичних робіт на СТО.	34
2.3 Аналіз типових помилок і недоліків у процесі діагностування.	38
2.4 Оцінювання ефективності чинної технології діагностування.	42
Висновки до розділу.	45
3 Удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном в умовах СТО.	47
3.1 Обґрунтування напрямів удосконалення технології діагностування.	47
3.2 Розробка удосконаленого алгоритму діагностування електронної системи керування двигуном.	50
3.3 Оптимізація використання діагностичного обладнання та програмного забезпечення.	56

3.4 Розроблення рекомендацій для майстра-діагноста.	58
Висновки до розділу.	61
4 Оцінка ефективності запропонованих заходів	62
4.1 Методика оцінювання ефективності удосконаленої технології діагностування	62
4.2 Розрахунок ефективності запропонованого алгоритму.	65
Висновки до розділу.	68
Висновки	70
Перелік джерел посилання	72

ВСТУП

Сучасний автомобіль характеризується високим рівнем електронізації, а ефективність, економічність та екологічність роботи двигуна значною мірою визначаються функціонуванням електронної системи керування. Саме електронні системи керування двигуном забезпечують точне дозування палива, регулювання процесів запалювання, контроль складу відпрацьованих газів, адаптацію режимів роботи до навантаження та умов експлуатації, а також взаємодію з іншими системами автомобіля. У зв'язку з цим навіть незначні відхилення в роботі датчиків, виконавчих механізмів, електричних кіл або електронного блока керування можуть призводити до погіршення техніко-експлуатаційних показників автомобіля, зростання витрат палива, зниження потужності двигуна, нестійкої роботи та збільшення токсичності викидів.

В умовах станцій технічного обслуговування (СТО) діагностування електронних систем керування двигуном є одним із найбільш складних і відповідальних видів робіт. Це зумовлено багатофакторністю несправностей, необхідністю інтерпретації великої кількості діагностичних параметрів, використанням спеціалізованого обладнання та програмного забезпечення, а також потребою у високій кваліфікації майстра-діагноста. На практиці процес діагностування часто ускладнюється відсутністю уніфікованої послідовності перевірок, недостатньо системним використанням діагностичних засобів, помилками в трактуванні кодів несправностей і параметрів поточних даних, що призводить до збільшення тривалості діагностування, зниження точності встановлення причин несправностей та повторних звернень клієнтів.

					КРБ 14.00.00.00.00 ПЗ		
<i>Зм. Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>	<i>Корольчик</i>			<i>Удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах СТО</i>			
<i>Перевірив</i>	<i>Дембіцький</i>						
<i>Н. контр.</i>	<i>Булук</i>						
<i>Затверд.</i>	<i>Захарчук О.</i>						
					<i>Літера</i>	<i>Арк-ш</i>	<i>Арк-шів</i>
					<i>Д</i>	<i>9</i>	<i>76</i>
					<i>ЛНТУ, кафедра АТ, гр. АТ-41</i>		

Додаткової актуальності темі надають сучасні вимоги до якості технічного обслуговування автомобілів, скорочення часу перебування транспортного засобу на СТО, підвищення продуктивності діагностичних постів та забезпечення стабільності результатів діагностування. Для підприємств автосервісу це має не лише технічне, а й економічне значення, оскільки якість і швидкість діагностики безпосередньо впливають на рівень завантаження постів, витрати ресурсів, задоволеність клієнтів та конкурентоспроможність СТО.

Отже, удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах СТО є актуальним науково-практичним завданням. Його розв'язання спрямоване на підвищення точності виявлення несправностей, оптимізацію послідовності діагностичних операцій, раціональне використання діагностичного обладнання та програмного забезпечення, а також зменшення тривалості робіт і кількості повторних звернень. Це зумовлює доцільність виконання кваліфікаційної роботи за обраною темою.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технології діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах станції технічного обслуговування шляхом оптимізації діагностичних операцій, раціонального використання діагностичного обладнання та програмного забезпечення з урахуванням підвищення точності виявлення несправностей, скорочення тривалості діагностики та зменшення частки повторних звернень клієнтів.

Об'єктом дослідження є процес діагностування електронних систем керування двигуном автомобіля в умовах станції технічного обслуговування.

Предметом дослідження є вплив організаційно-технічних заходів на процес діагностики електронних систем керування двигуном автомобіля з використанням сучасного діагностичного обладнання та програмного забезпечення в умовах СТО.

Виходячи з мети, предмету та об'єкту досліджень визначено завдання:

1. проаналізувати призначення, структуру, принцип роботи та особливості функціонування електронної системи керування двигуном автомобіля як об'єкта діагностування;
2. дослідити типи несправностей електронних систем керування двигуном, їх діагностичні ознаки та причини виникнення в умовах експлуатації автомобілів;
3. проаналізувати сучасні методи, засоби, програмне забезпечення та організацію процесу діагностування електронних систем керування двигуном на станціях технічного обслуговування;
4. оцінити особливості організації діагностичних робіт на незалежних СТО та програм основних недоліків існуючої технології діагностики;
5. розробити вдосконалену технологію діагностики електронних систем керування двигуном із раціональною послідовністю виконання діагностичних операцій;
6. оцінити ефективність запропонованих організаційно-технічних рішень щодо підвищення якості діагностики, скорочення тривалості робіт і зменшення кількості повторних звернень клієнтів.

Практична цінність роботи полягає у розробленій удосконаленій технології діагностування електронної системи керування двигуном автомобіля в умовах станції технічного обслуговування, яка забезпечує підвищення точності виявлення несправностей, скорочення тривалості діагностичних робіт, зменшення кількості помилкових діагностичних висновків і повторних звернень клієнтів. Запропоновані організаційно-технічні рішення, алгоритм діагностування, рекомендації можуть бути використані на незалежних СТО для підвищення ефективності роботи діагностичних постів, покращення якості обслуговування автомобілів і раціонального використання трудових та матеріальних ресурсів.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ АВТОМОБІЛЯ

1.1 Призначення, функції та структура електронної системи керування двигуном

Електронна система керування двигуном (ЕСКД, англ. Engine Management System, EMS) є інтегрованою сукупністю електронних і електротехнічних засобів, призначених для забезпечення оптимальних режимів роботи двигуна автомобіля за різних умов експлуатації. У сучасному автомобілі така система виконує ключову роль у формуванні паливоподачі, керуванні запалюванням (для бензинових двигунів), коригуванні робочих параметрів за сигналами датчиків та підтриманні встановлених показників ефективності й екологічності [1], [2].

Призначення ЕСКД полягає у безперервному контролі поточного стану двигуна та реалізації керувальних впливів, які забезпечують:

- стійку роботу двигуна на різних режимах;
- необхідні тягово-потужні показники;
- економне використання палива;
- зниження токсичності відпрацьованих газів;
- адаптацію до змін навантаження, температури та інших зовнішніх чинників [1], [3].

За функціональним призначенням ЕСКД реалізує кілька взаємопов'язаних груп функцій. По-перше, це інформаційно-вимірювальні функції, що передбачають зчитування параметрів роботи двигуна (частоти обертання, температури, навантаження, складу суміші, положення валів тощо) за допомогою датчиків. По-друге, обчислювально-керувальні функції, які виконує електронний блок керування (ЕБК, ECU/ECM): обробка сигналів, порівняння з еталонними картами (алгоритмами), визначення керувальних команд. По-третє, виконавчі функції, що реалізуються через керування

форсунками, системою запалювання, клапаном рециркуляції відпрацьованих газів, дросельним вузлом та іншими виконавчими елементами [1], [2], [4].

Важливою функціональною складовою сучасної ЕСКД є діагностична підсистема, що забезпечує самоконтроль, виявлення відхилень і збереження кодів несправностей. На практиці це реалізується через бортову діагностику (OBD), яка є обов'язковим елементом систем контролю викидів і призначена для моніторингу технічного стану елементів, що впливають на екологічні показники автомобіля [3]. Наявність такої підсистеми є особливо важливою для умов СТО, оскільки вона забезпечує базову інформаційну основу для подальшого пошуку причин несправності.

З позицій побудови ЕСКД доцільно розглядати як багаторівневу систему, що включає такі основні структурні елементи (див. рис. 1.1):

1. Датчики (вхідна підсистема) – формують сигнали про поточний стан двигуна та його систем. До найбільш важливих належать датчики положення колінчастого і розподільного валів, температурні датчики, датчики тиску/витрати повітря, кисневі (лямбда-) датчики тощо. Саме сигнали датчиків положення валів використовуються ЕБК для визначення моментів упорскування палива та запалювання [2], [4].
2. Електронний блок керування (ЕБК, ECU/ECM) – центральний керувальний елемент системи. ЕБК виконує обробку вхідних сигналів, реалізує алгоритми керування та формує команди для виконавчих механізмів. За даними технічних описів EMS, ECU підтримує роботу двигуна шляхом визначення потрібної кількості палива, а також забезпечує коригування режимів роботи відповідно до поточних умов [1], [4].
3. Виконавчі механізми (вихідна підсистема) – реалізують керувальні дії ЕБК. До них належать паливні форсунки, модулі/котушки запалювання, клапани EGR, приводи дросельної заслінки, регулятори холостого ходу та інші елементи. Наприклад, EGR-клапан регулює подачу частини відпрацьованих газів у впускний тракт, що сприяє зниженню

температури згоряння та, відповідно, зменшенню утворення оксидів азоту [4].

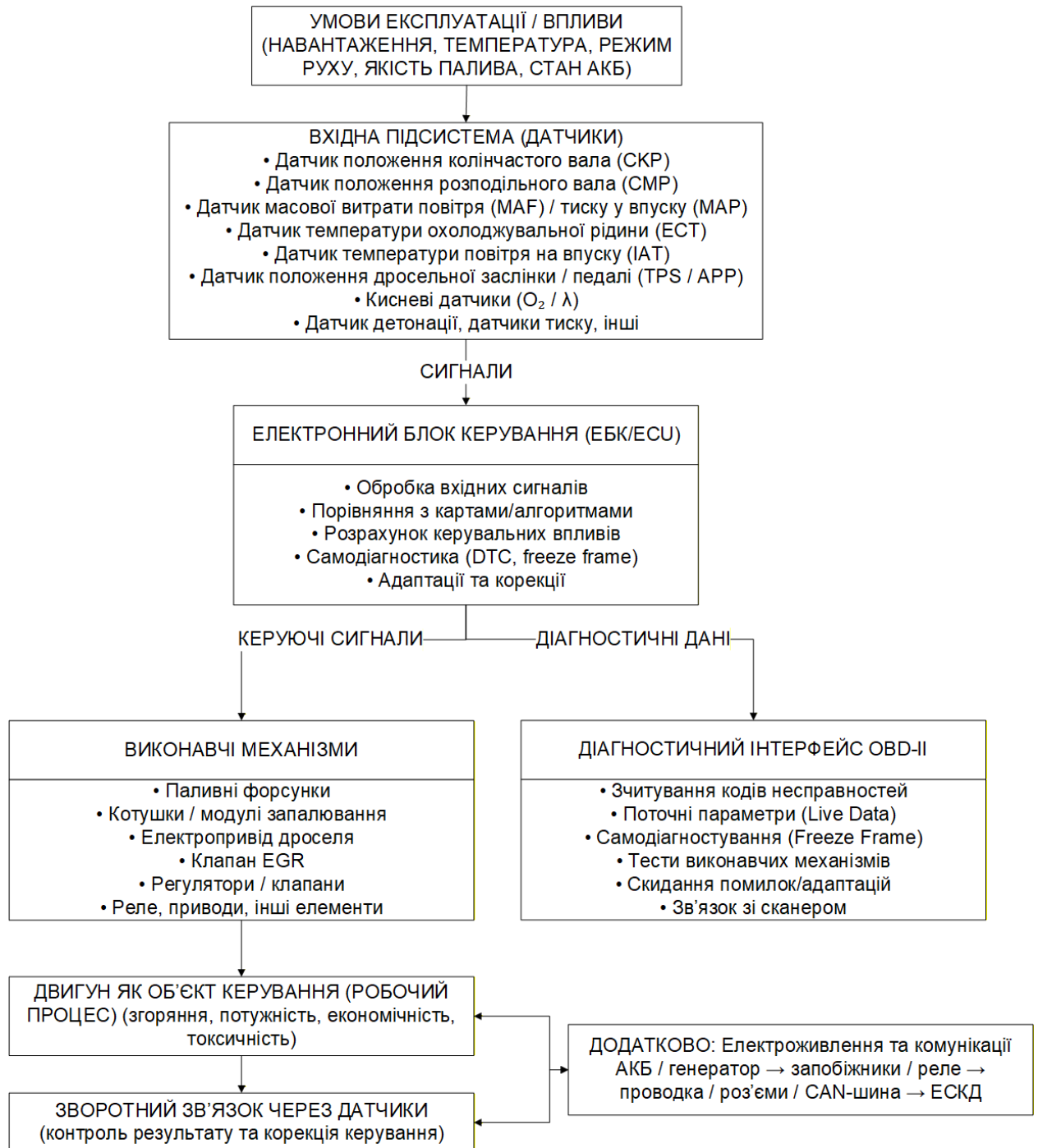


Рисунок 1.1 – Структура електронної системи керування двигуном автомобіля

4. Електричні кола, роз'єми та комунікаційні з'єднання – забезпечують передавання живлення та сигналів між компонентами системи. Якість контактів, стан проводки та захищеність з'єднань мають критичне значення для достовірності сигналів датчиків і стабільності керування. Практика сервісного обслуговування підтверджує, що порушення цілісності кола, короткі замикання або нестабільне живлення є типовими причинами відмов і помилкових діагностичних висновків [2].
5. Діагностичний інтерфейс і програмно-діагностична взаємодія (OBD/сканер) – забезпечують доступ до параметрів роботи системи, кодів несправностей і службових даних. Цей елемент структури є особливо важливим у контексті теми кваліфікаційної роботи, оскільки саме через нього реалізується первинний етап діагностування на СТО [3].

Електронна система керування двигуном має ієрархічну структуру, що включає вхідну підсистему (датчики), електронний блок керування, виконавчі механізми, діагностичний інтерфейс та об'єкт керування – двигун. Робота системи реалізується за принципом замкненого контуру: ЕБК обробляє сигнали датчиків, формує керувальні впливи на виконавчі механізми, після чого результат контролюється через зворотний зв'язок. Окреме значення для умов СТО має діагностичний інтерфейс OBD-II, через який здійснюється зчитування параметрів, кодів несправностей та виконання сервісних процедур.

Отже, ЕСКД є складною ієрархічною системою, у якій точність роботи двигуна визначається узгодженою взаємодією датчиків, ЕБК, виконавчих механізмів та діагностичної підсистеми. Розуміння призначення, функцій і структури ЕСКД є необхідною теоретичною основою для подальшого аналізу несправностей і розроблення удосконаленої технології діагностування в умовах СТО.

1.2 Основні елементи системи керування двигуном автомобіля

Електронна система керування двигуном (ЕСКД) автомобіля є комплексом взаємопов'язаних технічних засобів, у якому функціонально поєднуються вхідна підсистема (датчики), керуюча підсистема (електронний блок керування, ЕБК/ECU), виконавча підсистема (актуатори) та канали обміну діагностичною інформацією (рис. 1.2). Така структура забезпечує безперервне вимірювання параметрів роботи двигуна, їх алгоритмічну обробку та формування керуючих впливів для підтримання заданих показників потужності, економічності та екологічності [5], [6], [8].

