

Практична методика інтерпретації діагностичних параметрів електромобіля за допомогою мобільного додатку Car Scanner ELM OBD-II

Гнатів А.¹, Аргун Ш.^{1,2}, Сохін П.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

²University College London, United Kingdom

Надійшла: 16.02.2026. Прийнято: 04.05.2026. Опубліковано: 08.05.2026. Відкритий доступ: CC BY 4.0.

Анотація. Запропоновано практичну методику інтерпретації діагностичних параметрів електромобіля (EV), отриманих за допомогою мобільного застосунку Car Scanner ELM OBD-II та адаптера ELM327. Методика орієнтована на первинну оцінку стану високовольтної АКБ та окремих особливостей експлуатації EV на основі комплексного аналізу параметрів заряджання, енергоспоживання, рекуперації, напруг комірок, накопиченої енергії та службових показників. Апробацію методики виконано на EV Hyundai Kona Electric. У результаті встановлено, що стан високовольтної батареї є загалом добрим: за значенням SOH = 97,3 % її залишкова ємність становить близько 62,3 кВт·год, а різниця між мінімальною та максимальною напругою комірок не має ознак критичного розбалансування. Визначено, що частка енергії, отриманої за рахунок рекуперативного гальмування, становить 25,7 % від загального енергетичного балансу. Також виявлено невідповідність між накопиченою енергією та показником одометра, що дало змогу встановити непрямі ознаки заміни високовольтної АКБ. Показано, що застосування Car Scanner ELM OBD-II у поєднанні із запропонованою методикою дозволяє використовувати доступні мобільні засоби не лише для зчитування параметрів, а й для практичної первинної діагностики EV в реальних умовах експлуатації.

Ключові слова: діагностика електромобіля; OBD-II; Car Scanner ELM OBD-II; високовольтна акумуляторна батарея; первинна діагностика; технічний стан; рекуперація енергії; інтерпретація діагностичних параметрів.

Вступ

Стрімке поширення електромобілів (EV) у сучасній транспортній системі зумовлює потребу в удосконаленні підходів до їх технічного обслуговування та контролю технічного стану. На відміну від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, електромобілі мають високовольтну акумуляторну батарею, електропривод, силову електроніку, системи керування заряджанням і значну кількість електронних блоків, робота яких потребує постійного моніторингу [1]. Тому технічна діагностика електромобілів має важливе значення для забезпечення їх надійної, безпечної та ефективної експлуатації.

Актуальність дослідження пов'язана з тим, що сучасна експлуатація EV потребує доступних, оперативних і достатньо інформативних засобів діагностики, які дають змогу швидко отримувати відомості про стан основних систем транспортного засобу без використання складного сервісного обладнання. Одним із таких рішень є застосування OBD-II-адаптерів у поєднанні з мобільними застосунками, зокрема Car Scanner ELM OBD-II. Цей застосунок дає змогу зчитувати коди несправностей, контролювати поточні параметри автомобіля в режимі реального часу, аналізувати роботу окремих систем і виконувати первинну оцінку технічного стану електромобіля. Практичний інтерес до такого підходу

пояснюється його доступністю, простотою використання та можливістю застосування не лише в сервісних умовах, а й у навчальній і дослідницькій роботі.

Разом із тим практичне використання мобільних діагностичних застосунків для EV ще потребує детальнішого опрацювання, оскільки обсяг доступних параметрів, інформативність отриманих даних і точність оцінки технічного стану можуть залежати як від особливостей самого транспортного засобу, так і від характеристик програмно-апаратного комплексу. Крім того, важливо не лише отримати діагностичні параметри, а й правильно їх обробити та інтерпретувати, щоб сформувані обґрунтовані висновки щодо стану електромобіля.

У попередньому дослідженні авторів [2] було показано можливість використання мобільного застосунку Car Scanner ELM OBD-II для зчитування діагностичних параметрів Hyundai Kona Electric. Разом із тим питання систематизації, обробки та інтерпретації таких даних для первинної оцінки технічного стану електромобіля потребують подальшого опрацювання. Тому в цій роботі запропоновано методика інтерпретації діагностичних параметрів, отриманих за допомогою Car Scanner ELM OBD-II, для практичної оцінки стану високовольтної акумуляторної батареї та окремих особливостей експлуатації EV.

Аналіз публікацій

У сучасних дослідженнях діагностика EV розглядається як комплексне завдання, що охоплює контроль стану високовольтної акумуляторної батареї, зарядної системи, електроприводу, датчиків і електронних блоків керування. На відміну від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, для EV найбільше значення має саме стан тягової батареї, оскільки від нього залежать запас ходу, енергоефективність, надійність і безпечність експлуатації. Одним із найбільш доступних джерел інформації про технічний стан EV є інтерфейс OBD-II у поєднанні з CAN-шиною [2–4].

