

3. Li, H., Bin Kaleem, M., Liu, Z., Wu, Y., Liu, W., & Huang, Z. (2023). IoB: Internet-of-Batteries for Electric Vehicles—Architectures, Opportunities, and Challenges. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.geits.2023.100128>

4. Emodi, N. V., Akuru, U. B., Dioha, M. O., Adoba, P., Kuhudzai, R. J., & Bamisile, O. (2023). The Role of Internet of Things on Electric Vehicle Charging Infrastructure and Consumer Experience. *Energies*, 16(10), 4248. <https://doi.org/10.3390/en16104248>

*Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com)*

Нарижній Олег Анатолійович, студент групи АЕ-42-22  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

### **Вступ**

Стрімкий розвиток електромобільного транспорту є однією з найбільш характерних тенденцій сучасного етапу розвитку автомобільної галузі. Поширення електромобілів зумовлене необхідністю зниження викидів шкідливих речовин, підвищення енергоефективності транспортних засобів та переходу до більш екологічних видів транспорту. Водночас активне впровадження електромобілів ставить нові вимоги до їх технічного обслуговування, контролю стану та забезпечення надійної експлуатації. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання розвитку технічної діагностики електромобілів [1-3].

На відміну від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, електромобілі мають іншу структуру силової установки, що включає високовольтні акумуляторні батареї, тягові електродвигуни, силову електроніку, системи керування, рекуперативного гальмування та зарядну інфраструктуру. Така конструктивна специфіка обумовлює необхідність застосування нових підходів до оцінювання технічного стану транспортного засобу, виявлення несправностей та прогнозування відмов. Особливої уваги потребують діагностування стану акумуляторної батареї, контроль параметрів електричних і електронних компонентів, оцінювання працездатності систем терморегулювання та моніторинг режимів роботи тягового електроприводу [4].

Розвиток технічної діагностики електромобілів відбувається в умовах швидкого вдосконалення як самих транспортних засобів, так і цифрових технологій контролю, збору та обробки даних. У сучасних електромобілях дедалі ширше використовуються вбудовані системи самодіагностики, сенсорні мережі, телематичні засоби передавання інформації, алгоритми інтелектуального аналізу даних та елементи прогнозування діагностики. Це дає

змогу перейти від традиційного підходу, орієнтованого переважно на фіксацію вже наявних несправностей, до систем безперервного моніторингу та попереджувального виявлення деградаційних процесів [5-11].

Разом із тим розвиток технічної діагностики електромобілів супроводжується низкою проблем. До них належать відсутність уніфікованих підходів до оцінювання технічного стану окремих вузлів, складність діагностування високовольтних систем, необхідність адаптації діагностичного обладнання до нових типів транспортних засобів, а також потреба у підготовці фахівців, здатних працювати з електротехнічними, електронними та програмно-апаратними системами електромобілів. Усе це свідчить про необхідність наукового аналізу особливостей розвитку технічної діагностики електромобілів і визначення перспективних напрямів її подальшого вдосконалення.

Таким чином, дослідження особливостей розвитку технічної діагностики електромобілів є важливим як з наукової, так і з практичної точки зору, оскільки сприяє підвищенню надійності, безпеки та ефективності експлуатації електричного транспорту.

### **Загальні тенденції розвитку електромобілів**

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується активним упровадженням електромобілів як альтернативи традиційним транспортним засобам з двигунами внутрішнього згоряння. Це пов'язано з необхідністю зниження шкідливих викидів в атмосферу, підвищення енергоефективності транспортних систем, зменшення залежності від викопного палива та переходу до більш екологічних видів транспорту. Електромобілі дедалі ширше використовуються як у приватному, так і в комерційному секторі, що зумовлює потребу у вдосконаленні підходів до їх експлуатації, технічного обслуговування та діагностики [4-7, 10-17].

На відміну від звичайних автомобілів, електромобілі мають іншу архітектуру силової установки, рисунок 1. Основними елементами їхньої конструкції є тяговий електродвигун, високовольтна акумуляторна батарея, інвертор, система рекуперації енергії, зарядний пристрій, електронні блоки керування та система контролю стану батареї. Робота цих вузлів тісно пов'язана з використанням електронних систем керування, датчиків, програмного забезпечення та засобів цифрового моніторингу.

