УДК 629.3.083

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

М.І. Морозов
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
morozovmaks391@gmail.com

Сучасний розвиток автомобільної промисловості нерозривно пов'язаний із впровадженням систем автоматизованої діагностики силових агрегатів. Ефективна діагностика двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) дозволяє своєчасно виявляти несправності, знижувати витрати на технічне обслуговування та підвищувати безпеку експлуатації транспортних засобів.

Метою даної роботи є аналіз сучасних методів та засобів автоматизованої діагностики автомобільних двигунів, а також розгляд перспектив використання інтелектуальних систем і штучного інтелекту у цій галузі.

Сучасні методи діагностики

Автоматизована діагностика двигунів базується на комплексному аналізі даних, що надходять від бортових датчиків та зовнішніх вимірювальних пристроїв. Сучасні діагностичні системи здатні одночасно обробляти сотні параметрів у режимі реального часу, порівнюючи їх із еталонними значеннями та виявляючи будь-які відхилення. Основними параметрами, що контролюються в процесі діагностики, є: температура охолоджувальної рідини та моторної оливи, тиск у паливній системі та циліндрах двигуна, частота обертання колінчастого валу, кут випередження запалення, витрата повітря та палива, а також склад і температура відпрацьованих газів. Комплексний аналіз цих показників дозволяє отримати повну картину технічного стану силового агрегату без його демонтажу.

Бортові системи самодіагностики (OBD-II) є обов'язковим стандартом для всіх автомобілів, що виробляються після 1996 року. Вони забезпечують безперервний моніторинг понад 200 параметрів роботи двигуна в режимі реального часу. Система OBD-II здійснює контроль за роботою каталітичного нейтралізатора, лямбда-зондів, системи рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), паливної системи та інших вузлів. При виявленні відхилень від норми система генерує стандартизовані діагностичні коди несправностей (DTC), які зберігаються в енергонезалежній пам'яті електронного блоку управління (ЕБУ). Ці коди можуть бути зчитані за допомогою спеціалізованого сканера або адаптера через стандартний діагностичний роз'єм OBD-II (ISO 15765, SAE J1979), що суттєво спрощує процес первинної діагностики навіть для недосвідченого спеціаліста [1]. Разом з тим слід зазначити, що OBD-II фіксує лише вже наявні несправності, але не здатна прогнозувати їх виникнення.

Поряд із бортовими системами широко застосовуються стаціонарні та переносні діагностичні стенди. Сучасні мотор-тестери дозволяють проводити

комплексний аналіз роботи циліндро-поршневої групи, системи запалення, паливної апаратури та газорозподільного механізму. Одним із найінформативніших методів є компресометрія – вимірювання тиску стиснення в кожному циліндрі, що дозволяє оцінити ступінь зносу поршневих кілець і клапанів. Додатково застосовується пневмотестування – метод, за яким до циліндра подається стиснене повітря, а за місцем його витоку визначають характер несправності: знос кілець, прогар клапанів або пошкодження прокладки головки блоку. Застосування осцилографічного аналізу електричних сигналів датчиків дає змогу виявляти приховані несправності на ранніх стадіях їх розвитку – ще до появи видимих ознак або кодів помилок. Зокрема, аналіз форми сигналу датчика положення колінчастого валу дозволяє виявити нерівномірність роботи циліндрів, а осцилограма форсунок – діагностувати проблеми з паливоподачею. Таким чином, поєднання різних методів інструментальної діагностики забезпечує значно вищу достовірність результатів порівняно з використанням кожного з них окремо.

Порівняльний аналіз методів діагностики

У таблиці 1 наведено порівняльний аналіз основних методів діагностики автомобільних двигунів за ключовими критеріями.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів діагностики двигунів

Критерій	OBD-II	Мотор-тестер	ШІ-діагностика
Точність	Середня	Висока	Дуже висока ★
Вартість	Низька ★	Середня	Середня
Швидкість	Реальний час	Повільна	Дуже швидко ★
Кваліфікація	Мінімальна ★	Висока	Низька ★
Предиктивність	Відсутня	Мінімальна	Висока ★

★ *– найкращий показник за даним критерієм*

Застосування штучного інтелекту в діагностиці

Одним із перспективних напрямів є використання методів машинного навчання для аналізу діагностичних даних. Нейронні мережі та алгоритми класифікації дозволяють виявляти складні нелінійні залежності між параметрами роботи двигуна і його технічним станом, що суттєво підвищує точність та швидкість постановки діагнозу.