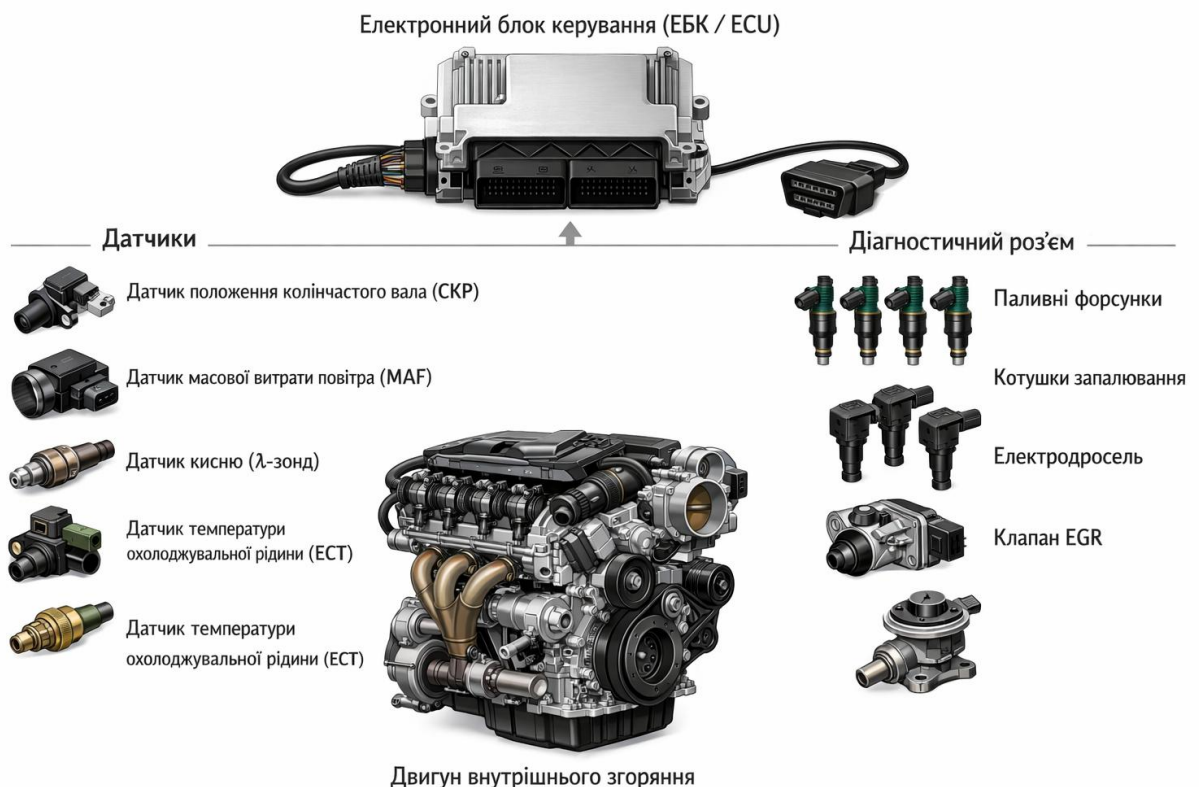


Рисунок 1.2 – Основні елементи системи керування двигуном автомобіля (рисунок згенерований з використанням ШІ: ChatGPT 5.2)

Ключовим елементом системи є електронний блок керування двигуном. За своєю сутністю ЕБК є спеціалізованим комп'ютером, який приймає сигнали

від датчиків, виконує їх обробку відповідно до закладених алгоритмів та формує команди для виконавчих елементів системи [5]. У навчальній літературі також підкреслюється, що ЕБК виступає центром узгодження сигналів різного фізичного походження: на вході здійснюється перетворення неелектричних впливів у електричні сигнали, а на виході — формування керуючих впливів на виконавчі механізми [6]. Це положення є принципово важливим для розуміння технології діагностування, оскільки більшість діагностичних процедур на СТО фактично зводиться до перевірки правильності інформаційного обміну між датчиками, ЕБК та актуаторами [5], [6].

Датчики ЕСКД формують інформаційну основу керування двигуном. Вони перетворюють механічні, теплові, хімічні та інші параметри процесу роботи двигуна в електричні сигнали, які надходять до ЕБК для подальшої обробки [5], [6], [8]. До переліку основних датчиків, що використовуються в системі керування бензиновим двигуном, належать: датчик положення колінчастого вала, датчик положення розподільного вала (датчик фаз), датчик положення дросельної заслінки, датчик масової витрати повітря (або датчик абсолютного тиску), датчик температури охолоджувальної рідини, датчик концентрації кисню (λ -зонд), датчик детонації та ін. [5], [6].

Датчик положення колінчастого вала (ДПКВ) належить до базових елементів системи, оскільки саме його сигнал використовується для визначення частоти обертання та кутового положення колінчастого вала. На основі цього сигналу ЕБК синхронізує процеси впорскування палива та запалювання [5]. У практиці діагностування цей датчик має особливе значення, адже його відмова або спотворення сигналу призводять до критичних порушень роботи двигуна — аж до неможливості запуску [5], [6].

Датчик положення дросельної заслінки (ДПДЗ) забезпечує передачу до ЕБК інформації про поточний кут відкриття дросельної заслінки та динаміку натискання педалі акселератора. Це дає можливість коригувати подачу палива, керувати режимами холостого ходу та реалізовувати перехідні режими роботи

двигуна [5]. Для діагностичної практики важливо, що зміна сигналу ДПДЗ повинна бути плавною; стрибкоподібність сигналу, а також відхилення від типових значень напруги/відсотка відкриття є характерною ознакою несправності датчика або його кола [5].

Датчик концентрації кисню (λ -зонд) виконує функцію зворотного зв'язку за складом паливоповітряної суміші. Його сигнали використовуються ЕБК для підтримання складу суміші, близького до стехіометричного співвідношення (приблизно 14,7:1), що є необхідним для ефективної роботи трикомпонентного каталізатора та зменшення токсичності відпрацьованих газів [5]. Наявність одного або двох датчиків кисню (до і після каталізатора) також формує основу сучасних діагностичних процедур перевірки ефективності системи нейтралізації [5], [7].

Датчик температури охолоджувальної рідини забезпечує коригування основних параметрів роботи двигуна залежно від його теплового стану. За даними цього датчика ЕБК змінює частоту обертання холостого ходу, склад паливоповітряної суміші та кут випередження запалювання [5]. Практична значущість цього елемента в умовах СТО полягає в тому, що його некоректна робота часто призводить до «маскування» інших несправностей (перезбагачення суміші, нестійка робота на холодному двигуні, підвищена витрата палива) [5].

Датчик детонації використовується для виявлення детонаційних процесів у циліндрах і передавання відповідної інформації до ЕБК з метою оперативної корекції кута випередження запалювання [5]. Конструктивно чутливим елементом датчика є п'єзoeлемент, який перетворює механічні вібрації блока циліндрів на електричний сигнал [5]. Діагностичне значення датчика детонації полягає в тому, що навіть за відсутності явних скарг клієнта його несправність може проявлятися погіршенням динаміки, підвищеною витратою палива та ризиком теплового перевантаження двигуна [5].

Виконавчі механізми (актуатори) є елементами, через які ЕБК реалізує керуючі впливи на робочий процес двигуна. До основних актуаторів у складі

ЕСКД належать паливні форсунки, котушки запалювання, регулятор холостого ходу (у відповідних системах), електромагнітні клапани та реле керування [5], [8]. З позицій системного підходу актуаторна ланка є завершальною частиною контуру керування: саме тут інформаційні сигнали ЕБК перетворюються у фізичну дію — зміну подачі палива, повітря або параметрів запалювання [6], [8].

Паливна форсунка (інжектор) є одним із ключових виконавчих елементів системи впорскування. Її відкриття відбувається за командою блоку керування, а дозування палива визначається тривалістю керуючого імпульсу [5]. У структурі ЕСКД форсунки працюють у тісному зв'язку з датчиками повітря, положення дросельної заслінки, температури та кисню, що забезпечує реалізацію замкнутого контуру керування складом суміші [5], [8]. У контексті діагностування це означає, що оцінювати форсунки ізолювано (лише як механічні елементи) недостатньо — необхідний комплексний аналіз керуючого сигналу, електричного кола та реакції двигуна [5].

Регулятор холостого ходу (для систем, де він застосовується окремо від електронної дросельної заслінки) забезпечує обхідну подачу повітря повз закриту дросельну заслінку. ЕБК використовує його для стабілізації частоти обертання на холостому ході, особливо на етапах пуску, прогрівання та при зміні навантаження (увімкнення споживачів електроенергії тощо) [5]. Несправності цього елемента часто проявляються нестійкою роботою двигуна на холостому ході та потребують диференційованої діагностики разом із ДПДЗ, датчиком температури охолоджувальної рідини та системою підсмоктування повітря [5].

Котушки запалювання та комутаційні елементи формують виконавчу частину підсистеми запалювання. На сучасних двигунах ЕБК, отримуючи сигнали від ДПКВ, датчика фаз, датчика детонації та інших джерел, обчислює оптимальний момент запалювання й керує первинним колом котушки(ок) запалювання [5]. Це робить систему запалювання повністю інтегрованою в

загальну ЕСКД, а діагностику — міжсистемною (датчики + ЕБК + виконавчі елементи + електричні кола) [5], [8].

Окрему групу елементів системи становлять засоби діагностичного доступу та самоконтролю, які забезпечують взаємодію ЕСКД із зовнішнім діагностичним обладнанням. У нормативній та технічній документації використовується термінологія OBD/EOBD; зокрема, в українських нормативних документах OBD визначається як система самодіагностування КТЗ, а EOBD — як стандарти OBD для європейського ринку [7]. Стандартизований діагностичний роз'єм і вимоги до доступу до OBD-даних регламентуються міжнародними стандартами серії ISO 15031 [9].

Практично це означає, що діагностичний сканер на СТО є не «зовнішнім» елементом у вузькому розумінні, а частиною технологічного контуру взаємодії з ЕСКД через стандартизований інтерфейс. Ефективність діагностики значною мірою залежить від коректного зчитування кодів несправностей, поточних параметрів (live data), а також від правильної інтерпретації зв'язків між показами датчиків і роботою виконавчих механізмів [5], [9], [10].

Отже, основні елементи системи керування двигуном автомобіля доцільно розглядати як єдиний функціональний комплекс, у межах якого:

- датчики формують первинну інформацію про стан двигуна та умови його роботи;
- ЕБК виконує логічну, розрахункову та керуючу функції;
- виконавчі механізми реалізують регулюючі впливи на процеси впорскування, запалювання та повітроподачі;
- діагностичний інтерфейс забезпечує контроль, самодіагностику та сервісний доступ в умовах СТО [5]–[10].

Саме такий підхід є доцільним для подальшого аналізу типових несправностей і розроблення удосконаленої технології діагностування в умовах СТО, оскільки дозволяє перейти від перевірки окремих елементів до діагностування функціональних взаємозв'язків у системі.

1.3 Типові несправності електронних систем керування двигуном та їх діагностичні ознаки

Електронна система керування двигуном є багатокomпонентною системою, тому її несправності мають комбінований характер і часто проявляються не лише відмовою окремого елемента, а порушенням взаємодії між датчиками, електронним блоком керування, виконавчими механізмами та електричними колами. У практиці СТО це зумовлює необхідність розглядати несправності ЕСКД не ізольовано, а як відхилення в роботі функціонального контуру керування двигуном.

Типові несправності ЕСКД доцільно класифікувати за такими групами:

1. несправності датчиків (спотворення або відсутність сигналу);
2. несправності виконавчих механізмів (порушення відпрацювання команд ЕБК);
3. несправності електричних кіл і з'єднань (обриви, короткі замикання, підвищений перехідний опір, нестабільне живлення);
4. несправності електронного блока керування (помилки обробки сигналів, збої керування, програмні/апаратні відмови);
5. несправності діагностичної взаємодії (помилки зчитування, некоректна інтерпретація DTC та параметрів live data).

Діагностичні ознаки таких несправностей зазвичай проявляються у вигляді: утрудненого запуску двигуна або його незапуску, нестійкої роботи на холостому ході, провалів при розгоні, зниження потужності, підвищеної витрати палива, збільшення токсичності відпрацьованих газів, появи індикатора «Check Engine», а також збереження кодів несправностей у пам'яті ЕБК. Водночас важливо враховувати, що один і той самий зовнішній симптом може бути наслідком різних причин (наприклад, нестійкий холостий хід може бути спричинений несправністю датчика, підсмоктуванням повітря, збоями у форсунках або порушенням електричного контакту), що потребує послідовної диференційованої діагностики.

Для умов СТО найбільш характерною проблемою є ситуація, коли код несправності вказує не на причину, а на наслідок порушення роботи системи. Саме тому достовірне діагностування повинно базуватися не лише на зчитуванні DTC, а й на аналізі поточних параметрів, перевірці електричних кіл, оцінці сигналів датчиків і контролі роботи виконавчих механізмів. Такий підхід є методичною основою для підвищення точності діагностування та зменшення кількості повторних звернень клієнтів.

1.4 Класифікація типових несправностей електронних систем керування двигуном

Для систематизації діагностичних робіт у межах виконання завдань даної кваліфікаційної роботи типові несправності електронних систем керування двигуном доцільно класифікувати за функціонально-структурною ознакою та характером порушення процесу керування. Такий підхід дає змогу перейти від опису окремих відмов елементів до аналізу ланцюга «вимірювання → обробка → керування → результат», що є більш корисним для практики СТО. Додатково класифікацію доцільно доповнити ознаками електричної природи відмов (обрив, коротке замикання, підвищений перехідний опір, нестабільне живлення) та ступенем прояву (постійні/періодичні; “жорсткі”/“плаваючі” дефекти). Використання такої багатокритеріальної класифікації забезпечує уніфікацію подальших таблиць, дозволяє прив’язати симптоми до найбільш імовірних причин і формувати раціональну послідовність перевірок під час діагностування.