Зростання кількості електромобілів обумовлює необхідність створення нових підходів до оцінювання їх технічного стану. Якщо для автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння основна увага традиційно приділялася механічним несправностям двигуна, системи живлення, запалювання або вихлопу, то для електромобілів важливими стають контроль параметрів батареї, стану електронних систем, якості електричних з'єднань, роботи силової електроніки та програмних модулів керування.

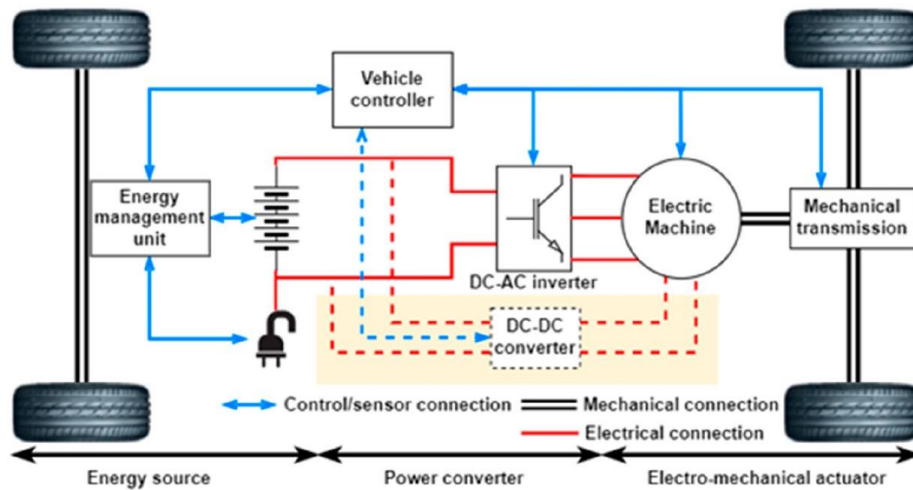


Рисунок.1 – Архітектура силової установки EV

Саме тому технічна діагностика електромобілів є одним із ключових напрямів розвитку сучасного автомобільного сервісу. Вона дозволяє не лише виявляти несправності, а й запобігати їх виникненню, прогнозувати ресурс основних вузлів і забезпечувати безпечну та ефективну експлуатацію транспортного засобу

### Поняття та значення технічної діагностики електромобілів

Технічна діагностика є сукупністю методів, засобів і процедур, спрямованих на визначення технічного стану об'єкта без його повного розбирання, а також на виявлення несправностей, відхилень від норми та оцінку працездатності окремих систем. У випадку електромобілів технічна діагностика набуває особливого значення через складність їхньої електронної та електротехнічної структури.

Діагностика електромобіля виконує кілька важливих функцій. По-перше, вона дозволяє оперативно виявити несправності в роботі високовольтної батареї, електродвигуна, силових перетворювачів і систем допоміжного живлення. По-друге, вона забезпечує контроль за роботою електронних блоків керування, які координують функціонування майже всіх основних систем транспортного засобу, рис. 2. По-третє, діагностика дозволяє визначати тенденції зміни параметрів та здійснювати профілактичне обслуговування до моменту виникнення серйозної відмови.

Особливість технічної діагностики електромобілів полягає в тому, що багато процесів у них неможливо оцінити лише візуально або за зовнішніми ознаками. Значна частина важливої інформації доступна лише через електронні інтерфейси та спеціалізовані програмні засоби. Саме тому цифрові сканери, діагностичні адаптери та програмне забезпечення стали невід'ємною частиною сучасного технічного контролю електромобілів [8-12].

