



Олег Голубенко

Генеральний директор ТОВ «Україно-німецьке підприємство «ДЕКРА Експерт» - дочірнього підприємства європейського експертного концерну DEKRA SE, член European Association for Accident Research and Analysis (EVU), оцінювач колісних транспортних засобів з 2001 року
<https://orcid.org/0000-0002-9545-6515>



Олег Каширін

Керівник центру технічної підтримки (2003 -2024) АТ «Рено Україна» - дочірнього підприємства автомобільного концерну Renault Group, експерт за спеціальностями «Дослідження технічного стану транспортних засобів» та «Дослідження обставин і механізму дорожньо-транспортних пригод»
<https://orcid.org/0009-0002-9014-9716>

ОЦІНКА ЕЛЕКТРОМОБІЛЕЙ МЕТОДОМ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТЯГОВОЇ БАТАРЕЇ

Статтю присвячено одній з найбільш актуальних і практично значущих проблем сучасного автомобільного ринку - оцінці ринкової вартості електромобілів. Якщо методологія оцінювання автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння є добре розробленою та уніфікованою між країнами, то методики оцінки електромобілів (BEV) залишаються на етапі становлення. Основним викликом є адекватне врахування залишкової ємності тягової батареї, яка в сучасних BEV може становити до 40 % загальної вартості автомобіля.

Автори, спираючись на аналіз міжнародного досвіду (німецький підхід Deutsche Automobil Treuhand GmbH та методику китайських дослідників із Сичуанського університету), розробили та запропонували універсальний метод оцінки BEV. Суть методу полягає у визначенні залишкового ресурсу тягової батареї шляхом порівняння її фактичного стану здоров'я (SoH) із нормативними значеннями та подальшому розрахунку залишкової вартості батареї як окремого компонента електромобіля.

Методологія передбачає: (1) визначення та вимірювання SoH із використанням діагностичних методів і швидких тестів DEKRA; (2) розробку формул для нормативного SoH залежно від пробігу та гарантійних параметрів; (3) практичну перевірку на прикладах автомобілів Tesla Model 3 та Renault ZOE з порівнянням фактичних і розрахункових значень SoH; (4) обґрунтування впливу факторів деградації батареї, як-от режим заряджання, умови експлуатації та річний пробіг.

Автори демонструють, що різниця між фактичним і нормативним SoH безпосередньо впливає на залишкову ринкову вартість BEV. Наприклад, розрахунки показують, що два автомобілі одного року випуску з однаковим пробігом можуть суттєво відрізнитися за ціною через різний стан батареї. Дослідження доводить, що запропонований метод є не лише теоретично обґрунтованим, але й практично придатним для застосування в реальних ринкових умовах.

У роботі підкреслюється, що хоча моделі деградації батарей потребують подальшої верифікації на широкій вибірці автомобілів, запропонований метод уже забезпечує прозорий та уніфікований

підхід до оцінювання BEV для судових експертів, оцінювачів, страховиків та інших учасників ринку. Зроблено висновок, що ця методика може слугувати основою для розробки українських стандартів оцінки електромобілів та в майбутньому адаптуватися з урахуванням упровадження твердотільних акумуляторних технологій.

Ключові слова: електромобіль (BEV), тягова батарея (EVB), залишковий ресурс, літій-іонна батарея, твердотільна батарея, фактичний стан здоров'я тягової батареї (SoH).

Постановка проблеми. На цей момент методологія оцінки автомобілів із двигуном внутрішнього згоряння більш-менш сформована і мало чим відрізняється за країнами її застосування. Водночас практика оцінки електромобілів не є усталеною, а тому методики щодо їх оцінювання поки що перебувають на етапі розвитку.

Необхідність розвитку окремої методології для оцінки електромобілів обумовлена тим, що значну питому вартість електрокарів становить вартість тягової батареї, яка залежить від цілого ряду факторів. Крім того, в оцінці електромобілів дуже важливу річ грають особливості національних ринків, тому що продажі електрокарів і розвиток інфраструктури електромобільності відрізняються за глобальними й регіональними ринками. Так, наприклад, темпи розвитку ринку електромобілів Китаю значно випереджають темпи розвитку аналогічних ринків Європи і США. Таким же чином вони відрізняються й у різних країнах ЄС і навіть штатах США.