У роботах, присвячених використанню OBD-II разом зі смартфоном і адаптером ELM327, показано, що такий підхід є зручним і відносно недорогим способом зчитування параметрів автомобіля в реальному часі. Ще в ранніх дослідженнях було підтверджено, що OBD-II та мобільні пристрої можна ефективно використовувати для збору, передавання і візуалізації експлуатаційних даних

транспортних засобів [5]. Згодом цей напрям розвинувся завдяки мобільним застосункам, зокрема Car Scanner ELM OBD-II, які дозволяють контролювати параметри батареї, енергоспоживання, рекуперацію та коди несправностей EV [2, 3]. Це показує, що мобільна діагностика корисна не лише для сервісного обслуговування, а й для повсякденного контролю стану електромобіля. Водночас у більшості таких робіт основну увагу приділено саме зчитуванню та відображенню параметрів, тоді як питання їх практичної інтерпретації для первинної оцінки технічного стану EV розкрито недостатньо.

Окремі дослідження показують, що OBD-II/CAN-дані можна використовувати і для аналізу процесів заряджання. Зокрема, у роботі [6] експериментально підтверджено можливість оцінювання характеристик onboard charger та ефективності smart charging на основі бортових діагностичних даних. Це розширює можливості практичної діагностики EV, оскільки дозволяє аналізувати не лише поточний стан окремих систем, а й особливості роботи зарядної підсистеми. Проте такі дослідження зазвичай стосуються окремих режимів або окремих вузлів і не дають простого прикладного підходу до загальної первинної діагностики електромобіля.

Найбільше сучасних праць присвячено діагностиці високовольтної літій-іонної батареї. У літературі зазначається, що основними діагностичними показниками є SOC і SOH, які характеризують доступну ємність, ступінь деградації, ресурс і надійність батареї [7–12]. Водночас оглядові роботи показують, що онлайн-оцінювання цих параметрів є складним через нелінійність електрохімічних процесів, вплив температури, режимів заряджання-розряджання та старіння [8, 9, 11]. Саме тому значна частина досліджень спрямована на розробку нових моделей, алгоритмів і способів інтерпретації експлуатаційних даних. Однак багато з таких підходів є досить складними з практичної точки зору і потребують великого обсягу даних, тому їх не завжди зручно використовувати для швидкої первинної діагностики.

Окремий інтерес становлять роботи, у яких методи лабораторної батарейної діагностики адаптуються до реальних умов експлуатації автомобіля. Так, у дослідженні [7] показано можливість використання аналізу диференціальної напруги та аналізу додаткової потужності під час звичайного заряджання EV без демонтажу батарейного пакета. У роботі [12]

діагностичні дані автомобіля поєднано з цифровим двійником для оцінювання стану батареї. Такі підходи показують перехід від суто лабораторного аналізу до більш практичної експлуатаційної діагностики. Проте вони все одно потребують додаткової обробки, спеціальних моделей або ширшого набору даних, тому для швидкої перевірки в реальних умовах залишаються не завжди зручними.

У літературі також підкреслюється, що достовірність OBD-II/CAN-діагностики залежить від точності та повноти даних, які передаються через комунікаційну мережу автомобіля. У роботі [4] показано, що параметри батареї, отримані через CAN-шину, є цінними для безконтактного моніторингу, однак можуть не повністю відповідати реальним фізичним величинам через особливості роботи електронних блоків керування. Це означає, що сам факт зчитування параметрів ще не гарантує правильного діагностичного висновку. Отже, такі дані мають практичну цінність, але потребують правильної обробки та інтерпретації.

Окремий напрям становлять дослідження, пов'язані з виявленням аномальних і потенційно небезпечних станів батареї. У роботах [13, 14] запропоновано підходи до виявлення аномалій напруги та діагностики аномальної зарядної ємності на основі експлуатаційних даних EV. Це підтверджує, що сучасна діагностика електромобіля має бути орієнтована не лише на фіксацію поточного стану, а й на раннє виявлення відхилень, які можуть призводити до прискореного старіння батареї або аварійних режимів. Разом із тим такі підходи зазвичай спрямовані на виявлення вже помітних аномалій і меншою мірою підходять для загальної первинної оцінки стану EV за обмеженим набором доступних параметрів.

Крім батарейної діагностики, у наукових публікаціях розглядаються питання надійності датчиків, силової електроніки та тягового електроприводу. Зокрема, у роботі [15] запропоновано метод діагностики відмов сенсорів батарейного пакета, а в роботі [16] узагальнено підходи до діагностики несправностей у системах керування автомобільними електроприводами. Це розширює уявлення про діагностику EV як про комплексну задачу, що охоплює не лише батарею, а й інші важливі підсистеми. Проте такі роботи зазвичай стосуються окремих вузлів або окремих типів несправностей і не дають простого інтегрованого підходу до первинної оцінки технічного стану електромобіля в цілому.

У сучасних оглядових роботах [17, 18] видно активний розвиток інтелектуальних методів *fault detection and diagnosis*, заснованих на *model-based*, *signal-based*, *data-driven* та *hybrid*-підходах. Хоча такі методи мають великий потенціал, їх практичне використання часто потребує великих масивів даних, попереднього навчання моделей, складнішої обробки сигналів і спеціалізованого програмного забезпечення. Тому для умов первинної практичної діагностики, особливо поза спеціалізованим сервісом, залишається потреба у простих, доступних і відтворюваних підходах.