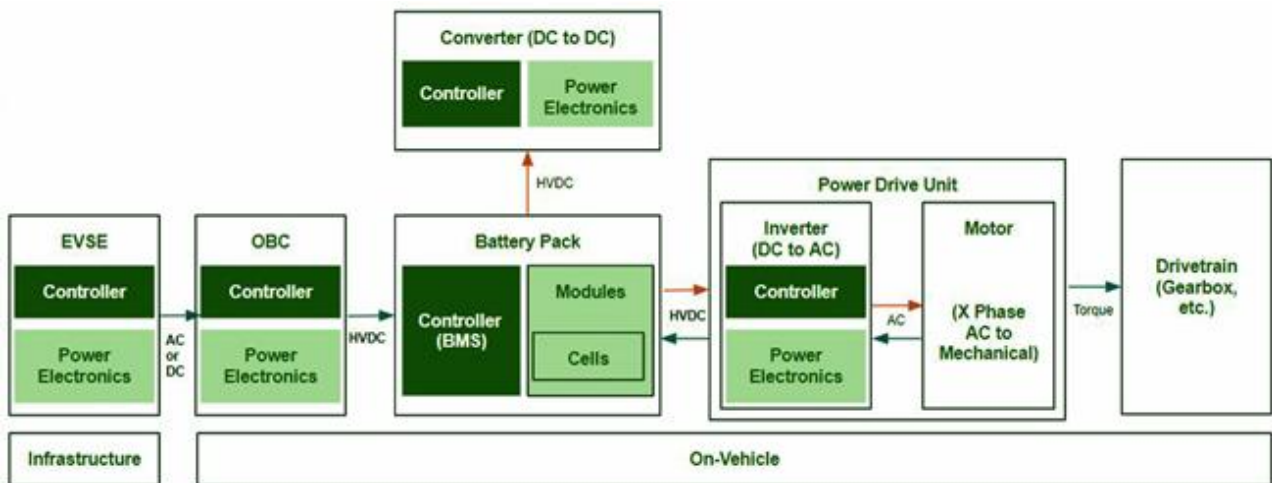


Рисунок 2 – Електронні блоки керування при діагностики EV

Крім того, своєчасна діагностика безпосередньо впливає на безпеку. Виявлення перегріву батареї, порушення балансу комірок, відхилень у параметрах заряджання або помилок у роботі електронних блоків дає змогу уникнути аварійних режимів, погіршення технічного стану та зниження експлуатаційних характеристик транспортного засобу, рис. 3.

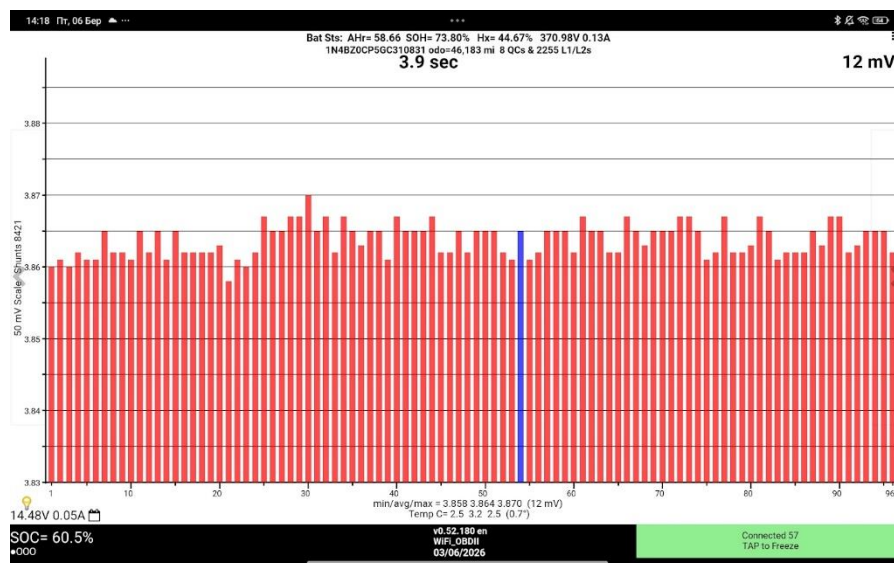


Рисунок 3 – Діагностика комірок високовольтної батареї електромобіля Nissan Leaf

### Основні об'єкти діагностики в електромобілях

На відміну від традиційних автомобілів, в електромобілях основними об'єктами технічної діагностики є електротехнічні, електронні та програмно-керовані системи. Кожна з них має свої особливості та потребує окремого підходу до контролю [18-24].