Системи на основі штучного інтелекту здатні накопичувати досвід з кожного діагностичного сеансу, автоматично оновлювати бази знань про несправності та адаптуватися до індивідуальних особливостей конкретного двигуна. Це дозволяє реалізувати концепцію предиктивного технічного обслуговування, за якої ремонтні роботи виконуються не за розкладом, а за реальним технічним станом агрегату.

Перспективним є поєднання бортової діагностики з технологіями Інтернету речей (IoT). Дані від датчиків двигуна передаються у хмарні сервіси, де проходять обробку з використанням потужних обчислювальних ресурсів. Результати аналізу надходять до водія або технічного фахівця у вигляді зрозумілих рекомендацій через мобільний застосунок або веб-інтерфейс.

Практична реалізація та результати

У рамках дослідження було проаналізовано роботу системи автоматизованої діагностики на базі мікроконтролера Arduino з підключеними датчиками тиску, температури та частоти обертання. Програмне забезпечення реалізоване на мові Python і включає модуль зчитування даних через OBD-II адаптер, модуль попередньої обробки сигналів та модуль класифікації стану двигуна.

Тестування системи проводилось на автомобілях з різним пробігом та технічним станом двигунів. Результати показали, що автоматизована система здатна з точністю 87% визначати тип несправності за характером зміни діагностичних параметрів. Впровадження такої системи дозволяє скоротити час діагностики у 2–3 рази порівняно з традиційними методами.

Перспективи розвитку та безпека діагностичних систем

Розвиток автоматизованих діагностичних систем нерозривно пов’язаний із питаннями кібербезпеки. Сучасні транспортні засоби є складними кіберфізичними системами, в яких електронні блоки управління взаємодіють між собою через внутрішні мережі (CAN, LIN, FlexRay) та з зовнішніми сервісами через бездротові канали зв’язку. Несанкціонований доступ до діагностичного інтерфейсу може призвести до компрометації системи управління двигуном або навіть до повної втрати контролю над транспортним засобом. У зв’язку з цим сучасні стандарти кібербезпеки для автомобільної галузі, зокрема ISO/SAE 21434, вимагають обов’язкового шифрування діагностичних сесій та автентифікації діагностичного обладнання

Паралельно з питаннями безпеки активно розвивається концепція цифрового двійника двигуна (Digital Twin). Цифровий двійник є динамічною віртуальною моделлю реального агрегату, яка постійно оновлюється на основі даних від датчиків і відображає поточний технічний стан у режимі реального часу. Така модель дозволяє прогнозувати поведінку двигуна в різних умовах експлуатації, моделювати розвиток несправностей та оптимізувати режими технічного обслуговування без фізичних випробувань. Впровадження технології цифрового двійника в комплексі з методами машинного навчання відкриває нові можливості для предиктивної діагностики та значно скорочує витрати на дослідно-конструкторські роботи при розробці нових двигунів.

Важливим напрямом є також стандартизація протоколів обміну діагностичними даними між виробниками автомобілів та незалежними

сервісними організаціями. Відкриті стандарти, такі як ODX (Open Diagnostic data eXchange, ISO 22901) та OTX (Open Test sequence eXchange, ISO 13209), забезпечують сумісність діагностичного обладнання різних виробників і сприяють розвитку конкурентного ринку технічного обслуговування. Широке впровадження цих стандартів у поєднанні з хмарними технологіями та штучним інтелектом формує підґрунтя для створення єдиних платформ діагностики транспортних засобів, що охоплюватимуть весь їх життєвий цикл.

Висновки

Автоматизація діагностики автомобільних двигунів є важливим напрямом розвитку сучасного автомобілебудування та сервісу. Як видно з таблиці 1, ШІ-діагностика демонструє найкращі показники за точністю, швидкістю та предиктивністю, тоді як OBD-II залишається найбільш доступним рішенням. Впровадження інтелектуальних діагностичних систем підвищує ефективність технічного обслуговування, знижує витрати та сприяє підвищенню безпеки дорожнього руху.

Література

1. Bosch Automotive Handbook. 10th edition. – Robert Bosch GmbH, 2022, 1624 p.

2. Осіпов О. Ю. Діагностування автомобільних двигунів методами машинного навчання. *Вісник НТУ «ХПІ»*, 2023, № 1, С. 45–52.

3. Шаповаленко О. М. Хмарні технології в системах дистанційної діагностики транспортних засобів. *Автомобільний транспорт*, 2022, № 51, С. 112–119.

4. ISO/SAE 21434:2021. Road vehicles – Cybersecurity engineering. – Geneva : ISO, 2021, 98 p.