Таким чином, аналіз публікацій показує, що сучасні дослідження у сфері діагностики EV розвиваються за кількома основними напрямками: використання OBD-II/CAN-даних для моніторингу параметрів електромобіля [2–6], оцінювання стану високовольтної батареї [7–12], виявлення аномалій і безпекових ризиків [13,14], а також діагностика датчиків, електроприводу та систем керування [15, 16, 18]. Водночас аналіз джерел показує, що, попри велику кількість досліджень у цій сфері, питання практичної обробки та інтерпретації параметрів, отриманих за допомогою доступних мобільних діагностичних застосунків, висвітлені недостатньо. Особливо це стосується створення простої методики первинної оцінки технічного стану EV, яку можна було б використовувати в реальних умовах експлуатації без складного сервісного обладнання або спеціалізованих аналітичних систем. Саме тому актуальним є розроблення методики, яка дає змогу на основі даних *Car Scanner ELM OBD-II* та адаптера *ELM327* виконувати первинну оцінку технічного стану електромобіля в реальних умовах експлуатації.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є розробка та апробація практичної методики інтерпретації діагностичних параметрів електромобіля, отриманих за допомогою *Car Scanner ELM OBD-II*, для первинної оцінки стану високовольтної акумуляторної батареї та особливостей експлуатації EV.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасні підходи до діагностики EV на основі OBD-II/CAN-даних;
- визначити перелік найбільш інформативних параметрів, доступних у *Car Scanner ELM OBD-II*;

- виконати зчитування та систематизацію діагностичних параметрів Hyundai Kona Electric;
- розробити послідовність інтерпретації отриманих параметрів для оцінки стану високовольтної АКБ та особливостей експлуатації EV;
- апробувати запропоновану методику на реальному об'єкті дослідження.

Інформаційні можливості Car Scanner ELM OBD-II у діагностиці електромобіля

Особливості використання OBD-II та ELM327 для діагностики електромобіля

Для первинної діагностики електромобілів одним із найбільш доступних підходів є використання інтерфейсу OBD-II у поєднанні з адаптером ELM327 та мобільним застосунком Car Scanner ELM OBD-II. Такий підхід дає змогу зчитувати коди несправностей, отримувати поточні параметри окремих систем і виконувати моніторинг їх роботи в режимі реального часу.

У випадку EV можливості OBD-II мають певні особливості. Склад доступних параметрів залежить від марки, моделі та програмної архітектури транспортного засобу. Частина спеціалізованих параметрів, пов'язаних із високовольтною батареєю, зарядною системою або тяговим інвертором, може бути доступною лише частково. Тому універсальні адаптери типу ELM327 слід розглядати як засіб саме первинної діагностики, а не повну заміну професійного дилерського обладнання.

Діагностичні можливості Car Scanner ELM OBD-II

Car Scanner ELM OBD-II є мобільним застосунком, що працює у поєднанні з адаптерами типу ELM327 і дозволяє отримувати діагностичну інформацію у зручному для аналізу вигляді. До його основних можливостей належать зчитування та розшифрування кодів несправностей, перегляд поточних параметрів роботи автомобіля, моніторинг окремих показників у реальному часі, відображення даних у вигляді числових значень, графіків і віртуальних панелей приладів, а також запис історії поїздок і окремих параметрів.

Для електромобілів цей застосунок є цінним тим, що дозволяє контролювати параметри, пов'язані з роботою високовольтної акумуляторної батареї, системи заряджання, електроприводу та допоміжної електроніки. Разом із тим інформативність отриманих даних визначається не лише можливостями

застосунку, а й доступністю відповідних параметрів у конкретному транспортному засобі.

Інформативні параметри для первинної оцінки технічного стану електромобіля

Під час використання Car Scanner ELM OBD-II для первинної діагностики EV найбільший інтерес становлять параметри, які характеризують стан високовольтної батареї та режими експлуатації автомобіля. До них належать рівень заряду батареї (SOC), стан здоров'я батареї (SOH), напруга батареї та окремих комірок, температурні показники, струм заряджання і розряджання, накопичена енергія заряду та розряду, кількість і тип зарядних сесій, показники рекуперації, а також коди несправностей.

Діагностичне значення мають не лише окремі абсолютні значення цих параметрів, а й їх взаємозв'язок. Наприклад, оцінка стану високовольтної батареї потребує комплексного аналізу SOC, SOH, енергетичних показників, температурного режиму та параметрів комірок. Саме тому результати, отримані за допомогою мобільного застосунку, повинні не просто фіксуватися, а систематизуватися та інтерпретуватися з урахуванням їх діагностичної цінності.

Методика обробки та інтерпретації діагностичних параметрів

Запропонована методика призначена для первинної оцінки технічного стану електромобіля на основі параметрів, отриманих за допомогою мобільного застосунку Car Scanner ELM OBD-II та адаптера ELM327. Її особливістю є те, що вона орієнтована не лише на зчитування окремих показників, а на їх послідовну обробку, зіставлення та інтерпретацію. Такий підхід дозволяє перейти від простого перегляду діагностичних даних до формування практично обґрунтованих висновків щодо стану високовольтної акумуляторної батареї та окремих особливостей експлуатації електромобіля.

Методика включає кілька послідовних етапів. На першому етапі виконується підключення адаптера ELM327 до діагностичного роз'єму OBD-II автомобіля та встановлення зв'язку з мобільним пристроєм, на якому встановлено застосунок Car Scanner ELM OBD-II. Після цього в застосунку обирається відповідний профіль транспортного засобу та ініціюється сеанс зчитування діагностичних даних.