Основні несправності електронних систем керування двигуном, їх ознаки та можливі причини наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні несправності електронних систем керування двигуном, їх ознаки та можливі причини

№	Група, елемент ЕСКД	Ознаки (прояви в роботі двигуна)	Можливі причини (найімовірніші)	Типова несправність
1	Датчик положення колінвалу	Двигун не запускається або глухне; відсутні оберти на сканері	Обрив/КЗ проводки; забруднення/пошкодження датчика; неправильний зазор; пошкодження зубчастого вінця (мітки)	Відсутність/спотворення сигналу
2	Датчик положення розподільчого валу	Довгий запуск; нестійка робота; помилки синхронізації	Обрив/КЗ; зсув фаз ГРМ; пошкодження датчика/мітки; проблеми живлення/мас	Втрата синхронізації фаз
3	Датчик масової витрати повітря	Втрата тяги; підвищена витрата палива; ривки; нестійкий ХХ	Забруднення чутливого елемента; підсмоктування повітря після датчика; порушення живлення; невідповідний повітряний фільтр	Завищені/занижені покази
4	Датчик абсолютного тиску у впускному колекторі	Провали при розгоні; “тупий” розгін; нестабільний ХХ	Підсмоктування повітря; тріщини вакуумних шлангів; забруднення каналу датчика; обрив/КЗ	Некоректний тиск у впуску
5	Датчик положення дросельної заслінки	Ривки при натисканні педалі; обмеження потужності (“limp mode”); нестабільний ХХ	Знос доріжок потенціометра; проблеми роз’єму; порушення адаптації дроселя; пошкодження проводки	Стрибки сигналу / невідповідність каналів
6	Датчик температури охолоджуючої рідини двигуна	Збагачення/збіднення суміші; високі оберти на холодну; поганий запуск	Обрив/КЗ; корозія контактів; невірні опори датчика; проблеми “мас”	Невірна температура охолоджуючої рідини
7	Датчик температури повітря на впуску	Погіршення прийомистості; підвищена витрата	Забруднення; обрив/КЗ; помилки контакту; неправильне розташування/тепловий вплив	Невірна температура повітря
8	Датчик кисню (λ)	Підвищена витрата; нестабільні корекції; збільшення токсичності	Старіння датчика; підсмоктування повітря у вихлопі; негерметичність випуску; проблеми підігрівача	Повільна реакція / зсув сигналу

№	Група, елемент ЕСКД	Ознаки (прояви в роботі двигуна)	Можливі причини (найімовірніші)	Типова несправність
9	Датчик детонації	Зниження потужності (пізні запалювання); підвищена витрата; ризик детонації	Неправильний момент затяжки; механічні шуми; обрив/КЗ; пошкодження датчика	Відсутність/ помилкова детекція
10	Паливні форсунки	Троїння; вібрації; пропуски запалювання; запах палива	Забруднення; підклинювання; зношення; поганий контакт; несправність драйвера керування	Електрична/механічна відмова, підтікання
11	Котушки/свічки (для бензин.)	Троїння під навантаженням; “Check Engine”; ривки	Зношення свічок; пробій котушки; волога; поганий контакт маси; підвищений зазор	Пробій ізоляції / пропуски
12	Дросельний вузол (ETC)	Нестабільний ХХ; обмеження потужності; затримка реакції на педаль	Нагар; знос редуктора/двигуна; збій адаптації; проблеми напруги живлення	Заклинювання/ забруднення, збій привода
13	IAC (якщо є)	“Плавання” обертів; глухне при скиданні газу	Забруднення; підсмоктування повітря; порушення живлення/мас; механічне зношення	Заклинювання регулятора ХХ
14	EGR	Втрата тяги; детонація; димність; нестабільний ХХ	Нагар; несправність привода/вакууму; обрив/КЗ; неправильне керування	Заклинювання у відкритому/закритому стані
15	EVAP (адсорбер/клапан продувки)	Нестійкий ХХ; запах палива; проблеми запуску після заправки	Заклинювання клапана; негерметичність шлангів; проблеми вентиляції бака	Заклинювання клапана продувки
16	Паливний насос/тиск	Поганий запуск; провали під навантаженням; збіднення	Зношений насос; забитий фільтр; регулятор тиску; падіння напруги живлення	Низький тиск палива (в контексті керування)
17	Проводка/роз’єми	Періодичні збої (“плаваюча” несправність); випадкові DTC	Корозія; волога; перелом проводу; слабка фіксація контактів; пошкодження джгута	Перехідний опір, окиснення контактів
18	Живлення/маса	Нестабільні дані датчиків; помилки різних систем; збої ЕБК	АКБ/генератор; погані масові точки; запобіжники/реле; падіння напруги на колі	Просідання напруги, поганий “мінус”

№	Група, елемент ЕСКД	Ознаки (прояви в роботі двигуна)	Можливі причини (найімовірніші)	Типова несправність
19	CAN / обмін даними	Неповні дані на сканері; періодичні відмови систем	Пошкодження CAN-ліній; неправильні підключення; проблеми “мас”; сторонні пристрої	Помилки комунікації
20	ЕБК (ECU)	Повторювані відмови актуаторів; “дивні” корекції; не стираються помилки	Перенапруга; волога; перегрів; пошкодження вихідних каскадів; некоректне ПЗ/прошивка	Програмно-апаратний збій/драйвер виходу

Наведена таблиця відображає, що типові відмови електронних систем керування двигуном мають переважно системний характер і проявляються через порушення інформаційного обміну між датчиками, електронним блоком керування та виконавчими механізмами. Найпоширеніші ознаки – утруднений запуск, нестійкий холостий хід, провали при розгоні, зниження потужності та підвищена витрата палива – можуть бути спричинені як відмовою конкретного елемента (датчика/актуатора), так і дефектами електричних кіл (обриви, короткі замикання, підвищений перехідний опір, нестабільне живлення). Важливо, що один і той самий симптом часто відповідає кільком можливим причинам, тому на СТО доцільно застосовувати поетапну диференційовану діагностику з аналізом кодів несправностей, поточних параметрів та перевіркою електричних ланцюгів, що слугуватиме підґрунтям для побудови удосконаленого алгоритму діагностування

1.5 Сучасні методи, засоби та програмне забезпечення діагностування в умовах СТО

Діагностування електронних систем керування двигуном в умовах СТО базується на поєднанні інформаційних (зчитування/аналіз даних ЕБК) та інструментальних (вимірювання електричних і фізичних параметрів) методів, що дає змогу перейти від фіксації симптомів до встановлення причинно-

наслідкових зв'язків у контурі «датчики – ЕБК – виконавчі механізми – результат» [11], [12]. Практика комп'ютерної діагностики показує, що найбільшу ефективність забезпечує поетапний підхід, коли результати кожного кроку (коди несправностей, поточні параметри, тестові впливи) уточнюють напрям подальших перевірок і зменшують ризик помилкової заміни справних компонентів [11], [13].

У сучасній сервісній практиці базовим методом є сканерна (OBD/EOBD) діагностика, що передбачає підключення зовнішнього тестового обладнання до стандартизованого діагностичного роз'єма та обмін даними з ЕБК. Стандарти серії ISO 15031 визначають загальні принципи взаємодії «автомобіль – зовнішнє обладнання» для екологічно-орієнтованої діагностики, включно з вимогами до діагностичного з'єднувача [14]. Передавання діагностичних повідомлень через CAN для систем, пов'язаних із контролем викидів, регламентується ISO 15765-4 [15], а набір базових діагностичних режимів/служб (зокрема зчитування DTC і поточних параметрів) узгоджується зі стандартами SAE (зокрема SAE J1979) [16]. Такі нормативні положення важливі для СТО, оскільки забезпечують технологічну сумісність сканерів із широким спектром автомобілів різних виробників [14]–[16].

Сканерна діагностика в типових випадках включає: зчитування кодів несправностей (DTC), аналіз умов їх фіксації (у т.ч. freeze frame – фіксація параметрів двигуна в момент появи несправностей), перегляд поточних параметрів (live data – «живі», реальні дані), оцінювання стану контрольних функцій (готовність моніторів), а також перевірку частини виконавчих елементів через активаційні тести (за наявності двобічного керування) [11], [13]. Водночас у навчальній літературі підкреслюється, що DTC не завжди прямо вказують на першопричину дефекту, а часто відображають наслідок порушення роботи системи; тому сканерні дані необхідно підтверджувати інструментальними вимірюваннями [12], [13].

До інструментальних методів, які є стандартом для сучасної СТО, належать:

- електричні вимірювання мультиметром (контроль живлення/«маси», опорів, падіння напруги, цілісності ланцюгів, перевірка датчиків за опорними значеннями) [11], [12];
- осцилографічний контроль сигналів (форма та стабільність сигналів ДПКВ/ДПРВ, керувальні імпульси форсунок і катушок, оцінювання перешкод, пропусків і нестабільних контактів) як ключовий метод пошуку «плаваючих» дефектів [11], [12];
- перевірка герметичності впуску/випуску, вакуумні та димові тести (виявлення підсмоктування повітря як частого джерела збіднення суміші та нестійкого холостого ходу) [11], [12];
- контроль тиску палива та роботи паливної апаратури (виключення дефектів, що маскуються під «електронні» відмови) [12].



Рисунок 1.3 – Інструментальні методи діагностування електронних систем автомобілів

Таким чином, у сучасних умовах СТО діагностування ЕСКД повинно поєднувати стандартизовані OBD-процедури з вимірюваннями електричних та фізичних параметрів, що забезпечує вищу достовірність висновків і зменшує кількість повторних звернень [11], [12].

Технічне забезпечення діагностики ЕСКД зазвичай включає: мультиметр, осцилограф (автомобільний або універсальний), сканер/діагностичний інтерфейс, допоміжні вимірювальні пристрої (манометри, вакуумметри), а також пристрої для пошуку негерметичностей (димогенератор). У навчальних матеріалах з комп'ютерного діагностування окремо акцентується, що для виконавчих елементів (форсунки, регулятори, клапани) доцільно застосовувати комбінацію: «сканер → тест впливу → підтвердження сигналом/вимірюванням», оскільки лише один метод не забезпечує достатньої надійності діагностичного рішення [11], [12].

Окремий сучасний напрям – використання апаратних інтерфейс-перехідників (Pass-Thru-пристроїв) і стандартизованого програмування/параметрування блоків керування через діагностичний інтерфейс. Стандарти SAE J2534 описують уніфікований інтерфейс між ПК та автомобілем для задач програмування/перепрограмування (передусім екологічно значущих модулів), що актуально для СТО при роботі з оновленням ПЗ, заміною ЕБК та адаптаційними процедурами [17].

Сучасне діагностування електронних систем керування двигуном на СТО фактично неможлива без програмного забезпечення, яке виконує дві функції: комунікаційно-діагностичну (зчитування/керування/тести) та інформаційно-довідкову (схеми, параметри, типові рішення, покрокові інструкції). До першої групи належать програми, що працюють із діагностичними інтерфейсами/сканерами та забезпечують доступ до кодів несправностей, реальних (поточних) даних і сервісних функцій відповідно до стандартів OBD [14]–[16]. До другої групи належать багатомарочні платформи та бази даних, що підтримують інженера-діагноста під час пошуку несправності.

Наприклад, Bosch позиціонує ESI-tronic як програмний комплекс для професійного діагностування та ремонту з доступом до функцій електродіагностики й сервісної інформації [18]. У свою чергу, Autodata описує власні рішення як програмне забезпечення для діагностики й ремонту з підтримкою DTC, покрокових підказок, електросхем і даних по виводах модулів керування, що безпосередньо підвищує ефективність електротехнічних робіт на СТО [19]. Такі програмні продукти важливі, оскільки вони зменшують залежність результату від суб'єктивного досвіду майстра та підвищують повторюваність діагностичних процедур.

Отже, сучасні методи діагностування ЕСКД в умовах СТО ґрунтуються на стандартизованих OBD-процедурах, підтверджених інструментальними вимірюваннями, а також на використанні багатомарочного програмного забезпечення й баз даних, що забезпечують технологічну дисципліну діагностики та скорочення часу пошуку несправностей [11]–[19].

Висновки до розділу

Установлено, що електронна система керування двигуном (ЕСКД) є ієрархічною системою, яка забезпечує оптимальні режими роботи двигуна за рахунок замкненого контуру керування з використанням датчиків, електронного блока керування та виконавчих механізмів; окреме значення для умов СТО має діагностична підсистема (OBD), що формує інформаційну основу для пошуку причин відхилень.

Показано, що функціональна роль ЕБК полягає в обробці сигналів датчиків і формуванні керуючих команд для виконавчих механізмів, а тому практичні діагностичні процедури на СТО здебільшого зводяться до перевірки коректності інформаційного обміну «датчики → ЕБК → виконавчі механізми» та стану електричних кіл.

Визначено, що типові несправності ЕСКД мають переважно системний характер і можуть бути пов'язані як із відмовами датчиків/виконавчих

механізмів, так і з дефектами проводки, роз'ємів, живлення та комунікацій; при цьому одна й та сама ознака часто відповідає кільком можливим причинам, що зумовлює необхідність поетапної диференційованої діагностики.

Обґрунтовано доцільність класифікації типових відмов ЕСКД за функціонально-структурною ознакою та характером порушення процесу керування, що дозволяє пов'язати симптоми з найбільш імовірними причинами і сформувати раціональну послідовність перевірок під час діагностування.

Установлено, що сучасна технологія діагностування в умовах СТО має ґрунтуватися на поєднанні стандартизованих OBD-процедур зі зчитуванням DTC та аналізом поточних параметрів із обов'язковим підтвердженням результатів інструментальними методами.

Показано, що підвищення достовірності діагностичних висновків досягається застосуванням комбінованої методики «сканер → тест впливу → підтвердження сигналом/вимірюванням», а також раціональним добром обладнання, що зменшує ризик помилкової заміни справних компонентів і повторних звернень.

Визначено, що використання спеціалізованого програмного забезпечення та інформаційних баз (електросхеми, покрокові підказки, дані по виводах модулів тощо) підвищує повторюваність і технологічну дисципліну діагностичних процедур, скорочує час пошуку несправностей та створює основу для подальшого удосконалення алгоритму діагностування у наступних розділах роботи.

2 АНАЛІЗ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ НА СТО

2.1 Загальна характеристика станції технічного обслуговування

Станція технічного обслуговування (СТО) як об'єкт дослідження у даній роботі розглядається в сегменті незалежного автосервісу (не фірмового та не дилерського, оскільки вони працюють за технологіями виробників). Незалежні СТО функціонують на конкурентному ринку та самостійно формують технології виконання робіт, склад обладнання, підготовку персоналу й організацію діагностичних процесів. При цьому СТО є багатофункціональним підприємством, яке доцільно класифікувати за призначенням (ступенем спеціалізації), місцезнаходженням та виробничою потужністю (числом виробничих постів і дільниць) (рис. 2.1).