Одним із головних об'єктів діагностики є високовольтна акумуляторна батарея. Саме вона визначає запас ходу електромобіля, його енергоефективність та стабільність роботи. Під час діагностики батареї оцінюють рівень заряду, напругу окремих елементів, температуру, внутрішній

опір, ступінь деградації та стан балансування комірок. Будь-які відхилення цих параметрів можуть свідчити про зниження ресурсу батареї або виникнення потенційно небезпечних режимів роботи.

Наступним важливим об'єктом є тяговий електродвигун. Під час його діагностики контролюють режими навантаження, частоту обертання, температуру, електричні параметри, а також коректність взаємодії з інвертором та системою керування. Важливе значення має і діагностика силової електроніки, зокрема інверторів та перетворювачів, які забезпечують передачу й перетворення електричної енергії.

Окремої уваги потребує система керування батареєю (BMS), яка здійснює контроль заряду, температури, напруги елементів, балансування та захист від небезпечних режимів, рис. 4. Несправності в цій системі можуть призвести до некоректної роботи всієї високовольтної системи.

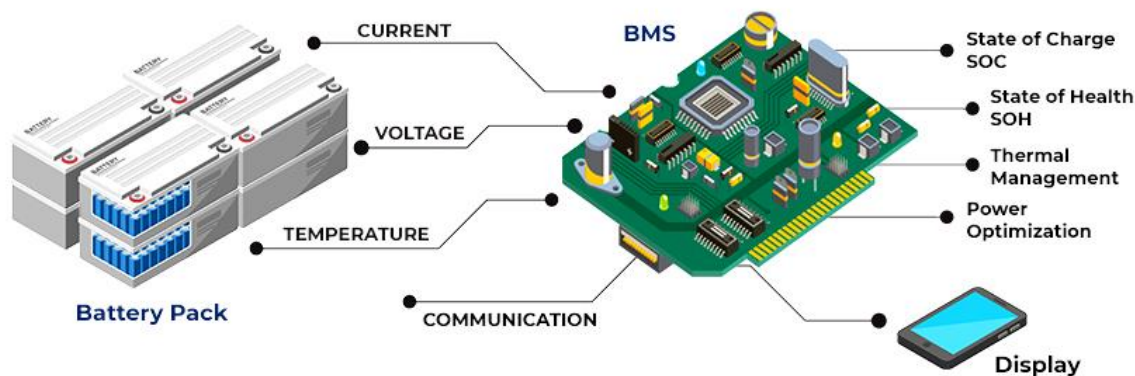


Рисунок 4 – Система керування акумуляторами (BMS) для EV

Також важливими об'єктами діагностики є:

- система заряджання;
- електронні блоки керування;
- система рекуперації енергії;
- низьковольтна бортова мережа;
- датчики температури, струму, напруги та положення;
- системи безпеки та допоміжні системи автомобіля.

Усі ці вузли працюють як єдиний комплекс, тому ефективна діагностика електромобіля повинна враховувати не лише стан окремих елементів, а й взаємозв'язки між ними.

### Етапи розвитку технічної діагностики транспортних засобів

Розвиток технічної діагностики транспортних засобів пройшов кілька послідовних етапів. На початковому етапі оцінювання технічного стану автомобілів базувалося переважно на зовнішніх ознаках несправностей, досвіді механіка, слуховому та візуальному контролю. Такий підхід був характерний для автомобілів з відносно простою конструкцією, де більшість несправностей мали механічний характер [25-27].

Подальший розвиток автомобільної техніки, поява електронних систем керування, датчиків і мікропроцесорних блоків призвели до переходу від традиційних методів контролю до інструментальної діагностики. З'явилися спеціалізовані тестери, осцилографи, сканери та інші прилади, що дозволяли зчитувати сигнали й коди несправностей.

Важливим етапом став розвиток бортової діагностики. Впровадження стандартів OBD та OBD2 створило можливість отримувати доступ до параметрів роботи основних систем через уніфікований діагностичний роз'єм, рис. 5. Це значно спростило процедуру пошуку несправностей і дало змогу автоматизувати частину діагностичних операцій.