На другому етапі формується перелік

параметрів, які мають найбільшу діагностичну цінність для оцінки стану EV. У межах даної роботи до таких параметрів віднесено рівень заряду високовольтної акумуляторної батареї, стан її здоров'я, напругу батареї та окремих комірок, струм заряджання та розряджання, накопичену енергію заряду і розряду, кількість та тип зарядних сесій, температурні показники, параметри рекуперації, загальний час роботи високовольтної АКБ, показники одометра та наявність кодів несправностей.

На третьому етапі виконується систематизація отриманих даних. Для цього параметри доцільно розділити на кілька основних груп:

- параметри стану високовольтної АКБ;
- параметри заряджання та розряджання;
- енергетичні параметри;
- температурні параметри;
- службові та допоміжні параметри.

Такий поділ спрощує подальший аналіз і дозволяє розглядати отримані дані не ізольовано, а як взаємопов'язану систему показників.

На четвертому етапі здійснюється оцінка стану високовольтної акумуляторної батареї. Основними показниками на цьому етапі є SOH, напруга батареї, різниця між мінімальною та максимальною напругою комірок, температурний стан і накопичені енергетичні параметри. Значення SOH дозволяє виконати орієнтовну оцінку залишкової ємності батареї, а аналіз напруг комірок і температури дає змогу судити про рівномірність роботи батарейного пакета та відсутність явних відхилень у його стані.

На п'ятому етапі аналізуються параметри заряджання. Для цього враховуються загальна кількість отриманої енергії, окремо енергія, отримана під час AC- і DC-заряджання, а також кількість відповідних зарядних сесій. На основі цих даних можна оцінити структуру використання зарядної підсистеми, визначити середню енергію, що отримується за одну сесію, та зробити попередні висновки щодо режимів експлуатації автомобіля.

На шостому етапі оцінюється рекуперативна складова енергетичного балансу. Для цього визначається різниця між загальною накопиченою енергією заряду та сумою енергії, отриманої від AC- і DC-заряджання. Отримане значення дозволяє оцінити внесок рекуперативного гальмування в загальний енергетичний баланс EV. Такий показник не дає абсолютно точного опису режиму експлуатації, проте може використовуватися як додаткова ознака під час аналізу характеру використання EV.

На сьомому етапі виконується перевірка

узгодженості діагностичних параметрів. Для цього зіставляються між собою накопичена енергія, пробіг автомобіля, середнє енергоспоживання, загальний час роботи високовольтної АКБ та інші пов'язані показники. Такий аналіз дозволяє виявити можливі невідповідності між окремими параметрами, що може свідчити про особливості попередньої експлуатації автомобіля, зміну окремих вузлів або відмінності в історії накопичення даних у системах керування.

На завершальному етапі формується підсумковий діагностичний висновок. Він має ґрунтуватися не на окремому параметрі, а на їх сукупності. Такий висновок може містити оцінку поточного стану високовольтної АКБ, характеристику режимів заряджання, наявність або відсутність явних ознак відхилень у роботі окремих систем, а також попередні висновки щодо особливостей експлуатації EV.

Разом із тим запропоновану методику слід розглядати саме як інструмент первинної діагностичної оцінки. Її результати залежать від переліку параметрів, доступних у конкретній моделі електромобіля, точності даних, які передаються через BMS/OBD-II, правильності вибору профілю транспортного засобу в застосунку Car Scanner ELM OBD-II, а також якості та стабільності роботи адаптера ELM327. Тому отримані результати доцільно використовувати для попереднього аналізу технічного стану EV, виявлення можливих невідповідностей і формування підстав для подальшої поглибленої перевірки.

Отже, запропонована методика дозволяє систематизувати та інтерпретувати параметри, отримані за допомогою Car Scanner ELM OBD-II, і використовувати їх для первинної оцінки технічного стану електромобіля в реальних умовах експлуатації. Її перевагою є практична доступність, відносна простота застосування та можливість використання без складного спеціалізованого обладнання. Водночас вона не замінює повну професійну сервісну або дилерську діагностику, а доповнює її на етапі попередньої оцінки стану EV.

Результати застосування запропонованої методики для оцінки технічного стану Hyundai Kona Electric

Для апробації запропонованої методики було використано електромобіль Hyundai Kona Electric. Зчитування діагностичних параметрів здійснювалося за допомогою мобільного застосунку Car Scanner ELM OBD-II та

адаптера ELM327. У межах дослідження було отримано сукупність параметрів, що характеризують стан високовольтної акумуляторної батареї, особливості заряджання, енергетичні показники, параметри комірок, а також окремі службові величини, необхідні для подальшої інтерпретації.

На рис. 3 наведено приклад екранів меню «Панель приладів» застосунку Car Scanner ELM OBD-II, що використовувалися під час

діагностики Hyundai Kona Electric. Застосунок дає змогу формувати окремі екрани для спостереження за вибраними групами параметрів, змінювати спосіб їх відображення та контролювати показники в режимі реального часу. Такий підхід є зручним для первинної діагностики, оскільки дозволяє одночасно аналізувати параметри, що належать до різних функціональних підсистем EV.