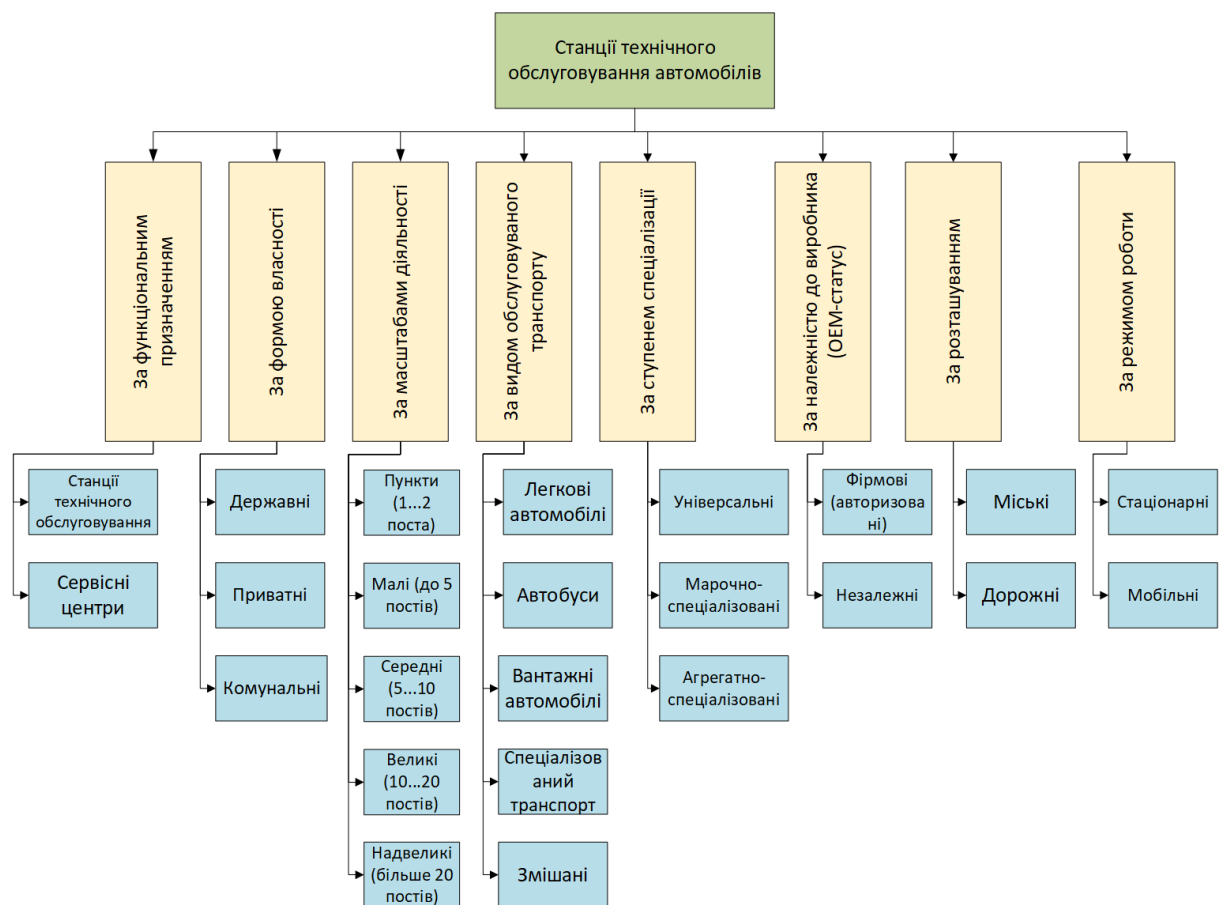


Рисунок 2.1 – Класифікація станцій технічного обслуговування автомобілів [20]

Виробнича потужність незалежних СТО найчастіше оцінюється через кількість робочих постів і відповідну чисельність персоналу. Так, у навчальній літературі [20] наведено, що до середніх СТО відносять підприємства автосервісу з 3–9 постами та 5–20 працівниками, де зазвичай виконують мийні роботи, експрес-діагностику, технічне обслуговування, шиномонтаж, електротехнічні/електронні роботи, дрібні кузовні та зварювальні операції тощо. Великі СТО (орієнтовно 10–19 постів) поряд із базовими роботами здатні виконувати повну діагностику технічного стану автомобіля та його агрегатів, а також розширені ремонтні операції.

Крупні СТО з 20–35 постами мають можливість виконувати широкий спектр робіт у повному обсязі та, як правило, формують спеціалізовані дільниці; для діагностики й ТО можуть застосовуватися лінії інструментального контролю.

Діагностування у виробничому процесі СТО виконує функцію швидкої та об'єктивної оцінки технічного стану без розбирання й забезпечує раціональну організацію технології ТО і поточного ремонту; при цьому в навчальних матеріалах виділяють загальну, поелементну та заключну діагностику. У незалежному автосервісі зазначені підходи реалізуються по-різному залежно від масштабу підприємства (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Особливості організації діагностування на незалежних СТО різної потужності (за даними [21], [22])

Тип незалежної СТО	Типова виробнича структура / формат роботи	Організація діагностування	Переваги для діагностування
Мала (1–2 пости)	Один/два універсальні пости, часто без чіткого поділу на дільниці; основний акцент на “швидких” роботах	Діагностика переважно інтегрована в ремонт: коротке зчитування DTC, базова перевірка живлення/контактів; складні випадки – епізодично	Висока оперативність, мінімальні внутрішні узгодження; гнучкість у прийнятті рішень

Тип незалежної СТО	Типова виробнича структура / формат роботи	Організація діагностування	Переваги для діагностування
Середня (3–9 постів)	Наявність кількох постів і ширшого набору робіт; характерні роботи включають експрес-діагностику, ТО, електротехнічні та інші послуги	Часто вводиться роль “майстра-діагнosta”, але діагностика може виконуватися на універсальному посту; застосовується сканер + базова інструментальна перевірка	Можливість розподілу функцій (приймання/діагностування/ремонт), накопичення статистики типових звернень; вища повторюваність результатів, ніж на малих СТО
Велика (10–19 постів)	Формуються спеціалізовані зони/дільниці; є можливість виконувати повне діагностування (у т.ч. агрегатів)	Діагностика частіше виділена в окремий пост/дільницю, з формалізованим маршрутом «діагностика → ремонт → контроль»; ширший набір обладнання	Вища оснащеність (професійні сканери/осцилографи), можливість стандартизувати чек-листи й «карти діагностування», контроль якості діагнозу
Надвелика (20–35 постів)	Широкий спектр робіт, спеціалізовані дільниці; можливе застосування ліній інструментального контролю	Діагностика максимально формалізована: окремі діагностичні потоки, регламенти, розподіл по спеціалізаціях (електрика/двигун/паливна); практикується контрольний заїзд і заключний контроль	Найкращі умови для відтворюваності: стандартизація процедур, спеціалізація персоналу, можливість внутрішнього навчання та контролю якості
Незалежна мережева СТО (не дилерська)	СТО, що працює в партнерській мережі; наявність сучасного діагностичного обладнання та можливість повного діагностування	Діагностування часто виконується за уніфікованими процедурами мережі, із доступом до навчання та сервісної інформації; підхід «процедура + інструментальне підтвердження»	Підвищена стандартизація, доступ до навчання/підтримки, краща дисципліна виконання процедур; зниження частки випадкових рішень

Таким чином, незалежні СТО різної потужності відрізняються насамперед можливостями виділення діагностування як окремої функції, рівнем оснащеності та ступенем стандартизації процесів.

2.2 Організація діагностичних робіт на СТО

Організація діагностичних робіт на незалежних СТО формується як частина виробничого процесу ТО і ремонту та має забезпечувати об'єктивне встановлення технічного стану вузлів/систем із мінімальними витратами часу та ресурсів. У методичних матеріалах з організації автосервісу підкреслюється, що контроль технічного стану (зокрема діагностика) повинен виконуватися на етапах приймання, виконання робіт і заключного контролю, оскільки це прямо впливає на якість послуги та повторюваність результату. [24].

Для незалежних СТО м. Луцьк, які фактично конкурують у сегменті «універсальний сервіс/швидкий сервіс», характерним є те, що окремий діагностичний пост (робоче місце) у більшості випадків відсутній. Реально діагностування виконується на універсальному ремонтному посту або в зоні швидкого сервісу як вбудована операція в ремонтний цикл. Так працюють, зокрема, «швидкі» формати обслуговування на кшталт станцій заміни мастил, які декларують комп'ютерну діагностику як послугу, але, як правило, не мають окремого діагностичного поста (типовий сценарій — сканер/інтерфейс підключають безпосередньо на тому самому місці, де виконується обслуговування). Аналогічно універсальні незалежні сервіси (наприклад, PRV-сервіс) заявляють діагностику/роботи автоелектрика, кодування/програмування, однак у практичній організації найчастіше застосовують модель «діагностування у складі ремонту» без виділеної ділянки.

Винятком є СТО з більш розвиненою інфраструктурою, де діагностика оформлена як окрема послуга і підтримується окремими ресурсами (персонал/обладнання/ПЗ). У Луцьку такий формат характерний для великих сервісних центрів, де діагностика позиціонується як структурована процедура із застосуванням спеціалізованого ПЗ та підключенням через діагностичні порти автомобіля (сканери, тестери тощо).

Для СТО без виділеного діагностичного поста організація процесу зазвичай має такий вигляд [21], [22], [24]:

1. Приймання та уточнення скарги клієнта (коли проявляється симптом, за яких умов, після яких робіт/заправки/ремонту).

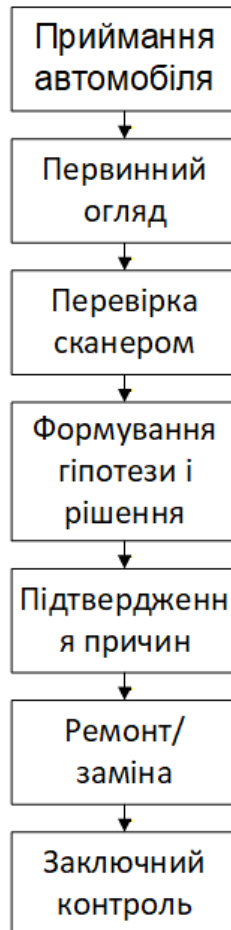


Рисунок 2.2 – Типовий процес організації діагностичних робіт на незалежній СТО

2. Первинний огляд (видимі дефекти, роз'єми, стан АКБ/живлення, підтікання, підсмоктування повітря, сліди втручання).
3. Сканерна перевірка (OBD): зчитування кодів несправностей, «заморожених» даних, базових реальних даних.
4. Швидке формування гіпотези і рішення «ремонт одразу / потрібні додаткові вимірювання / потрібен дорожній тест».

5. Підтвердження причин (на практиці часто обмежене: перевірка контактів; осцилограф і поглиблені тести застосовуються нерегулярно через дефіцит часу та завантаженість поста).
6. Ремонт/заміна (часто за принципом «найімовірнішої причини» або підбором) і повторна перевірка сканером.
7. Заключний контроль (не завжди формалізований: може зводитися до стирання помилок і короткої перевірки параметрів, без повного циклу контрольних режимів).

Методичні джерела з діагностування [21], [22], [24] наголошують, що DTC не є готовим діагнозом, а лише вказівкою на ділянку, де зафіксовано відхилення; правильний висновок потребує підтвердження електричними вимірюваннями/аналізом сигналів та перевіркою причинно-наслідкових зв'язків. У реальних умовах незалежних СТО саме цей етап (підтвердження) найчастіше є «вузьким місцем» через обмеження часу та відсутність окремого діагностичного поста.

Відсутність окремого діагностичного поста на незалежних СТО (що є типовим для сервісів середньої та малої потужності у м. Луцьк) формує специфічну організаційну модель, за якої діагностування ЕСКД виконується безпосередньо на універсальному ремонтному місці або в межах “швидкого сервісу”. Такий підхід має низку організаційних переваг: забезпечується висока оперативність обслуговування у випадках простих, типових несправностей, зменшуються внутрішні переміщення автомобіля та пов'язана з ними “логістика” на території СТО, а також знижується собівартість організації процесу, оскільки немає потреби у виділенні окремого робочого місця та постійному резервуванні часу під діагностичні операції.

Водночас, з позицій забезпечення якості діагностування та повторюваності результатів, така організація має характерні недоліки і ризики. Передусім виникає конфлікт ресурсу поста, коли діагностування конкурує з ремонтними роботами за підйомник, робочу площу та час, що об'єктивно зменшує глибину перевірок і стимулює скорочення діагностичного циклу. У

результаті зростає ймовірність так званого «діагностування за кодом» – ситуації, коли рішення приймається переважно на підставі зчитування DTC без належного вимірювального підтвердження причин несправності, що підвищує ризик повторних звернень клієнтів. Додатково проблема посилюється високою залежністю результату від кваліфікації конкретного майстра та відсутністю уніфікованих чек-листів або карт діагностики. Найскладнішими для такої моделі є «плаваючі» дефекти (нестабільні контакти, просідання напруги, періодичні збої сигналів датчиків), які потребують застосування осцилографа, тестів падіння напруги, контрольних поїздок та фіксації умов появи відхилення. Окремим ризиком залишається недостатня формалізація заключного контролю, коли після ремонту не виконується повний контроль режимів та моніторингів, що є критичним для систем, які впливають на стабільність роботи двигуна і токсичність відпрацьованих газів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Наслідки відсутності окремого діагностичного поста на незалежній СТО [21], [22], [24]

Аспект	Позитивні наслідки	Негативні наслідки / ризики
Організація процесу	Оперативність при типових випадках; мінімальні переміщення автомобіля	Конфлікт ресурсу поста (час/місце/підйомник), скорочення глибини перевірок
Якість діагностування	Швидке первинне рішення у простих ситуаціях	«Діагностування за кодом» без вимірювального підтвердження → ризик повторних звернень
Персонал і стандарти	Гнучкість виконання робіт	Залежність від компетентності майстра; відсутність єдиних чек-листів/карт діагностування
Складні та періодичні дефекти	–	Складність діагностування «плаваючих» несправностей; потреба осцилографа, тестів падіння напруги, контрольних поїздок
Контроль якості після ремонту	–	Недостатній заключний контроль режимів/моніторингів, що впливає на стабільність та екологічні показники

Аспект	Позитивні наслідки	Негативні наслідки / ризики
Економіка	Нижча собівартість (немає окремого поста/ резервування часу)	Непрямі втрати через повторні звернення, «зайві» заміни вузлів, зростання тривалості пошуку причин

Отже, для незалежних СТО м. Луцьк (Дукат Ойл, Логос Авто, PRV-сервіс тощо) найбільш типовою є організаційна модель без виділеного діагностичного поста, де діагностування виконується «в потоці» на універсальному місці. Це забезпечує швидкість обслуговування, але створює методичні ризики для достовірності діагнозу. Для СТО з розвиненішою структурою (як приклад – великі сервісні центри, що декларують окреме діагностування із спеціалізованим ПЗ) можливе формування більш формалізованого діагностичного процесу, однак у межах цієї роботи акцент робиться саме на незалежному сегменті та шляхах підвищення якості діагностування в умовах обмежених організаційних ресурсів.

2.3 Аналіз типових помилок і недоліків у процесі діагностування

Для незалежних СТО характерні помилки, що мають методичну, організаційну та техніко-інструментальну природу (рис. 2.3, табл. 2.3). У навчальних і методичних джерелах з діагностики підкреслюється, що дані самодіагностики (DTC, потік параметрів) є лише інформаційною підказкою і потребують обов’язкової перевірки шляхом вимірювання відповідних фізичних величин та контролю реакції системи [25], [26]. Додатково зазначається, що сучасні сканери дозволяють не лише читати коди несправностей, а й аналізувати «потік даних» та виконувати тести виконавчих механізмів, що повинно застосовуватися як частина системного підходу до пошуку дефекту [26].

Методичні помилки (помилки підходу та інтерпретації). Найпоширенішою методичною помилкою є «діагностика за кодом»: прийняття рішення про заміну вузла лише на підставі DTC без підтвердження причини

несправності вимірюваннями (перевірка живлення/«мас», цілісності кола, аналіз сигналу датчика, тест актуатора). Такий підхід часто дає хибні результати, оскільки код фіксує факт відхилення параметра або виявлену аномалію в колі, але не завжди вказує на першопричину (наприклад, помилка датчика може бути наслідком підсмоктування повітря, проблеми з живленням або контактами) [13], [27].