У випадку електромобілів розвиток технічної діагностики вийшов на новий рівень. Основна увага змістилася з механічних вузлів на електронно-керовані системи. Діагностика стала більш цифровою, багаторівневою та програмно орієнтованою. Сучасні електромобілі генерують значну кількість даних про свій технічний стан, що відкриває можливість для моніторингу в реальному часі, прогнозування відмов і побудови інтелектуальних систем обслуговування.

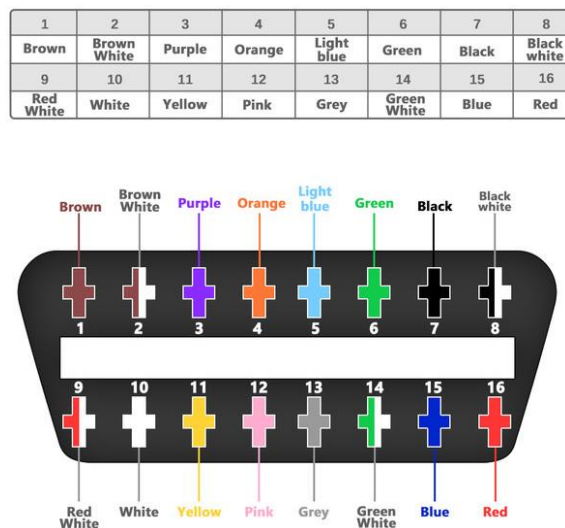


Рисунок 5 – Схема розпіновки OBD2 роз'єм 16 pin

Сьогодні технічна діагностика електромобілів розвивається у напрямі інтеграції мобільних застосунків, бездротових адаптерів, хмарних сервісів та систем аналітики. Це робить процес контролю більш доступним, оперативним і зручним як для професійних сервісних центрів, так і для користувачів транспортних засобів [29].

### Сучасні засоби діагностики електромобілів

Сучасні засоби діагностики електромобілів можна умовно поділити на кілька груп: стаціонарні сервісні комплекси, портативні діагностичні пристрої, універсальні OBD2-адаптери, спеціалізоване програмне забезпечення та мобільні застосунки.

Стационарні сервісні системи використовуються переважно на спеціалізованих станціях технічного обслуговування. Вони мають широкий набір функцій, високий рівень точності та доступ до розширених параметрів автомобіля. Однак такі комплекси є дорогими та потребують спеціальної підготовки персоналу.

Більш доступним рішенням є використання ELM327/ELM OBD2-сканерів (рис. 6), які підключаються до діагностичного роз'єму автомобіля та передають дані на смартфон, планшет або комп'ютер. У поєднанні з відповідним програмним забезпеченням такі адаптери дозволяють отримувати інформацію про помилки, параметри роботи систем та інші дані, доступні через бортову діагностику [29].



Рисунок 6 – ELM327/ELM OBD2-сканер

Серед програмних рішень важливе місце займає застосунок Car Scanner ELM OBD2, який забезпечує зчитування кодів несправностей, перегляд поточних параметрів у реальному часі, побудову графіків, збереження історії поїздок та оцінювання окремих показників роботи транспортного засобу. Для навчальних, дослідницьких і практичних цілей це є зручним інструментом, що поєднує простоту використання з достатньо широкими функціональними можливостями.

Разом із перевагами універсальні засоби діагностики мають і певні обмеження. Не всі параметри електромобіля можуть бути доступними через стандартний OBD2-інтерфейс, а набір зчитуваних даних часто залежить від марки, моделі та програмної реалізації електронних систем автомобіля. Тому результати діагностики за допомогою універсальних сканерів потребують правильного тлумачення та, за потреби, доповнення іншими методами контролю.

### **Використанням OBD2-сканерів в процесі діагностики електромобілів**

Застосування OBD2-сканерів у діагностиці електромобілів має свої специфічні особливості. Основною перевагою такого підходу є можливість

швидкого підключення до електронної системи автомобіля та отримання інформації без демонтажу вузлів. Це дозволяє значно скоротити час перевірки та підвищити ефективність виявлення несправностей.