Рис. 3. Екрани меню «Панель приладів» застосунку Car Scanner ELM OBD-II під час діагностики Hyundai Kona Electric

Згідно з отриманими даними, на момент дослідження рівень заряду високовольтної АКБ за BMS становив 86,6 %, тоді як значення SOC, відображене на панелі приладів автомобіля, дорівнювало 89 %. Напруга високовольтної батареї становила 396,1 В, а струм заряду/розряду – 1 А. Потужність миттєвого споживання енергії на момент зчитування дорівнювала 0,54 кВт. Температура високовольтної батареї перебувала в межах від 4 до 5 °С. Додатково було зафіксовано параметри 12-вольтової батареї: SOC – 51 %, напруга – 14,6 В. Температура в салоні автомобіля становила 7 °С, а температура зовнішнього середовища – 4,5 °С.

У межах запропонованої методики одним із ключових етапів є оцінка стану високовольтної акумуляторної батареї. Для цього першочергово аналізуються значення SOH, накопиченої енергії, параметри комірок і загальний час роботи АКБ. За даними діагностики встановлено, що стан здоров'я високовольтної батареї становить SOH = 97,3 %. Загальна кількість енергії, отриманої при швидкій зарядці, становила $E_{fast} = 2278$ кВт·год, при повільній зарядці – $E_{slow} = 3609$ кВт·год. Загальна кількість енергії, отриманої під час заряджання, дорівнювала $E_{total} = 7923,3$ кВт·год, а загальна кількість енергії, відданої під час розряду, –

$E_{dis} = 7373,2$ кВт·год.

Кількість сесій швидких заряджання становила $N_{fast} = 107$, а повільних – $N_{slow} = 167$. Загальний час роботи високовольтної АКБ дорівнював $T_{total} = 27936927$ с, або 7760,26 год. Накопичена ємність заряду становила $Q_{ch} = 21261,5$ А·год, а накопичена ємність розряду – $Q_{dis} = 20580,9$ А·год. Показчик одометра на момент дослідження становив 161545 км.

Окремо були проаналізовані параметри комірок високовольтної АКБ. Мінімальна напруга комірок становила $U_{min} = 4,02$ В, максимальна – $U_{max} = 4,04$ В, а різниця між ними дорівнювала $\Delta U = 0,02$ В. Кількість комірок із мінімальною напругою становила 79, із максимальною – 26. Мінімальна напруга була зафіксована для комірки № 60, а максимальна – для комірки № 31. Також було визначено напругу конденсаторів інвертора $U_{cap} = 395$ В та опір ізоляції $R_{iso} = 3000$ кОм. Сукупність цих параметрів свідчить про загалом рівномірний стан батарейного пакета та відсутність явних ознак критичного розбалансування комірок.

Наступним етапом методики є оцінка залишкової ємності високовольтної АКБ на основі значення SOH. Для цього використано співвідношення:

$$Q_{rem} = Q_{nom} - \frac{Q_{nom} \cdot D}{100},$$

де Q_{rem} – залишкова ємність високовольтної АКБ; Q_{nom} – номінальна ємність високовольтної АКБ; D – рівень деградації батареї, %.

Для Hyundai Kona Electric номінальна ємність батареї становить 64 кВт·год, а рівень деградації за значенням SOH = 97,3 % дорівнює 2,7 %. Тоді:

$$Q_{rem} = 64 - \frac{64 \cdot 2,7}{100} = 62,272 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отримане значення показує, що на момент дослідження високовольтна АКБ зберігала близько 62,3 кВт·год доступної ємності, що свідчить про її добрий технічний стан.

Важливою частиною методики є аналіз параметрів заряджання. Для цього визначається середня кількість енергії, яку автомобіль отримував за одну зарядну сесію:

$$E_{avg} = \frac{E_{total}}{N},$$

де E_{avg} – середня кількість отриманої енергії за одну зарядну сесію; E_{total} – загальна кількість отриманої енергії; N – кількість зарядних сесій.

Для швидкого заряджання:

$$E_{avg,fast} = \frac{2278}{107} = 21,29 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Для повільного заряджання:

$$E_{avg,slow} = \frac{3609}{167} = 21,61 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Отримані значення є близькими між собою, що свідчить про приблизно співрозмірний середній енергетичний вклад однієї АС- та DC-сесії в загальний баланс заряджання.

Окремо в межах запропонованої методики оцінюється рекуперативна складова загального енергетичного балансу EV. Для цього використано залежність:

$$E_{rec} = E_{total} - (E_{fast} + E_{slow}),$$

де E_{rec} – енергія, отримана за рахунок рекуперативного гальмування.

У даному випадку:

$$E_{rec} = 7923,3 - (2278 + 3609) = 2036,3 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Частка рекуперативної енергії в загальному енергетичному балансі становить:

$$\frac{E_{rec} \cdot 100}{E_{total}} = \frac{2036,3 \cdot 100}{7923,3} = 25,7\%.$$

Отриманий результат показує, що рекуперативне гальмування відіграло помітну роль у загальному енергетичному балансі автомобіля. Таке значення може свідчити про переважання міських або змішаних режимів експлуатації, хоча для остаточного висновку щодо характеру руху цього параметра недостатньо і його слід розглядати разом з іншими показниками.

Одним із найбільш важливих етапів запропонованої методики є перевірка узгодженості накопичених енергетичних параметрів. Для цього було оцінено середнє енергоспоживання автомобіля на основі загальної накопиченої енергії та показника одометра:

$$E_{avg.calc} = \frac{E_{total}}{Od} \cdot 100,$$

де Od – показник одометра, км.