Другою поширеною помилкою є неповний аналіз експлуатаційних даних, зокрема ігнорування «заморожених» даних, статусів моніторинрів/готовності та закономірностей зміни реальних даних у різних режимах. У результаті діагностування виконується «в одному режимі» (часто на холостому ході), тоді як причина проявляється під навантаженням або при прогріванні. Такий дефект підходу посилює ризик повторних звернень та продовжує діагностичний цикл [13], [27].

Третьою методичною проблемою є змішування симптомів ЕСКД і механічних/паливних причин. Методичні матеріали наголошують, що оцінка працездатності систем керування втрачає зміст без базової перевірки технічного стану двигуна і суміжних підсистем (тиск палива, якість суміші за λ /газоаналізом, герметичність впуску тощо) [27]. У реальній практиці незалежних СТО це проявляється як спроба «лікувати електронікою» симптоми, викликані механічним зношенням або порушенням подачі палива/повітря.

Організаційні недоліки (реальні обмеження процесу). За відсутності окремого діагностичного поста виникає конфлікт ресурсу універсального поста (підйомник/місце/час), що стимулює скорочення діагностики до мінімуму й зменшує частку підтверджувальних вимірювань. Це призводить до ситуацій, коли діагностичні операції не оформлюються як окремий етап технологічного процесу (відсутня діагностична карта, не фіксуються параметри «до/після»), а заключний контроль після ремонту виконується неповно [26], [27].

Також поширеним є нерівномірний рівень кваліфікації та відсутність стандартизованих чек-листів, що спричиняє різні результати при однакових скаргах клієнтів. В освітніх матеріалах з організації автосервісу підкреслюється значення контролю якості на етапах виконання і видачі автомобіля; у незалежному сегменті цей елемент часто формалізований недостатньо [26], [27].



Рисунок 2.3 – Типові помилки у процесі діагностування

Техніко-інструментальні помилки (помилки вимірювань і застосування обладнання). Окрема група недоліків пов'язана з використанням інструментів.

Типовими є:

- обмеження інструментарію сканером без застосування мультиметрії (перевірка падінь напруги, цілісності кола, якості «мас») та без осцилографування швидких сигналів (СКР/СМР, керування форсунками/катушками). Це критично для «плаваючих» дефектів контактів і періодичних збоїв, які можуть не фіксуватися стабільно у вигляді коду несправності [26], [27].
- неправильний вибір режиму вимірювань (наприклад, оцінювання сигналів датчиків лише статично, без аналізу форми/частоти, або без навантажувальних режимів).
- недостатнє використання функцій сканера, зокрема активних тестів виконавчих механізмів та аналізу «потоків даних», хоча методичні джерела прямо описують ці можливості як ключові для локалізації несправного елемента [27].

Таблиця 2.3 – Типові помилки діагностування на СТО

Типова помилка/недолік	Основна причина	Наслідок для СТО і клієнта	Профілактичний захід
«Діагностика за кодом» (DTC = причина)	Дефіцит часу, відсутність підтверджувальних вимірювань	Помилкова заміна вузлів, повторні звернення	Правило: DTC → гіпотеза → підтвердження вимірюваннями
Ігнорування freeze frame / режимів появи	Діагностика лише на XX, без відтворення умов	Невиявлені дефекти під навантаженням/при прогріві	Аналіз freeze frame, тест-режими, контрольні поїздки
Відсутність базових перевірок (живлення/«маси», герметичність, тиск)	Спроба «лікувати електронікою»	Втрата часу, хибні висновки	Стандарт: базові перевірки перед поглибленою діагностикою
Недостатня інструментальна перевірка	Немає осцилографа/немає навичок	Не виявляються «плаваючі» дефекти	Осцилографування СКР/СМР, тест падіння напруги

Типова помилка/недолік	Основна причина	Наслідок для СТО і клієнта	Профілактичний захід
Слабкий заключний контроль після ремонту	Немає регламенту/карт контролю	Скарга «не усунено», рекламації	Контроль параметрів «до/після», документування
Відсутність єдиних чек-листів	Різні підходи майстрів	Нестабільна якість послуги	Уніфікована карта діагностики, база типових рішень

Для незалежних СТО реального сегмента ключовими проблемами є домінування «кодової» діагностики без достатнього підтвердження вимірюваннями, дефіцит часу через конкуренцію за ресурс поста та слабка стандартизація процедур. Усунення цих недоліків доцільно реалізовувати через формалізацію алгоритму діагностування, впровадження чек-листів і карт діагностування та раціональне поєднання сканерних даних із інструментальною перевіркою (мультиметр/осцилограф),

2.4 Оцінювання ефективності чинної технології діагностування

Ефективність чинної технології діагностування електронних систем керування двигуном (ЕСКД) на незалежній СТО доцільно оцінювати за сукупністю часових, якісних і економіко-організаційних показників. У практичному аспекті ключовими є:

- тривалість діагностичного циклу (від моменту приймання авто до формування обґрунтованого висновку);
- достовірність діагностичного висновку (частка випадків, коли першопричину встановлено правильно з першої спроби);
- частка повторних звернень після виконання ремонтних робіт, пов'язаних з помилковим діагнозом або неповнотою перевірок;
- частка “зайвих” робіт/заміни справних елементів, що є непрямим індикатором помилок діагностування.

Для незалежних СТО м. Луцьк, де діагностика ЕСКД часто виконується на універсальному посту без виділеного діагностичного робочого місця, типовим є скорочений діагностичний цикл, у якому домінує сканерна перевірка (зчитування DTC) і швидке рішення «за найімовірнішою причиною». Це підвищує оперативність обслуговування, однак зменшує частку підтверджувальних процедур (мультиметрія, перевірка падіння напруги, осцилографування, тести герметичності), що може погіршувати достовірність діагнозу при «плаваючих» дефектах, комбінованих причинах та несправностях під навантаженням.

Для попередньої оцінки ефективності чинної технології в межах цієї роботи використано 15 умовно-статистичних випадків, які моделюють типові звернення клієнтів щодо роботи двигуна та ЕСКД (табл. 2.4). Кожний випадок описано через симптом, застосований спосіб перевірки та типову помилку майстра, що дозволяє виявити “вузькі місця” поточного підходу і, в подальшому, сформулювати обґрунтовані напрями удосконалення.

Таблиця 2.4 – Умовно-статистичний аналіз типових помилок діагностування ЕСКД

№	Симптом (звернення клієнта)	Використаний спосіб перевірки (як “є”)	Типові помилки майстра (наслідок)
1	Двигун не запускається, стартер крутить	Зчитування DTC (сканер)	Неперевірене живлення/«маса» ЕБК і ДПКВ; не виконано контроль сигналу СКР → заміна датчика “наосліп”
2	Поганий запуск “на гарячу”	DTC + короткий огляд	Ігнорування freeze frame/температурних умов; не перевірено тиск палива/падіння напруги на насосі → причина залишається
3	Нестабільний холостий хід	DTC, стирання помилок	Не перевірено підсмоктування повітря/герметичність; заміна ДПДЗ без підтвердження → повторне звернення

№	Симптом (звернення клієнта)	Використаний спосіб перевірки (як “є”)	Типові помилки майстра (наслідок)
4	Провали при розгоні	DTC + короткий тест на XX	Діагностика без навантаження; не аналізовано live data (MAF/MAP, корекції) → пропуск причини, що проявляється під навантаженням
5	Підвищена витрата палива	DTC (помилка λ)	Заміна λ-датчика без аналізу корекцій і підсмоктування/витоків у вихлопі → симптом не зникає
6	“Check Engine” після заправки	DTC (EVAP)	Не перевірено герметичність EVAP/кришку бака; стирання помилок замість тесту системи → повторна поява DTC
7	Троїння, пропуски запалювання	DTC P03xx	Підміна причини: заміна котушки без перевірки свічки/форсунки/компресії; не виконано тест “циліндр-баланс” (якщо доступний)
8	Ривки на малих обертах	Сканер + візуальний огляд	Не виконано перевірку “плаваючих” контактів/падінь напруги; відсутнє осцилографування СКР/СМР → дефект періодичний, не локалізований
9	Глухне на холостому після прогріву	DTC + чистка дроселя “за фактом”	Не виконано адаптацію дроселя/перевірку APP/TPS кореляції; лікування наслідку замість причини
10	Низька потужність, “limp mode”	DTC + стирання	Ігнорування причин переходу в аварійний режим; не перевірено напругу живлення/масові точки → помилки повертаються
11	Димність/запах пального (бензин)	Сканер + огляд	Не виконано перевірку форсунок на підтікання та сигналу керування; не аналізовано корекції → “плаваюче” збагачення
12	Плаваючі оберти XX при вмиканні споживачів	Лише сканер	Не перевірено стан АКБ/генератора і падіння напруги; не оцінено реакцію ЕБК → хибна підозра на ІАС/дросель
13	Періодичне загоряння “Check Engine” без явних симптомів	Сканер (DTC “intermittent”)	Стирання DTC без фіксації freeze frame і умов появи; відсутнє документування → неможливо відтворити дефект

№	Симптом (звернення клієнта)	Використаний спосіб перевірки (як “є”)	Типові помилки майстра (наслідок)
14	Нерівномірна робота після ремонту/заміни датчика	Перевірка лише факту відсутності DTC	Відсутній заключний контроль параметрів “до/після”; не перевірено кореляції датчиків → приховані відхилення залишаються
15	Скарга на “погану динаміку”, без DTC	Сканер (помилка немає)	Помилковий висновок “норма”; не виконано аналіз live data під навантаженням/тест-проїзд → пропуск проблеми MAF/MAP, тиску палива, підсмоктування

За наведеними в таблиці 2.4 випадками найбільш типовими недоліками чинної технології є: переважання “кодової” діагностики без підтвердження вимірюваннями, недостатній аналіз даних, відсутність застосування перевірок під навантаженням і тест-проїздів, слабка увага до живлення/мас, перехідних опорів і “плаваючих” дефектів, недостатня формалізація заключного контролю та документування. У сукупності це знижує достовірність діагнозу та підвищує ризик повторних звернень, що визначає доцільність удосконалення алгоритму діагностування, стандартизації чек-листів і раціонального поєднання сканерних даних з інструментальними методами

Висновки до розділу

Встановлено, що об’єктом дослідження доцільно розглядати незалежний сегмент СТО, де технології діагностування формуються самою станцією, а можливості виділення діагностики як окремої функції залежать насамперед від

Показано, що для незалежних СТО м. Луцьк переважає модель без окремого діагностичного поста, коли діагностування ЕСКД виконується на універсальних постах; це забезпечує швидкість обслуговування, однак формує ризики для достовірності діагнозу.

Визначено типовий процес організації діагностичних робіт на СТО без виділеного поста: приймання та первинний огляд → OBD-перевірка →

формування гіпотези → обмежене підтвердження причин → ремонт/заміна → спрощений заключний контроль. При цьому найбільш проблемним є етап підтвердження причин, який у реальній практиці часто стає «вузьким місцем» через дефіцит часу та відсутність спеціалізованого робочого місця.

Виявлено, що типові помилки діагностування ЕСКД на незалежних СТО мають методичну, організаційну та техніко-інструментальну природу: домінування сканерної перевірки без вимірювального підтвердження, неповний аналіз «реальних даних», відсутність навантажувальних перевірок/дорожніх тестів, а також нерегулярне застосування мультиметрії та осцилографування.

На основі умовно-статистичного аналізу типових звернень сформовано висновки про доцільність переходу від «кодової» діагностики до алгоритмізованого підходу (DTC → гіпотеза → підтвердження вимірюваннями → контроль після ремонту) з уніфікованими чек-листами та обов'язковим документуванням параметрів «до/після».

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДВИГУНОМ В УМОВАХ СТО

3.1. Обґрунтування напрямів удосконалення технології діагностування

Результати аналізу організації та практики діагностування на незалежних СТО показали, що чинна технологія діагностики ЕСКД часто має скорочений характер і зводиться до зчитування DTC та виконання мінімальних перевірок на універсальному посту. За такої моделі діагностичний код нерідко сприймається як «готовий діагноз», хоча методичні джерела підкреслюють: DTC є лише індикатором відхилення, а достовірний висновок потребує підтвердження вимірюваннями, перевіркою електричних кіл і контролем причинно-наслідкових зв'язків у системі керування. Відсутність виділеного діагностичного поста додатково спричиняє конфлікт ресурсу (час/місце/підйомник), що обмежує застосування інструментальних методів (перевірка падіння напруги, осцилографування, активні тести), а також ускладнює роботу з періодичними («плаваючими») дефектами.

З урахуванням встановлених недоліків, удосконалення технології діагностування доцільно спрямувати на перехід від “кодової” діагностики до алгоритмізованого процесу, який забезпечує повторюваність, відтворюваність та контрольовану якість результату. Методичною основою такого переходу має бути поетапна логіка: симптом → первинні перевірки → OBD-аналіз (DTC + freeze frame + live data) → формування гіпотези → підтвердження інструментальними методами → ремонт → заключний контроль і документування. Важливо, що для сучасних автомобілів інформаційна складова діагностики (стандартизовані OBD-сервіси, режими і дані) регламентується міжнародними стандартами, що обґрунтовує необхідність системного використання даних ЕБК, а не лише читання кодів [9], [14], [15], [16].



Рисунок 3.1 – Логіка діагностування ЕСКД (рисунок згенерований з використанням ІІІ: ChatGPT 5.2)

На підставі цього пропонуються такі напрями удосконалення технології діагностування ЕСКД в умовах незалежної СТО:

1. Стандартизація процесу діагностики та введення єдиного алгоритму (регламенту) для майстра-діагноста. Доцільно встановити фіксовану послідовність операцій та критерії переходу між етапами (коли достатньо сканера, коли потрібна мультиметрія, коли – осцилограф/тест під навантаженням). Такий підхід зменшує залежність результату від індивідуального досвіду виконавця і підвищує повторюваність діагнозу.
2. Поглиблення використання даних ЕБК включаючи активні тести. Технологію слід орієнтувати на інтерпретацію умов виникнення несправності (freeze frame) та аналіз параметрів у різних режимах, а

також на застосування активних тестів виконавчих механізмів, які в методичних матеріалах розглядаються як важливий інструмент локалізації дефекту.

3. Обов'язкове підтвердження діагнозу інструментальними методами для критичних груп несправностей. Для типових проблем електричних кіл (обрив/КЗ/підвищений перехідний опір/погані «маси») доцільно запровадити правило: діагностичний висновок вважається обґрунтованим лише після перевірки живлення/«мас», падінь напруги на з'єднаннях, цілісності кіл і, за потреби, осцилографування сигналів швидкоплинних процесів (СКР/СМР, імпульси керування форсунками/катушками).
4. Підвищення результативності пошуку “плаваючих” дефектів через спеціальні процедури. Доцільно впровадити процедури фіксації умов появи несправності (температура, навантаження, режим руху), контрольні поїздки та журналювання результатів. Саме ці дефекти найгірше піддаються “швидкій” діагностиці та є частою причиною повторних звернень.
5. Уніфікація документування: діагностична карта та контроль “до/після”. Доцільно використовувати стандартну форму (чек-лист/карта діагностики), у якій фіксуються: симптом, DTC, freeze frame, ключові параметри live data, результати вимірювань, виконані тести, остаточний висновок і параметри після ремонту. Це підсилює контроль якості, спрощує аналіз рекламаций і формує базу знань підприємства.
6. Раціональне використання технічної інформації та програмного забезпечення. Для незалежних СТО без OEM-регламентів важливе значення має застосування довідкових систем, електросхем, специфікацій і методик перевірок, що знижує ризик помилкової інтерпретації сигналів та прискорює пошук причин.