За допомогою OBD2-сканера можна отримати доступ до кодів помилок, поточних параметрів датчиків, напруги, температури, стану заряджання, інформації про допоміжні системи та інших технічних характеристик, рис. 7.

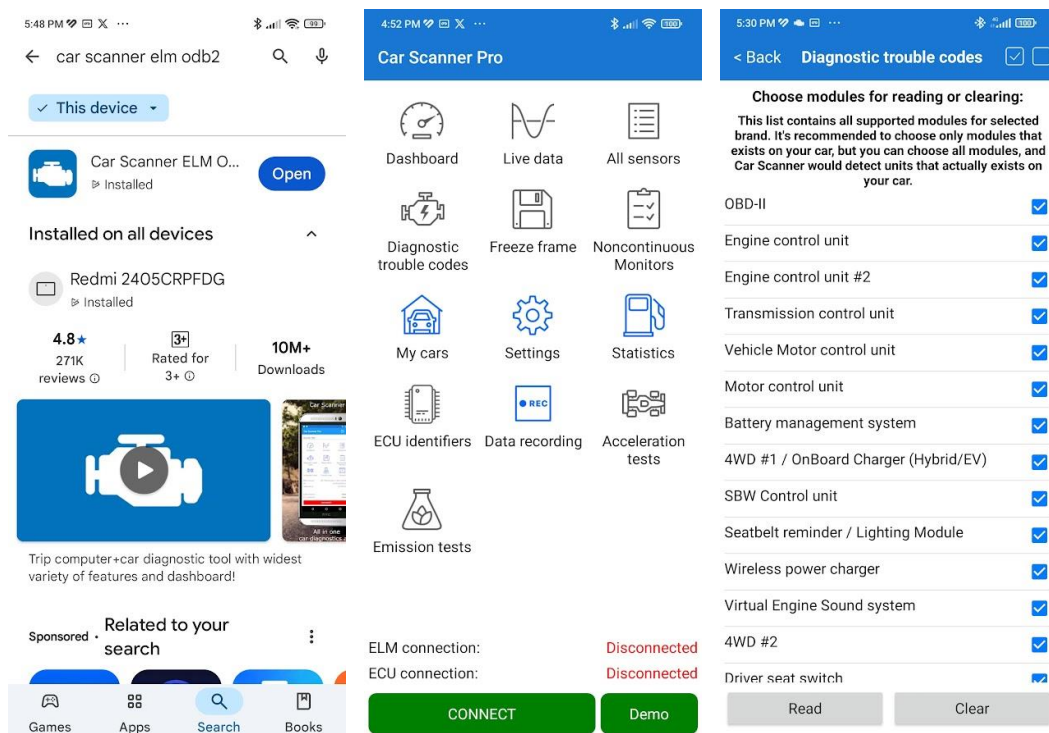


Рисунок 7 – Застосунок Car Scanner ELM OBD2

Для електромобілів особливо цінними є дані про стан батареї, роботу електроприводу, зарядний процес і функціонування систем контролю [22-26].

Проте діагностика електромобілів через OBD2 має й певні обмеження. Частина виробників обмежує доступ до окремих параметрів, або ж реалізує власні протоколи обміну даними. Це означає, що універсальний сканер може надати лише частину інформації. Крім того, сама наявність числових параметрів ще не гарантує правильної оцінки стану системи – необхідно вміти аналізувати дані, порівнювати їх із нормативними значеннями та враховувати умови експлуатації.

Ще однією особливістю є підвищені вимоги до безпеки. Оскільки електромобілі мають високовольтні системи, будь-які діагностичні процедури повинні виконуватися з дотриманням відповідних правил безпеки. Навіть якщо використовується лише програмне зчитування даних, фахівець повинен розуміти структуру системи й потенційні ризики при роботі з електромобілем.

Таким чином, OBD2-діагностика є перспективним і зручним способом первинного контролю технічного стану електромобілів, але її ефективність значною мірою залежить від правильного вибору засобів діагностики, рівня підготовки користувача та особливостей конкретного транспортного засобу.