Тоді:

$$E_{avg.calc} = \frac{7923,3}{161545} \cdot 100 = 4,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}/100 \text{ км.}$$

Отримане значення є істотно нижчим за типовий рівень енергоспоживання Hyundai Kona Electric, який у реальних умовах зазвичай становить близько 19–20 кВт·год/100 км. Це свідчить про невідповідність між накопиченою енергією, зафіксованою в системі керування батареєю, та загальним пробігом автомобіля за одометром.

Така невідповідність дає підстави припустити, що історія накопичених енергетичних параметрів не охоплює весь пробіг автомобіля. Одним із найбільш імовірних пояснень цього є заміна високовольтної акумуляторної батареї або зміна історії накопичення відповідних даних у системі керування. За наявною інформацією щодо досліджуваного електромобіля таке припущення підтверджується, оскільки для даного Hyundai Kona Electric дійсно була виконана заміна високовольтної АКБ.

У такому разі, якщо прийняти середнє енергоспоживання автомобіля на рівні близько 20 кВт·год/100 км, можна орієнтовно оцінити пробіг EV після заміни високовольтної батареї. За загальною накопиченою енергією $E_{total} = 7923,3$ кВт·год це відповідає приблизно 40 тис. км пробігу після заміни високовольтної АКБ. Така оцінка не є абсолютно точною, однак дає загальне уявлення про порядок величини пробігу після заміни АКБ та дозволяє краще інтерпретувати отримані діагностичні дані.

Для додаткової перевірки узгодженості енергетичних показників було виконано орієнтовний розрахунок загальної енергії за накопиченою ємністю розряду та середньою напругою батареї. Оскільки добуток ємності в А·год і напруги у В дає енергію у Вт·год, для подання результату в кВт·год використано перерахунок через ділення на 1000:

$$E_{calc} = Q_{dis} \cdot U_{avg}/1000,$$

де E_{calc} – розрахункова енергія, кВт·год; Q_{dis} – накопичена ємність розряду, А·год; U_{avg} – середня напруга високовольтної батареї, В.

У цьому розрахунку значення $U_{avg} = 385$ В використано як орієнтовну середню напругу батареї протягом роботи. Воно відрізняється від поточного значення напруги 396,1 В, зафіксованого на момент зчитування параметрів, оскільки поточна напруга залежить від рівня заряду, температури та режиму роботи батареї.

При $Q_{dis} = 20580,9$ А·год і $U_{avg} = 385$ В маємо:

$$\begin{aligned} E_{calc} &= 20580,9 \cdot \frac{385}{1000} = \\ &= 7923,6 \text{ кВт·год.} \end{aligned}$$

Порівняння цього результату з даними застосунку Car Scanner, де загальна кількість енергії, отриманої під час заряджання, становить 7923,3 кВт·год, показує їх практичний збіг. Це підтверджує внутрішню узгодженість енергетичних параметрів, зчитаних із системи.

Ще одним важливим параметром є загальний час роботи високовольтної АКБ, який, як правило, не підлягає коригуванню в блоці керування EV. На основі цього показника можна виконати орієнтовну оцінку фактичного часу використання батареї в режимі руху. Для цього було використано співвідношення:

$$T_{op} = T_{total} - T_{charge},$$

де T_{op} – фактичний час роботи батареї під навантаженням; T_{charge} – сумарний час заряджання EV.

Тоді:

$$T_{op} = 7760,26 - 1937 = 5823,26 \text{ год.}$$

Цей показник може бути використаний як додатковий непрямий параметр під час аналізу експлуатаційної історії автомобіля та зіставлення її з іншими діагностичними даними.

Отже, апробація запропонованої методики на прикладі Hyundai Kona Electric показала, що дані, отримані за допомогою Car Scanner ELM OBD-II, дозволяють не лише контролювати окремі параметри в режимі реального часу, а й виконувати їх подальшу інтерпретацію для оцінки стану високовольтної АКБ, аналізу енергетичних показників, структури заряджання та окремих особливостей експлуатації EV. Застосування методики дозволило встановити добрий поточний стан батареї, оцінити залишкову ємність, визначити частку рекуперативної складової в загальному енергетичному балансі та виявити ознаки, що вказують на заміну високовольтної АКБ у процесі експлуатації автомобіля.

Висновки

У роботі розроблено та апробовано практичну методику інтерпретації діагностичних параметрів електромобіля, отриманих за допомогою мобільного застосунку Car Scanner ELM OBD-II та адаптера ELM327. На відміну від підходів, що обмежуються лише зчитуванням і відображенням параметрів, запропонована методика передбачає їх послідовну обробку, систематизацію та комплексну інтерпретацію для первинної оцінки технічного стану EV.

Показано, що для первинної оцінки стану електромобіля найбільш інформативними є параметри високовольтної акумуляторної батареї, енергетичні показники, параметри заряджання, дані щодо рекуперації, параметри комірок батареї, а також службові показники, які характеризують історію експлуатації транспортного засобу. Обґрунтовано, що діагностичну цінність мають не лише окремі параметри, а насамперед їх взаємозв'язок і узгодженість між собою.