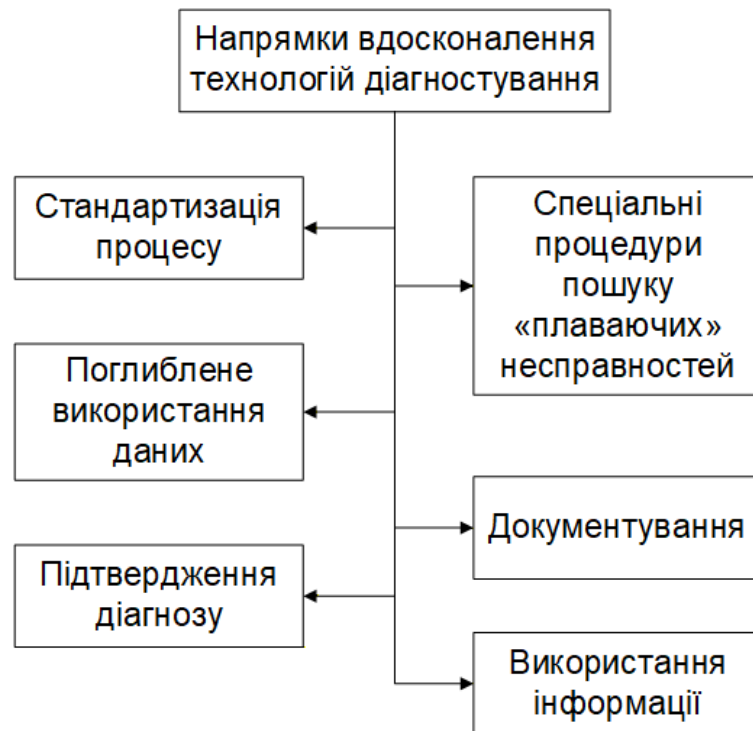


Рисунок 3.2 – Напрями удосконалення технології діагностування ЕСКД

Таким чином, обґрунтовані напрями удосконалення зводяться до алгоритмізації та стандартизації процесу діагностики, розширеного використання даних ЕБК, обов’язкового інструментального підтвердження критичних гіпотез, формалізації заключного контролю та документування. Реалізація цих напрямів дає змогу зменшити частку «діагностування за кодом», скоротити повторні звернення та підвищити продуктивність роботи поста без створення окремого діагностичного поста, що є принципово важливим для незалежних СТО.

3.2 Розробка удосконаленого алгоритму діагностування електронної системи керування двигуном

Удосконалений алгоритм діагностування ЕСКД в умовах незалежної СТО доцільно формувати як стандартизовану послідовність операцій з чітко визначеними входами та виходами кожного етапу, критеріями переходу між етапами та обов’язковим документуванням результатів. Алгоритм повинен

спиратися на поєднання даних бортової діагностики (DTC, freeze frame, live data, активні тести) зі підтвердженням на основі вимірювань (перевірка живлення/«мас», падіння напруги, форма сигналів), оскільки діагностичний код не є безпосереднім діагнозом, а лише фіксацією відхилення в контрольованому параметрі чи колі. Стандартизований характер OBD-даних і діагностичних сервісів обґрунтовується відповідними міжнародними документами, що регламентують набір діагностичних даних і способи взаємодії «автомобіль — зовнішнє обладнання».

Враховуючи реальний стан незалежних СТО (відсутність окремого діагностичного поста, дефіцит часу на універсальному місці), алгоритм орієнтовано на раціональне використання доступних засобів (сканер та мультиметр як мінімум; осцилограф і додаткові прилади – за потреби) та мінімізацію помилок на початковій стадії діагностування, які призводять до повторних звернень. Ключовим принципом алгоритму є правило: Код несправності → гіпотеза → підтвердження → ремонт → контроль → документування.

Алгоритм будується за принципом «від загального до конкретного» та передбачає чотири рівні діагностування:

- Рівень 0 (первинний, організаційний): уточнення симптомів і відтворення умов прояву дефекту.
- Рівень 1 (OBD-аналіз): коди несправностей, «заморожені» дані, реальні дані та, (за необхідності / можливості) активні тести.
- Рівень 2 (підтвердження): інструментальна перевірка електричних кіл, сигналів датчиків, керування виконавчими механізмами, герметичності.
- Рівень 3 (контроль результату): повторний OBD-контроль та контрольні режими/проїзд, обов'язково оформлення діагностичної карти.

Перехід між рівнями здійснюється за критеріями:

- Є коди несправностей та відтворюваний симптом → формувати гіпотезу та підтверджувати.

- Немає кодів несправностей, але симптом є → фокус на реальні дані під навантаженням, перевірка базових причин (живлення, герметичність, тиск/подача, контакти), контрольні режими.
- Коды несправності періодичні (intermittent) або плаваючий дефект → фіксація «заморожених» умов, дорожній тест, перевірка падінь напруги/контактів і осцилографування.

Удосконалений алгоритм діагностування ЕСКД включає (див. табл. 3.1 та мрис. 3.3):

Етап 1. Приймання та уточнення симптомів (2–5 хв).

1.1. Фіксація скарги клієнта: що саме не так, коли проявляється (холодний/гарячий запуск, під навантаженням, на ХХ, після заправки тощо).

1.2. Перевірка історії: чи були ремонти/заміни датчиків, чи є “Check Engine”.

Вихід: чітко сформульований симптом і умови прояву (для карти діагностики).

Етап 2. Первинні перевірки (5–10 хв).

2.1. Швидкий контроль АКБ/заряджання, огляд роз’ємів ЕСКД, джгутів, масових точок, запобіжників.

2.2. Візуальна оцінка повітряного тракту (патрубки, хомути), ознаки підсмоктування; огляд на підтікання.

Критерій переходу: якщо виявлено явний дефект (роз’єм, обрив, перегорілий запобіжник, зірваний патрубок) — усунути і перейти до Етапу 7 (контроль).

Етап 3. OBD-аналіз (10–20 хв).

3.1. Зчитування DTC (активні/збережені/очікувані), запис у карту діагностики.

3.2. Аналіз freeze frame: умови фіксації (оберти, навантаження, температури, напруга, корекції).

3.3. Аналіз live data у щонайменше двох режимах: ХХ і підвищені оберти/імітація навантаження (за можливості).

3.4. Виконання активних тестів (якщо доступні): перевірка реакції дроселя, EGR, вентилятора, клапанів тощо.

Вихід: попередня гіпотеза (або 2–3 альтернативи) і перелік параметрів, які відхиляються від нормативних значень.

Етап 4. Формування гіпотези та план підтвердження (3–5 хв).

4.1. Встановити, до якої групи належить підозра:

- датчик/сигнал (MAF/MAP/TPS/ECT/CKP/CMR/λ тощо);
- актуатор (форсунка, котушка, дросель, EGR);
- електричне коло (живлення/маса/роз'єм/падіння напруги);
- механіко-процесні причини (підсмоктування, подача палива, компресія – за потреби).
- 4.2. Обрати найкоротший підтверджувальний тест, щоб довести або спростувати гіпотезу.

Етап 5. Підтвердження інструментальними методами (15–40 хв, залежно від складності).

5.1. Електрична перевірка: напруга живлення, якість «мас», падіння напруги на з'єднаннях, цілісність кола датчика/актуатора (мультиметр).

5.2. Перевірка сигналів:

- CKP/CMR — оцінка наявності/стабільності сигналу (осцилограф, за можливості);
- керування форсунками/котушками – оцінка імпульсів (за можливості).

5.3. Перевірки процесної причини: димогенератор/вакуумна перевірка впуску, контроль тиску палива (за наявності засобів).

Цей етап є критичним для відмови від «діагностики за кодом» і підвищення достовірності висновку.

Етап 6. Рішення і виконання ремонту.

6.1. Погодження робіт із клієнтом; виконання ремонту/заміни/відновлення контакту/проводки.

6.2. У випадку заміни датчиків/дроселя – виконати необхідні адаптації (якщо передбачено системою/сканером).

Етап 7. Заключний контроль і документування (10–20 хв).

7.1. Повторне зчитування DTC; контроль, що активних помилок немає.

7.2. Контроль ключових параметрів “до/після”: корекції, MAF/MAP, температура, стабільність ХХ.

7.3. За потреби – контрольний заїзд і повторна перевірка.

7.4. Заповнення діагностичної карти: симптом → дані OBD → підтвердження → виконані роботи → результат.

Таблиця 3.1 – Базовий технологічний процес діагностування ЕСКД

Етап	Мета	Основні дії	Інструменти	Результат (вихід)
1	Формалізувати симптом	Опитування, умови прояву	Карта приймання	Опис симптома і режимів
2	Виключити “очевидне”	АКБ/живлення, роз’єми, огляд	Візуально, мультиметр (за потреби)	Усунення явного дефекту або перехід до OBD
3	Отримати діагностичну інформацію	DTC, freeze frame, live data, тести	Сканер OBD	Попередня гіпотеза
4	Сформувати план підтвердження	Вибір 1–2 ключових тестів	Методика/чек-лист	План перевірки
5	Підтвердити/спростувати	Перевірка кіл, сигналів, герметичності	Мультиметр/осцилограф/димогенератор	Обґрунтований діагноз
6	Усунути причину	Ремонт/заміна/адаптації	Інструмент СТО	Усунення дефекту
7	Закрити випадок	Контроль DTC, параметрів, документування	Сканер + діагностична карта	Підтверджений результат

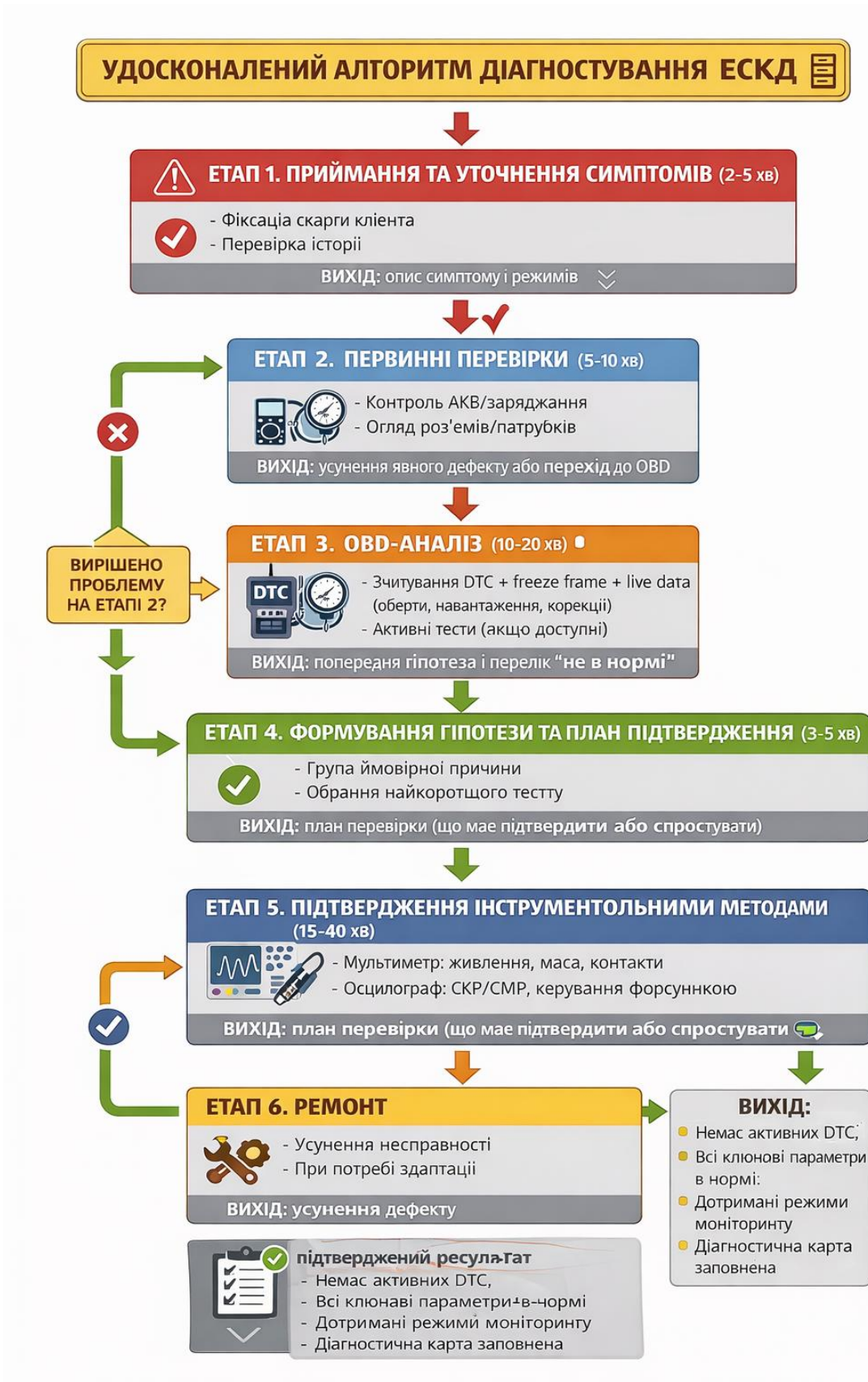


Рисунок 3.3 – Удосконалений алгоритм діагностування ЕСКД (рисунок згенерований з використанням ШІ: ChatGPT 5.2)

Запропонований та наведений на рисунку 3.3 алгоритм забезпечує:

- зменшення частки «діагностування за кодом» і пов'язаних із цим повторних звернень;
- підвищення повторюваності результатів завдяки стандартним критеріям переходу між етапами;
- скорочення часу на складні випадки через формалізоване висування і перевірку гіпотез;
- можливість накопичення внутрішньої бази типових рішень через документування параметрів «до/після».

Загальний час діагностування під час застосування наведеного вище алгоритму становитиме 45...100 хв (0,75...1,7 год).

3.3 Оптимізація використання діагностичного обладнання та програмного забезпечення

Оптимізація використання діагностичного обладнання та програмного забезпечення на незалежній СТО полягає у впровадженні раціональної послідовності застосування інструментів і стандартизованих правил переходу від OBD-аналізу до підтверджувальних вимірювань. Такий підхід відповідає принципам сучасного сервісу: програмні комплекси та бази даних (електросхеми, покрокові інструкції, «кероване» усунення несправностей) повинні скорочувати час пошуку причин і підвищувати повторюваність результатів [28], [29], [30].