## Висновки

Розглянуто особливості розвитку технічної діагностики електромобілів. Встановлено, що поширення електромобілів зумовлює необхідність удосконалення підходів до технічного контролю, оскільки їх конструкція суттєво відрізняється від конструкції традиційних автомобілів і містить значну кількість електронних та електротехнічних систем.

Показано, що технічна діагностика електромобілів має важливе значення для забезпечення надійності, безпеки та ефективності їх експлуатації. Основними об'єктами діагностики є високовольтна батарея, електродвигун, система керування батареєю, силова електроніка, система заряджання та електронні блоки керування.

Визначено, що сучасний розвиток діагностики пов'язаний із широким використанням цифрових технологій, бортових систем контролю, універсальних OBD2-сканерів і спеціалізованого програмного забезпечення. Особливу увагу приділено можливостям застосування сканерів типу ELM OBD2 та програмного засобу Car Scanner для отримання діагностичної інформації про стан електромобіля.

Отже, технічна діагностика електромобілів є важливим напрямом сучасної автомобільної галузі, а використання доступних цифрових інструментів створює передумови для підвищення якості контролю технічного стану транспортних засобів та розвитку сучасних методів обслуговування

## Література

1. Гнатов А. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 2 / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун // - Харків : Вісник ХНАДУ. – 2017. – № 78. – С. 116–124.
2. Гнатов А. В. Ретроспектива основних етапів розвитку електромобілів. Частина 1 / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун // Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університета. - Харків : ХНАДУ, 2017. – №. 77. – С. 68–74.
3. Гнатов, А. В. Енергозберігаючі технології на транспорті : конспект лекцій [Електронний ресурс] / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. - Харків, 2021. - 142 с.
4. Гнатов, А., Аргун, Щ., Ульянець, О., & Іванов, В. (2025). Особливості діагностики Hyundai Kona electric з використання мультимарочного сканеру LAUNCH X-431 PRO 3S. Автомобільний транспорт, (57), 11-22.
5. Kuņicina, N., Zabašta, A., Romānovs, A., Pečerska, J., Ribickis, L., Hnatov, A., Shchasiāna, A., Dziubenko, O., Rudenko, N., Borodenko, Y., Danylenko, K., Morkun, N., Zavsiehdashnia, I., Sistuk, V., Monastyrskyi, Y., Ruban, S., Tron, V., Peuteman, J.: підручник/ Cyber-Physical Systems for Clean Transportation. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 366 p. ISBN 978-9934-22-676-2.
6. Теорія електроприводу транспортних засобів: підручник / [А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, І.С. Трунова]. – Х.: ХНАДУ, 2016 – 292 с.
7. Гнатов, А. В. Теорія електроприводу : конспект лекцій [Електронний ресурс] / А. В. Гнатов ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. -

- Харків, 2020. - 144 с. Ч. 1 : Механічні характеристики електропривода постійного та змінного струму.
8. Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Гнатов Г. А., Сохін П. А. Переобладнання автомобіля з ДВЗ в електромобіль. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 21. – С. 22-30.
  9. Arhun, S., Borodenko, Y., Hnatov, A., Popova, A., Hnatova, H., Kunicina, N., ... & Ribickis, L. (2020). Choice of parameters for the electrodrive diagnostic system of hybrid vehicle traction. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 57(4), 3-11.
  10. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Ponikarovska, S., Hnatova, H., & Novichonok, S. (2020). Determining the Quality of Electric Motors by Vibro-Diagnostic Characteristics. *EAI Endorsed Trans. Energy Web*, 7(29), e6.
  11. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Hnatova, H., & Ulyanets, O. (2020). System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. *EAI Endorsed Transactions on the Energy Web*, 7(26).
  12. Zabasta, A., Peuteman, J., Kunicina, N., Kazymyr, V., Hvesenya, S., Hnatov, A., ... & Ribickis, L. (2020). Research on cross-domain study curricula in cyber-physical systems: A case study of Belarusian and Ukrainian Universities. *Education Sciences*, 10(10), 282.
  13. Patlins, A., Hnatov, A., Kunicina, N., Arhun, S., Zabasta, A., & Ribickis, L. (2018, July). Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy. In *2018 Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)* (pp. 1-2). IEEE.
  14. Arhun, S., Hnatov, A., Hnatova, H., Patlins, A., & Kunicina, N. (2020, November). Problems that have arisen in universities in connection with COVID-19 on the example of the Double Degree Master's Program “Electric Vehicles and Energy-Saving Technologies”. In *2020 IEEE 61th international scientific conference on power and electrical engineering of Riga Technical university (RTUCON)* (pp. 1-6). IEEE.
  15. Аргун Щ.В. Екологічний та енергоефективний атомобільний транспорті його інфраструктура / Щ. В. Аргун, А. В. Гнатов, О.А. Ульянец // Вісник Житомирського державного технологічного університету. 2016. № 2 (77). С. 18–27.
  16. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., & Saraiev, O. (2022, May). Features of converting a car with an internal combustion engine into an electric car. In *2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON)* (pp. 1-6). IEEE.
  17. Borodenko, Y., Ribickis, L., Zabasta, A., Arhun, S., Kunicina, N., Zhiravetska, A., ... & Kunicins, K. (2020). Using the method of the spectral analysis in diagnostics of electrical process of propulsion systems power supply in electric car. *Przeglad Elektrotechniczny*, 96(10), 47-50.
  18. Гнатов А. В. Електромобілі – майбутнє, яке вже настало / А. В. Гнатов, Щ. В. Аргун, О. А. Ульянец // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – Х.: ХНАДУ, 2017. – № 11. – С. 24-28.

19. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Patlins, A. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink //2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). – IEEE, 2019. – С. 1-6.
20. Trunova, I., Arhun, S., Hnatov, A., Apse-Apsitis, P., Kunicina, N., & Myhal, V. (2023). Sustainable approach development for education of electrical engineers in Long-Term online education conditions. *Sustainability*, 15(18), 13289.
21. Borodenko Y. M., Hnatov A. V., Arhun S. V., Sokhin P. A. (2023) Energy aspects of automobile transport development. *Automobile Transport*, (53). P.37-50.
22. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S. Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways. In: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference, Lithuania, Trakai, 3-5 October, 2018*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2018, pp.574-579.
23. Technical and economic calculation of a solar-powered charging station for electric vehicles. *Автомобільний транспорт*, Вип. 49, 2021, С. 71-78.
24. Мигаль, В. Д., Аргун, Щ. В., Гнатов, А. В., Гнатова, Г. А., & Сохін, П. А. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. 72–80.
25. Gnatov, A., Argun, S., & Ulyanets, O. (2017, May). Joint innovative double degree master program «Energy-saving technologies in transport». In *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 1203-1207). IEEE.
26. Gnatov, A., Argun, S., & Rudenko, N. (2017, May). Smart road as a complex system of electric power generation. In *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 457-461). IEEE.
27. Hnatov, A., Patlins, A., Arhun, S., Kunicina, N., Hnatova, H., Ulyanets, O., & Romanovs, A. (2020, September). Development of an unified energy-efficient system for urban transport. In *2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)* (pp. 248-253). IEEE.
28. Migal, V., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., & Ponikarovska, S. (2019). Substantiating the criteria for assessing the quality of asynchronous traction electric motors in electric vehicles and hybrid cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 36(10), 989-999.
29. Hnatov, A., Arhun, S., Ulyanets, O., & Ponikarovska, S. (2018, April). Ultracapacitors electrobus for urban transport. In *2018 IEEE 38th international conference on electronics and nanotechnology (ELNANO)* (pp. 539-543). IEEE.
30. Leontiev D., Klymenko V., Frolov A. (2025). Regarding the efficiency of using solar panels of low power to obtain maximum charging current for batteries vehicle. *AIP Conf. Proc.* 3238 (1): 050009. <https://doi.org/10.1063/5.0248928>
31. Дзюбенко, О. А., Двадненко, В. Я., Леонтьєв, Д. М., & Михалевич, М. Г. (2025). *Спосіб реалізації технології м'якого гібриду на колісному транспортному засобі* (Патент України № 158154, МПК В60W 10/20). Український інститут інтелектуальної власності.

*Науковий консультант: Улянець О.А., ас. каф. Автомобільної електроніки.*