У результаті застосування запропонованої методики до Hyundai Kona Electric встановлено, що стан високовольтної акумуляторної батареї на момент дослідження є загалом добрим. За значенням SOH = 97,3 % залишкова

ємність батареї становить близько 62,3 кВт·год. Аналіз параметрів комірок показав невелику різницю між мінімальною та максимальною напругою, що свідчить про відсутність явних ознак критичного розбалансування батарейного пакета.

Визначено, що частка енергії, отриманої за рахунок рекуперативного гальмування, становить 25,7 % від загального енергетичного балансу. Це вказує на суттєву роль рекуперації в процесі експлуатації автомобіля та може розглядатися як додаткова ознака під час аналізу режимів його використання.

Перевірка узгодженості накопичених енергетичних параметрів показала, що розрахункове значення загальної накопиченої енергії практично збігається з даними, зчитаними через Car Scanner ELM OBD-II. Водночас зіставлення накопиченої енергії з показником одометра виявило істотну невідповідність, що дало змогу припустити зміну історії накопичення діагностичних параметрів. За додатковою інформацією щодо досліджуваного автомобіля це припущення підтверджується фактом заміни високовольтної АКБ.

Отже, запропонована методика дозволяє використовувати Car Scanner ELM OBD-II не лише як засіб перегляду параметрів, а як інструмент первинної оцінки технічного стану електромобіля в реальних умовах експлуатації. Практичне значення роботи полягає в тому, що така методика може бути використана для попередньої діагностики EV, у навчальному процесі, а також у прикладних дослідженнях без застосування складного спеціалізованого обладнання. Водночас методика не є повною заміною професійної сервісної або дилерської діагностики, оскільки її результати залежать від доступності та точності параметрів BMS/OBD-II, особливостей конкретної моделі EV і технічних характеристик використаного адаптера.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про наявність потенційного конфлікту інтересів, пов'язаного з тим, що автори І. Аргун та А. Гнатів є членами редакційної колегії журналу. З метою забезпечення об'єктивності та неупередженості розгляду рукопису вони не брали участі у редакційному опрацюванні, доборі рецензентів, прийнятті рішень щодо рецензування та остаточному рішенні про публікацію цієї статті.

Література

1. 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. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830183>
2. Гнатів, А., Аргун, І., Сохін, П., & Григоренко, Н. (2025). Використання застосунку Car Scanner ELM OBD-II для діагностики Hyundai Kona Electric. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, 27, 48–59. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.27.0.6>
3. Hnatov, A., Arhun, S., Shch., Sokhin, P., & Hryhorenko, N. (2025). Vykorystannia zastosunku Car Scanner ELM OBD-II dlia diahnostryky Hyundai Kona Electric [Using the Car Scanner ELM OBD-II application for diagnosing Hyundai Kona Electric]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii*, 27, 48–59. <https://doi.org/10.30977/VEIT.2025.27.0.6>
4. Hnatov, A., Arhun, S., Ulianets, O., & Ivanov, D. (2025). Diagnostics of electric vehicles using OBD-II: Principles, capabilities, and prospects. *Automobile Transport*, 56, 5–12. <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2025.56.0.01>
5. Baráth, B., Sütthö, G., & Pekk, L. (2024). Development of a battery diagnostic method based on CAN data: Examining the accuracy of data received via a communication network. *Energies*, 17(22), 5808. <https://doi.org/10.3390/en17225808>
6. Yang, Y., Chen, B., Su, L., & Qin, D. (2013). Research and development of hybrid electric vehicles CAN-bus data monitor and diagnostic system through OBD-II and Android-based smartphones. *Advances in Mechanical Engineering*, 5, 741240. <https://doi.org/10.1155/2013/741240>
7. Sevdari, K., Calearo, L., Thingvad, A., & Marinelli, M. (2023). Experimental validation of onboard electric vehicle chargers to improve the efficiency of smart charging operation. *Sustainable Energy, Grids and Networks*. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103512>
8. Bilfinger, P., Rosner, P., Schreiber, M., Kröger, T., Abo Gamra, K., Ank, M., Wassiliadis, N., Dietermann, B., & Lienkamp, M. (2024). Battery pack diagnostics for electric vehicles: Transfer of differential voltage and incremental capacity analysis from cell to vehicle level. *eTransportation*, 20, 100356. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2024.100356>
9. Wang, Z., Feng, G., Zhen, D., Gu, F., & Ball, A. (2021). A review on online state of charge and state of health estimation for lithium-ion batteries in electric vehicles. *Energy Reports*, 7, 5141–5161. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.113>
10. Gong, J., Xu, B., Chen, F., & Zhou, G. (2025). Predictive modeling for electric vehicle battery