Ключовими організаційно-технічними рішеннями оптимізації є (див. також табл. 3.2):

- три рівні інструментування: OBD-сканер → мультиметрія → осцилограф/спецперевірки (застосовуються за критеріями ризику помилки та складності дефекту);
- інформаційна підтримка через бази електросхем і технічних даних для підтвердження гіпотези [29], [30];

- мінімізація дублювання операцій за рахунок чек-листів і фіксації параметрів «до/після» (щоб уникати повторної перевірки одних і тих самих вузлів різними майстрами);
- регламент «коли потрібен Pass-Thru/J2534»: лише для процедур програмування/оновлення ПЗ ЕБК та специфічних OEM-операцій, що не покриваються універсальними засобами [31].

Таблиця 3.2 – Оптимізована схема застосування обладнання та ПЗ у діагностиці ЕСКД

Етап/задача	Оптимальний інструмент	Програмне забезпечення/дані	Вихід (результат)	Критерій переходу
Уточнення симптомів, умови прояву	Карта приймання/чек-лист	–	Формалізований симптом і режими	Перехід до первинних перевірок
Первинні перевірки (АКБ, маси, роз'єми)	Мультиметр (за потреби)	Схема живлення/мас (за наявності)	Усунено явний дефект / дефект не знайдено	Якщо не знайдено → OBD-аналіз
DTC + freeze frame + live data	OBD-сканер	Стандартизовані дані/сервіси OBD (як функція сканера)	Гіпотеза + список “не в нормі”	Якщо гіпотеза чітка → підтвердження
Підтвердження електричної причини	Мультиметр: падіння напруги, цілісність кіл	Електросхеми, номінальні значення	Доведено/спростовано дефект кола	Якщо сумнів/плаваючий дефект → осцилограф
Підтвердження швидких сигналів	Осцилограф (СКР/СМР, керування форсункою/котушкою)	Довідка по типових осцилограмах (за наявності)	Виявлено пропуски, перешкоди, синхронізацію	Після підтвердження → ремонт
Локалізація за схемами/підказками	–	ESI/SIS або аналог; бази електросхем (Autodata/HaynesPro тощо)	Стислий маршрут перевірок, точки контролю	Зменшення часу пошуку причин

Етап/задача	Оптимальний інструмент	Програмне забезпечення/дані	Вихід (результат)	Критерій переходу
Оновлення/програмування (за потреби)	Pass-Thru інтерфейс	ОЕМ ПЗ + J2534	Виконано перепрограмування /адаптації	Застосовується лише при обґрунтованій потребі
Заключний контроль і звіт	OBD-сканер + карта	Збереження параметрів “до/після”	Немає активних DTC; параметри в нормі; звіт	Закриття замовлення

Запропонована схема дозволяє зменшити частку “діагностики за кодом” і помилкових замін вузлів за рахунок обов’язкового підтвердження гіпотези вимірюваннями та використання технічної інформації (схеми/керовані інструкції) [28], [29], [30]. Для незалежної СТО це є найбільш реалістичним шляхом підвищення якості без створення окремого діагностичного поста.

3.4 Розроблення рекомендацій для майстра-діагноста

Рекомендації для майстра-діагноста на незалежній СТО доцільно формувати як короткий стандарт виконання діагностичних робіт, який забезпечує повторюваність результатів, зменшує частку «діагностування за кодом» та мінімізує ризик повторних звернень. Основою є правило: DTC → гіпотеза → підтвердження → ремонт → контроль → документування, оскільки дані самодіагностики не є достатніми для встановлення першопричини без перевірки електричних кіл, сигналів і реакції системи. Також доцільно спиратися на стандартизовані OBD-дані (DTC, freeze frame, live data, активні тести), що регламентуються міжнародними документами щодо діагностичної взаємодії транспортного засобу із зовнішнім обладнанням.

Загальні організаційні правила діагностування (див. також таблицю 3.3):

1. Фіксувати симптом і умови прояву до підключення сканера (температура, режим руху, навантаження, після яких подій з'явилась проблема).
2. Не стирати DTC до завершення аналізу, доки не зафіксовано дані і ключові параметри.
3. Проводити первинні перевірки (АКБ/заряд, «маси», роз'єми, запобіжники, патрубки) перед поглибленим діагностуванням.
4. Обов'язково підтверджувати гіпотезу вимірюваннями (особливо для датчиків, живлення/мас, підозри на проводку).
5. Після ремонту виконувати заключний контроль: DTC, параметри «до/після», контрольні режими/проїзд, документування.

Таблиця 3.3 – Мінімальний стандарт дій майстра-діагноста

Кр ок	Що робити	Чим підтвердити/зафіксувати	Результат (вихід)
1	Записати симптом і умови прояву	Карта діагностики	Формалізований запит
2	Первинні перевірки (АКБ, «маси», роз'єми, патрубки)	Візуально, мультиметр (за потреби)	Усунено явний дефект або перехід до OBD
3	Зчитати DTC + freeze frame + live data	OBD-сканер	Перелік відхилень і початкова гіпотеза
4	Сформулювати гіпотезу і план підтвердження (1–2 тести)	Чек-лист	План, що саме має підтвердити/спростувати
5	Підтвердити вимірюванням	Мультиметр/осцилограф/допоміжні засоби	Обґрунтований висновок
6	Виконати ремонт/адаптації	За технологією СТО	Усунення причини
7	Заключний контроль і звіт	OBD + «до/після»	Підтверджений результат і документ

Для зменшення помилок діагностування доцільно встановити єдиний порядок роботи зі сканером:

- DTC трактувати як напрям пошуку, а не як безумовну причину несправності.

- «Заморожені» дані використовувати як ключ до умов появи дефекту (холодний/гарячий двигун, навантаження, швидкість, напруга) і відтворювати подібний режим під час перевірки.
- Живі (реальні) дані оцінювати в щонайменше двох режимах (XX та підвищені оберти/імітація навантаження).
- За можливості застосовувати активні тести (кероване вмикання актуаторів) як метод підтвердження гіпотези.

Щоб уникати «кодової» діагностики, доцільно закріпити правило: за наявності принаймні одного з наведених тригерів майстер обов'язково переходить до мультиметрії/осцилографа (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Коли обов'язково потрібні інструментальні перевірки

Тригер (ситуація)	Чому це критично	Мінімальна перевірка
DTC по датчику/колу (обрив/КЗ)	Код часто фіксує наслідок у колі	Живлення, “маса”, цілісність кола, падіння напруги
Плаваючий дефект / періодичні скарги	Код може бути “pending”, симптом не відтворюється	Перевірка контактів, падіння напруги, фіксація умов появи
Відсутність DTC, але симптом є	ЕБК може не ідентифікувати відхилення як помилку	Live data під навантаженням + базові вимірювання
Після заміни вузла симптом не зник	Висока ймовірність помилки первинної гіпотези	Повернення до етапу підтвердження, аналіз “до/після”
Підозра на СКР/СМР, форсунки, катушки	Потрібна оцінка форми/синхронізації сигналу	Осцилограф (або щонайменше контроль сигналу)

Для незалежної СТО доцільно впровадити коротку діагностичну карту, у якій фіксуються: симптом і умови → DTC → freeze frame → ключові live data → результати підтвердження (вимірювання) → виконані роботи → параметри “до/після” → підсумковий висновок. Така форма підвищує керованість

процесу, полегшує аналіз повторних звернень і створює внутрішню базу типових рішень.

Висновки до розділу

Обґрунтовано доцільність переходу від діагностуванням за кодами до алгоритмізованого процесу, оскільки в умовах незалежних СТО відсутність виділеного діагностичного поста створює дефіцит часу та підвищує ризик помилкових рішень при складних і періодичних дефектах

Розроблено удосконалений алгоритм діагностування ЕСКД, який структуровано за чотирма рівнями та містить критерії переходу між рівнями залежно від наявності/відсутності DTC і відтворюваності симптомів

Визначено зміст основних етапів алгоритму, що забезпечує формалізацію «входів/виходів» і підвищує повторюваність результатів діагностування

Установлено, що при застосуванні удосконаленого алгоритму загальний час діагностування становить 45...100 хв (0,75...1,7 год), що є прийнятним для незалежних СТО за умови коректного вибору обсягу підтверджувальних перевірок

Запропоновано підхід до оптимізації використання обладнання і ПЗ на основі трирівневої логіки OBD-сканер → мультиметрія → осцилограф/спецперевірки, з обов'язковим використанням технічної інформації (електросхеми, номінальні значення, “керовані” підказки) для підтвердження гіпотез і скорочення часу пошуку причин

Сформовано короткий стандарт рекомендацій для майстра-діагноста, який регламентує порядок роботи зі сканером, правила переходу до інструментального підтвердження та оформлення результатів, що створює передумови для практичного впровадження удосконаленої технології на незалежній СТО.

4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

4.1 Методика оцінювання ефективності удосконаленої технології діагностування

Оцінювання ефективності удосконаленої технології діагностування ЕСКД доцільно виконувати за порівняльною аналітичною методикою типу «було/стало» із застосуванням умовно-статистичних даних. Такий підхід дозволяє кількісно оцінити вплив запропонованого алгоритму, чек-листів та правил підтвердження гіпотез інструментальними методами на ключові показники результативності. Методика ґрунтується на фіксації базових показників для чинної технології (контрольна модель) та розрахунку відповідних показників для удосконаленої технології (проектна модель) на однаковому наборі умовних діагностичних випадків.

Методика включає чотири послідовні етапи:

1. Формування набору кейсів (умовно-статистичних ситуацій). Складається перелік типових звернень щодо роботи двигуна та ЕСКД (наприклад 15–30 кейсів), які відображають найбільш поширені симптоми: утруднений запуск, нестійкий холостий хід, провали при розгоні, підвищена витрата палива, “Check Engine” тощо. Для кожного кейсу задаються: симптом, умови прояву, очікувана першопричина (еталон), мінімально достатній набір перевірок.
2. Визначення контрольної (AS-IS) та проектної (TO-BE) технології.
 - AS-IS: типова практика незалежного автосервісу (переважно DTC-орієнтована діагностика з обмеженим підтвердженням).
 - TO-BE: удосконалений алгоритм (симптом → первинні перевірки → OBD-аналіз → гіпотеза → інструментальне підтвердження → ремонт → заключний контроль + документування).
3. Розрахунок та порівняння показників ефективності. Для кожного кейсу визначаються значення обраних показників за AS-IS і TO-BE (час,

точність, частота повторних звернень, витрати). Далі обчислюються середні значення по набору кейсів і відносні зміни (%), коефіцієнти).

4. Інтегральна оцінка та висновок про доцільність впровадження. На основі нормування показників можна сформулювати інтегральний індекс ефективності або виконати зважене порівняння за пріоритетами (наприклад, точність діагнозу важливіша за невелике збільшення часу на складних кейсах).

Для найбільш коректного оцінювання доцільно застосувати набір показників трьох груп.

А) Часові показники

- T_d – середня тривалість діагностування одного випадку, хв.
- T_{cycle} – повний діагностичний цикл (від приймання до підтвердження та документування), хв.

Б) Якісні (результативні) показники

- P_{ff} – частка випадків, коли першопричину встановлено правильно з першої спроби, %.
- R_{re} – частка повторних звернень із тією ж проблемою після втручання, %.
- E_{err} – частка діагностичних помилок (хибний діагноз або неповне усунення), %.

В) Економічно-організаційні показники (умовні)

- C_d – умовна вартість діагностики (переважно як витрати часу персоналу), грн/випадок.
- C_{re} – умовні втрати від повторних звернень (додатковий час, компенсаційні роботи), грн/випадок.
- C_{sp} – умовні втрати від «зайвої» заміни справних компонентів, грн/випадок.

Для умовних розрахунків доцільно приймати погодинну ставку роботи персоналу (наприклад, грн/год) та переводити час у вартість:

$$C_d = \frac{T_d}{60} \cdot W \quad (4.1)$$

де W – умовна вартість 1 години роботи.

Ефект від впровадження удосконаленої технології оцінюють як відносну зміну показників:

- Скорочення часу:

$$\Delta T = \frac{T_{AS-IS} - T_{TO-BE}}{T_{AS-IS}} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

- Зростання точності діагнозу:

$$\Delta P_{ff} = P_{ff,TO-BE} - P_{ff,AS-IS} \quad (4.3)$$

- Зменшення повторних звернень:

$$\Delta R_{re} = R_{re,AS-IS} - R_{re,TO-BE} \quad (4.4)$$

- Економічний ефект (умовний):

$$E = (C_{d,AS-IS} + C_{re,AS-IS} + C_{sp,AS-IS}) - (C_{d,TO-BE} + C_{re,TO-BE} + C_{sp,TO-BE}) \quad (4.5)$$

Використання умовно-статистичних даних є виправданим в рамках виконання поставлених завдань, оскільки:

- забезпечує відтворюваність і порівнянність результатів «було/стало» на одному наборі кейсів;
- дозволяє оцінити вплив методики та алгоритму, а не специфіки конкретної СТО;

- дає можливість варіювати сценарії (типові/складні/плаваючі дефекти) і оцінювати чутливість показників до структури звернень.

Таким чином, запропонована методика оцінювання ефективності базується на контрольовано-порівняльному підході, включає часові, якісні та умовно-економічні показники й дозволяє обґрунтувати доцільність впровадження удосконаленої технології діагностування ЕСКД без прив'язки до конкретної станції технічного обслуговування.

4.2 Розрахунок ефективності запропонованого алгоритму

Для кількісного оцінювання ефективності удосконаленого алгоритму діагностування ЕСКД застосуємо порівняльну аналітичну модель AS-IS / ТО-ВЕ, яку наведено в п. 4.1, для двох типових кейсів. Вартість 1 нормо-години для м. Луцьк приймається 1500 грн/год, тоді вартість 1 хвилини робіт становить:

$$c_{1хв} = \frac{1500}{60} = 25 \text{ грн/хв} \quad (4.6)$$

Економічний ефект визначається через очікувані витрати часу та коштів з урахуванням імовірності повторного звернення (повторного діагностування). Для кожного кейсу розраховується:

- базова вартість діагностування: $C_{base} = T \cdot c_{1хв}$;
- очікувана вартість повторного звернення: $C_{rep} = p_{rep} \cdot T_{rep} \cdot c_{1хв}$;
- очікувана сумарна вартість: $C_{\Sigma} = C_{base} + C_{rep}$.

Нижче наведені умовно-статистичні параметри (типові для незалежного сегмента): для AS-IS закладається вища частка «діагностики за кодом» і, відповідно, вища імовірність повторних звернень; для ТО-ВЕ – більша частка підтверджувальних перевірок і нижча повторність.

Вихідні кейси для розрахунку

- Кейс 1 (поширений, середньої складності): нестійкий холостий хід / провали; першопричина – підсмоктування повітря у впуску (виявляється димогенератором/перевіркою герметичності).
- Кейс 2 (складний, “плаваючий”): періодичне глухнення/втрата зв’язку датчиків; першопричина – поганий контакт «маси»/перехідний опір у колі живлення (потребує тесту падіння напруги та відтворення умов).