- state of health: A comprehensive literature review. *Energies*, 18(2), 337.
<https://doi.org/10.3390/en18020337>
10. Du, J., Liu, Z., Wang, Y., & Wen, C. (2016). An adaptive sliding mode observer for lithium-ion battery state of charge and state of health estimation in electric vehicles. *Control Engineering Practice*, 54, 81–90.
<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.05.014>
 11. Soyoye, B. D., Bhattacharya, I., Anthony Dhason, M. V., & Banik, T. (2025). State of charge and state of health estimation in electric vehicles: Challenges, approaches and future directions. *Batteries*, 11(1), 32. <https://doi.org/10.3390/batteries11010032>
 12. Merkle, L., Pöthig, M., & Schmid, F. (2021). Estimate e-Golf battery state using diagnostic data and a digital twin. *Batteries*, 7(1), 15.
<https://doi.org/10.3390/batteries7010015>
 13. Li, D., Zhang, L., Zhang, Z., Liu, P., Deng, J., Wang, Q., & Wang, Z. (2023). Battery safety issue detection in real-world electric vehicles by integrated modeling and voltage abnormality. *Energy*, 284, 128438. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128438>
 14. Li, F., Min, Y., Zhang, Y., & Wang, C. (2023). A method for abnormal battery charging capacity diagnosis based on electric vehicles operation data. *Batteries*, 9(2), 103.
<https://doi.org/10.3390/batteries9020103>
 15. Xiong, R., Yu, Q., Shen, W., Lin, C., & Sun, F. (2019). A sensor fault diagnosis method for a lithium-ion battery pack in electric vehicles. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34(10), 9709–9718.
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2019.2893622>
 16. Choi, C. (2022). Fault diagnosis and tolerance on reliability of automotive motor control systems. *International Journal of Automotive Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s12239-022-0102-2>
 17. Michailidis, E. T., Panagiotopoulou, A., & Papadakis, A. (2025). A review of OBD-II-based machine learning applications for sustainable, efficient, secure, and safe vehicle driving. *Sensors*, 25(13), 4057. <https://doi.org/10.3390/s25134057>
 18. Masadi, P. K., Velpula, S., Saiprakash, C., & Sahoo, B. (2025). Advancements in fault detection and diagnosis methods for electric vehicles: A review. *Discover Applied Sciences*, 7, 1235.
<https://doi.org/10.1007/s42452-025-07758-9>

Гнатів Андрій¹, д.т.н., проф., завідувач каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0667430887, e-mail: kalifus76@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Аргун Щасяна^{1,2}, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Сохін Павло¹, PhD, старший викладач кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0633473433, e-mail: info@elektrocar.com.ua
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2823-2239>

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків.

²University College London, The Bartlett School of Sustainable Construction, Gower Street, London, WC1E 6BT, Greater London, United Kingdom.

Practical Methodology for Interpreting Electric Vehicle Diagnostic Parameters Using the Car Scanner ELM OBD-II Mobile Application

Annotation. Problem. The growing number of electric vehicles (EVs) in operation increases the need for accessible and informative diagnostic tools that allow users to assess the technical condition of major vehicle systems without expensive service equipment. Although OBD-II adapters and mobile applications are widely used for reading diagnostic data, the practical interpretation of these parameters for primary EV condition assessment remains insufficiently developed. **Goal.** The goal of the study is to develop and test a practical methodology for interpreting electric vehicle diagnostic parameters obtained using the Car Scanner ELM OBD-II mobile application in order to perform a primary assessment of the high-voltage battery condition and identify selected features of EV operation. **Methodology.** The proposed methodology is based on reading, systematizing, and interpreting diagnostic parameters obtained via Car Scanner ELM OBD-II and an ELM327 adapter. The methodology was tested on a Hyundai Kona Electric. The analysis included parameters of the high-voltage battery, charging and discharging processes, accumulated energy, recuperation, battery cell voltages, operating time, and odometer readings. The obtained data were processed and compared in order to assess battery condition, charging characteristics, energy balance, and parameter consistency. **Results.** The application of the proposed methodology showed that the tested Hyundai Kona Electric had a high-voltage battery in generally good condition. With an SOH value of 97.3%, the remaining battery capacity was estimated at about 62.3 kWh. The difference between the minimum and maximum cell voltage was only 0.02 V, indicating the absence of critical cell imbalance. The share of recuperated energy in the total energy balance was found to be 25.7%. At the same time, the comparison between the accumulated energy and the odometer reading revealed a significant inconsistency, which made it possible to identify indirect signs of high-voltage battery replacement. **Originality.** The originality of the work lies in the development of a practical methodology for processing and interpreting EV diagnostic parameters obtained through a mobile application. In contrast to approaches limited to reading or displaying individual values, the proposed

*methodology allows these parameters to be analyzed in combination and used for a more meaningful primary assessment of the vehicle's technical condition. **Practical value.** The proposed methodology can be used for primary EV diagnostics in real operating conditions, in educational practice, and in applied research. Its use makes it possible to obtain informative conclusions about the condition of the high-voltage battery and selected operating features of an electric vehicle without complex specialized diagnostic equipment.*

Key words: *electric vehicle diagnostics; OBD-II; Car Scanner ELM OBD-II; high-voltage battery; primary diagnostics; technical condition; energy recuperation; interpretation of diagnostic parameters.*

Andrii Hnatov¹, professor, Doct. of Science, Head of Vehicle Electronics Department, tel. +38 0667430887, kalifus76@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Shchasiana Arhun^{1,2}, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0993780451, shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Pavlo Sokhin¹, PhD, Senior Lecturer of Vehicle Electronics Department, e-mail: info@elektrocar.com.ua, tel. +38 0633473433, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2823-2239>

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, 61002, Ukraine.

²University College London, The Bartlett School of Sustainable Construction, WC1E 6BT, Greater London, United Kingdom.