Результати розрахунку економічної ефективності за цими кейсами наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Розрахунок економічної ефективності за двома типовими кейсами

Показник	Кейс 1: AS-IS	Кейс 1 TO-BE	Кейс 2: AS-IS	Кейс 2 TO-BE
Базовий час діагностики (T), хв	60	50	90	100
Базова вартість ($C_{base} = T \cdot 25$), грн	1500	1250	2250	2500
Імовірність повторного звернення (p_{rep})	0,40	0,10	0,50	0,15
Час повторної діагностики (T_{rep}), хв	45	30	60	45
Очікувана вартість повтору ($C_{rep} = p_{rep} \cdot T_{rep} \cdot 25$), грн	450	75	750	168,75
Очікувана сумарна вартість (C_{Σ}), грн	1950	1325	3000	2668,75
Економія, грн	–	625	–	331,25
Відносний ефект, % $\frac{C_{\Sigma, AS-IS} - C_{\Sigma, TO-BE}}{C_{\Sigma, AS-IS}} \cdot 100\%$	–	32,1 %	–	11,0 %

Розрахунки показують, що удосконалений алгоритм підвищує економічну ефективність насамперед за рахунок зменшення повторних звернень і скорочення “помилкових” діагностичних рішень. Для типового кейсу середньої складності (Кейс 1) очікувані витрати знижуються на 32,1%, що пояснюється раннім підтвердженням гіпотези (перевірка герметичності) і зменшенням повторної діагностики. Для складного “плаваючого” дефекту (Кейс 2) базовий час TO-BE може бути більшим (через вимірювання падіння напруги та відтворення умов), однак сумарні очікувані витрати все одно зменшуються на $\approx 11,0\%$ завдяки різкому скороченню повторності.

У межах песимістичного сценарію моделювання прийнято, що ймовірність повторного звернення після первинного діагностування становить $p_{rep} = 0,90$ для обох підходів (AS-IS та TO-BE). Розрахунки виконано за ставкою 1500 грн/год, що відповідає 25 грн/хв. У такій постановці очікувана сумарна вартість діагностування визначається як сума базової вартості первинної діагностики та очікуваних витрат на повторну діагностику, які пропорційні імовірності повторного звернення та часу повторного циклу.

Отримані результати свідчать, що за умов надзвичайно високої повторності звернень загальні витрати часу і коштів зростають для обох моделей, а відносний ефект від удосконалення зменшується, оскільки домінуючим фактором стають витрати на повторний цикл. Разом з тим, переваги удосконаленого алгоритму зберігаються завдяки скороченню часу повторної діагностики та більш структурованій логіці підтвердження гіпотез.

Так, для кейсу 1 очікувана сумарна вартість зменшується з 2512,5 грн (AS-IS) до 1925,0 грн (TO-BE), що відповідає економії 587,5 грн або приблизно 23,4%. Це пояснюється тим, що в удосконаленій технології повторний цикл є коротшим і більш цілеспрямованим за рахунок раннього підтвердження причини та стандартизованої послідовності перевірок.

Для кейсу 2 ефект є значно меншим: очікувана сумарна вартість знижується з 3600,0 грн (AS-IS) до 3512,5 грн (TO-BE), тобто на 87,5 грн або близько 2,4%. Такий результат є закономірним, оскільки при високій повторності витрати на повторні цикли майже повністю нівелюють переваги алгоритмізації, а сам характер дефекту потребує більш тривалих підтверджувальних процедур навіть у межах удосконаленої технології.

Отже, песимістичне моделювання демонструє, що за $p_{rep} = 0,90$ економічний ефект від удосконалення зберігається, однак суттєво зменшується. Найбільший результат досягається для типових кейсів середньої складності, де алгоритм дозволяє скоротити повторний цикл і швидко підтвердити причинний фактор, тоді як для “плаваючих” дефектів ефект є

обмеженням через об'єктивну трудомісткість відтворення та підтвердження несправності.

Висновки до розділу

Обґрунтовано, що оцінювання ефективності удосконаленої технології діагностування ЕСКД доцільно виконувати за порівняльною методикою типу «було/стало» (AS-IS / TO-BE) на одному наборі умовно-статистичних кейсів, що забезпечує відтворюваність результатів та можливість кількісного порівняння часових, якісних і умовно-економічних показників.

Виконано розрахунок економічної ефективності для двох типових кейсів за нормо-годиною 1500 грн/год (25 грн/хв) і встановлено, що впровадження удосконаленого алгоритму зменшує очікувані витрати насамперед за рахунок зниження повторних звернень та скорочення повторної діагностики.

Для кейсу середньої складності очікувана сумарна вартість зменшується з 1950 грн (AS-IS) до 1325 грн (TO-BE), що відповідає економії 625 грн і відносному ефекту 32,1%.

Для складного кейсу з “плаваючим” дефектом очікувана сумарна вартість зменшується з 3000 грн (AS-IS) до 2668,75 грн (TO-BE), економія становить 331,25 грн, а відносний ефект – 11,0%. Отриманий результат підтверджує, що для періодичних дефектів базовий час TO-BE може бути вищим через необхідність підтвердження, але сумарні витрати зменшуються завдяки зниженню повторності.

Проведено песимістичне моделювання, яке показало: за надзвичайно високої повторності звернень загальні витрати зростають у обох моделях, а відносний ефект алгоритмізації зменшується, оскільки домінує вплив повторного циклу. Водночас удосконалений підхід зберігає переваги за рахунок скорочення повторної діагностики та більш структурованої перевірки гіпотез.

У песимістичному сценарії для кейсу 1 встановлено зменшення очікуваної сумарної вартості з 2512,5 грн до 1925,0 грн (економія 587,5 грн, приблизно 23,4%), тоді як для кейсу 2 ефект є обмеженим: з 3600,0 грн до 3512,5 грн (економія 87,5 грн, близько 2,4%).

ВИСНОВКИ

Установлено, що удосконалення діагностування ЕСКД є актуальним, оскільки саме якість і швидкість встановлення причин несправностей визначають ефективність ремонту, витрати клієнта та рівень повторних звернень. Практична значущість теми посилюється зростанням складності електронних систем сучасних автомобілів.

Показано, що для незалежних СТО м. Луцьк переважає модель без окремого діагностичного поста, коли діагностування виконується на універсальних постах у межах ремонтного процесу. Така організація забезпечує оперативність у типових випадках, але об'єктивно обмежує глибину перевірок і підвищує ризик помилкового діагнозу.

Виявлено, що основні недоліки чинної технології пов'язані з методикою та інструментальним забезпеченням: домінує “діагностика за кодом”, неповно використовується дані, недостатньо контролюються живлення/«маси» та перехідні опори, тощо. Наслідком є підвищення частки «плаваючих» невиявлених дефектів, повторні звернення та зайві заміни компонентів.

Обґрунтовано доцільність переходу до алгоритмізованого процесу діагностування, який забезпечує логіку “симптом → гіпотеза → підтвердження → контроль” та стандартизує дії персоналу. Це дозволяє зменшити залежність результату від суб'єктивного досвіду майстра та підвищити повторюваність діагнозів у незалежному сегменті СТО.

Розроблено удосконалений алгоритм діагностування ЕСКД, структурований за рівнями (організаційний → OBD-аналіз → підтвердження → заключний контроль) з визначеними “входами/виходами” етапів і критеріями переходу. Встановлено, що типовий час діагностування за алгоритмом становить 45–100 хв, що є прийнятним для незалежної СТО та узгоджується з необхідністю підтверджувальних перевірок.

Запропоновано інструменти практичного впровадження: «тригери» (індикатори) обов'язкового переходу до інструментальних вимірювань та

запропоновано застосування діагностичної карти з фіксацією параметрів “до/після”. Це підвищує керованість процесу, полегшує контроль якості та створює передумови для накопичення внутрішньої бази типових рішень.

За методикою “AS-IS / TO-BE” підтверджено економічну доцільність удосконаленого алгоритму: очікувані витрати знижуються на 32,1% для типового кейсу середньої складності та приблизно на 11,0% для складного «плаваючого» дефекту при вартості 1500 грн/н-год. Отже, найбільший ефект досягається там, де алгоритм забезпечує швидке підтвердження гіпотези та зменшує повторні звернення, що є ключовим для незалежних СТО.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Engine Management Systems | DENSO Europe. DENSO. URL: <https://www.denso-am.eu/products/engine-management-systems> (дата звернення: 24.02.2026).
2. Engine Management Systems: Product Information Catalogue. DENSO. URL: <https://assets.denso-am.eu/production/attachments/Engine-Management-Systems-Product-Information-Catalogue.pdf> (дата звернення: 24.02.2026).
3. Commission Implementing Regulation (EU) 2025/1706 (Annex XI: On-Board Diagnostics (OBD) for motor vehicles). EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32025R1706> (дата звернення: 24.02.2026).
4. Robert Bosch GmbH. Automotive Electrics and Automotive Electronics: Systems and Components, Networking and Hybrid Drive. Springer. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-01784-2> (дата звернення: 24.02.2026).
5. Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андреев В. І., Голдун В. Ю. Елементи електронних систем керування автомобільними двигунами : навч. посіб. Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. 132 с. ISBN 978-966-336-289-2.
6. Електронні системи керування транспортними засобами : курс лекцій (електронний ресурс) / Запорізький національний університет. Запоріжжя, 2020. 104 с.
7. Про затвердження Технологічних вимог до засобів перевірки технічного стану, технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів : наказ Міністерства інфраструктури України від 15.02.2012 № 106. URL: офіційний портал Верховної Ради України.
8. Robert Bosch GmbH (Ed.). Bosch Automotive Electrics and Automotive Electronics: Systems and Components, Networking and Hybrid Drive. 5th ed.

Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. (Bosch Professional Automotive Information). DOI: 10.1007/978-3-658-01784-2.

9. ISO 15031-3:2023 (successor to ISO 15031-3:2016). Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 3: Diagnostic connector and related electrical circuits. ISO.

10. Reif K. (Ed.). Gasoline Engine Management: Systems and Components. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. (Bosch Professional Automotive Information). DOI: 10.1007/978-3-658-03964-6.

11. Криштопа, С. І. Комп'ютерна діагностика автомобілів : метод. вказ. для вивчення дисципліни / С. І. Криштопа. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2017. - 51 с.

12. Практичні основи діагностування автомобільних двигунів : навч. Посібник / В. Д. Мигаль, В. А. Корогодський, О. І. Воронков, І. М. Нікітченко. – Харків : ХНАДУ, 2021. – 412 с. ISBN 978-966-303-773-8 URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/02d9d24d-3f72-4b60-9935-008b6f01de4e/content> (дата звернення: 01.03.2026).

13. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Колісні та гусеничні транспортні засоби») усіх форм навчання. Частина 1. Загальні положення по виконанню лабораторних робіт / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 64 с. URL: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/cf9ddfca-4e00-43b3-b14c-be364eeaab84/content> (дата звернення: 01.03.2026).

14. ISO 15031-3:2023. Road vehicles — Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics — Part 3: Diagnostic connector and related electrical circuits, specification and use. Geneva : ISO, 2023. URL: <https://www.iso.org/standard/84210.html> (дата звернення: 01.03.2026).

15. ISO 15765-4:2021. Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN) — Part 4: Requirements for emissions-related

systems. Geneva : ISO, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/78384.html> (дата звернення: 01.03.2026).

16. SAE J1979-2025. E/E Diagnostic Test Modes (OBD services). Warrendale, PA : SAE International, 2012. URL: https://www.sae.org/standards/j1979_201202-e-e-diagnostic-test-modes (дата звернення: 01.03.2026).

17 SAE J2534-1_5_00. Recommended Practice for Pass-Thru Vehicle Programming. Warrendale, PA : SAE International, 2022. URL: https://www.sae.org/standards/j2534-1_5_00-recommended-practice-pass-thru-vehicle-programming (дата звернення: 01.03.2026).

18. Bosch ESI [tronic] software for automotive workshops. Robert Bosch GmbH. URL: <https://www.boschaftermarket.com/gb/en/diagnostics/ecu-diagnosis/esitronic/> (дата звернення: 01.03.2026).

19. Diagnostic and repair software for cars (web resource). Autodata Group. URL: <https://www.autodata-group.com/za/diagnostic-software/> (дата звернення: 01.03.2026).

20. Integrated course «Automotive Transport»: Study guide for university students / Michael FRATITA, Chivu ROBERT-MADALIN, Viktor SAMOSTIAN etc. – Lutsk : Vezha-Print, 2025. –1 electronic optical disk (CD-ROM). – Data volume 21,7 Mb.

21. Конспект лекцій з дисципліни «Організація автосервісу» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт». Укл.: к.т.н., доц. Авер'янов В.С., к.т.н., доц. Шматко Д.З. Кам'янське, ДДТУ, 2023. 76 с. URL: https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/1/4/1-4-z_kl36.pdf (дата звернення: 01.03.2026).

22. Сергійчук А. А., Аулін В. В., Гриньків А. В., Сергійчук А. В. Забезпечення належного рівня якості надання послуг підприємствами технічного сервісу колісних транспортних засобів проведенням їх акредитації. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.

II. URL: https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/11%2842%29_II/41.pdf (дата звернення: 01.03.2026).

24. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Технологічне проектування АТП і СТО та сервіс автомобілів» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» освітньо-професійна програма «Автомобільний транспорт» [Електронне видання]. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2024. – 38 с. https://learn.ztu.edu.ua/mod/resource/view.php?id=275097&utm_source=chatgpt.com

25. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. – Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. – 188 с. URL: <https://epub.chnpu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3282/1/Основи%20діагностики%20автомобіля.pdf>

26. Діагностика електрообладнання автомобіля: конспект лекцій для здобувачів освітньо-кваліфікаційного рівня молодший спеціаліст 274 Автомобільний транспорт денної форми навчання / уклад. Р. В. Гунчик. – Любешів : ВСП «Любешівський ТФК Луцького НТУ», 2022. –128 с.

27. Лабораторні роботи з дисципліни «Електронні системи керування транспортними засобами» : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 104 с.

28. Diagnostic Solutions ESI[tronic] 2.0 : fact sheet [Електронний ресурс]. Bosch Aftermarket. URL: https://www.boschaftermarket.com/xrm/media/images/equipment/esitronic_software/xx_pdf_1/tds_fact_sheet_esi_en_77391.pdf (дата звернення: 01.03.2026).

29. Car wiring diagrams and software (Diagnostics & Repair) [Електронний ресурс]. Autodata. URL: <https://www.autodata-group.com/za/car-wiring-diagrams-software/> (дата звернення: 01.03.2026).

30. HaynesPro: repair technical data for distributors and workshops [Електронний ресурс]. Infopro Digital Automotive. URL: <https://www.infopro-digital-automotive.com/haynespro/> (дата звернення: 01.03.2026).

31. SAE J2534-1_5_00 Recommended Practice for Pass-Thru Vehicle Programming [Електронний ресурс]. SAE International. URL: https://www.sae.org/standards/j2534-1_5_00-recommended-practice-pass-thru-vehicle-programming (дата звернення: 01.03.2026).

32. Навчальні та кваліфікаційні роботи : методичні вказівки до оформлення навчальних та кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів освітньо-професійних програм: «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» галузь знань 27 Транспорт, спеціальностей: 274 Автомобільний транспорт, 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форм навчання / уклад. В. М. Придюк, В. А. Кищун, В. М. Дембіцький, В. І. Павлюк. – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – 56 с.

33. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [Чинний від 2017-07-11]. Вид. офіц. Київ, 2016. 32 с.