У своїй статті «Проблема визначення ринкової вартості електромобілів: аспекти для судових експертів за напрямом 12.2.» [10, с. 128] її автори Царинний Є. О. та Бузина С. О. пишуть: «За останні роки електромобілі стали не лише екологічно чистими альтернативами традиційним автомобілям з двигунами внутрішнього згоряння, але й популярними серед споживачів. Проте з ростом їхньої популярності зросла і необхідність визначення ринкової вартості цих транспортних засобів у різних ситуаціях, зокрема у випадках збитків або страхових виплат. Для судових експертів, які займаються визначенням вартості транспортних засобів та розміру завданого збитку, визначення ринкової вартості електромобілів може бути складною задачею через специфічні характеристики цих транспортних засобів і динаміку ринку».

Треба зазначити, що автори цієї статті першими в україномовному просторі описали проблему оцінки електромобілів та надали загальні рекомендації щодо її розв'язання.

Ми ж вирішили дослідити проблему більш глибоко та надати свої пропозиції щодо напрямів розвитку методології оцінки електромобілів, ґрунтуючись на дослідженнях, зроблених фахівцями різних країн і власних напрацюваннях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з дослідженнями аналітичної компанії Autovista Group, ринок електромобілів продовжує зростати по всій Європі, при цьому кількість реєстрацій зростає з року в рік [1]. Більшість публікацій на тему електромобілів містять тезу про те, що акумуляторна батарея є серцем електромобіля; вона сама по собі становить значну частину вартості автомобіля - деякі з дослідників зазначають, що вона може становити до 40 % його вартості [11]. Більша частина акумуляторів у сучасних електромобілях мають літієву основу, а отже, із часом їх властивості погіршуватимуться. Дослідники зазначають, що ресурс акумулятора виснажує надмірне навантаження, коли його не відключають від мережі після повної зарядки, а також її зарядження і разі неправильної напруги [2].

При цьому в умовах гарантії виробниками зазвичай зазначається мінімальний рівень ємності тягової батареї, який становить не менше ніж 70 % (так званий SOH - «стан здоров'я батареї»). Однак існує багато умов збереження гарантії на акумулятор, які здатні забезпечити далеко не всі власники електромобілів.

За оцінками Управління автомобільних технологій Міністерства енергетики США (DOE), вартість літій-іонної батареї електромобіля для легкових автомобілів за період з 2008 по 2023 рік знизилася на 90 %. У 2023 році вона становила 139 доларів США/кВт-год (за умови виробництва щонайменше 100 000 одиниць на рік. Зниження вартості пов'язане з удосконаленням технологій виготовлення батарей і хімічних процесів, що в них відбуваються, а також зі збільшенням обсягу виробництва [12].

Тим часом уже у 2024 році Goldman Sachs спрогнозував, що до кінця року вартість аку-

муляторів досягне 111 доларів за кВт-год. «111 доларів США/кВт-год також є середнім світовим показником. Наприклад, на початку 2024 року вартість одного елемента LFP виробництва CATL і BYD коштувала лише 56 доларів США/кВт-год. Хоча ціна на батареї нижча, ніж ціна упаковки, і хоча ціни в США, як правило, вищі на 10-12 %, новини з Китаю дають багатообіцяючий погляд на майбутнє акумуляторів» [13].

У процесі підготовки цієї статті її автори ознайомилися з підходами до оцінки електромобілів, розробленими німецькою інформаційною компанією Deutsche Automobil Treuhand GmbH (DAT), який ми умовно назовемо «німецький підхід» [8], і китайськими вченими зі Школи автомобіля та транспорту, Університет Сіхуа, Ченду (КНР), який далі ми називатимемо «китайський підхід» [11].

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка загальних принципів оцінки електромобілів методом визначення значення залишкового ресурсу тягової батареї, а також визначення основних алгоритмів цього методу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Наші пропозиції ми розробили на підставі ряду принципів, які зазначені в німецькому та китайському підходах. У китайських науковців ми запозичили принцип поділу електромобіля на дві частини: безпосередньо автомобіль без тягової батареї і саму тягову батарею окремо. У німецьких фахівців - метод визначення залишкового ресурсу тягової батареї шляхом порівняння фактичного стану здоров'я тягової батареї (SoH) із нормативними значеннями SoH. Сам алгоритм порівняння є результатом безпосередньо думок і досліджень авторів цієї статті.

Стан здоров'я (SoH) батареї та методи його вимірювання. Стан здоров'я (SoH) батареї описує різницю між досліджуваною батареєю та новою батареєю і враховує старіння батареї, що перевіряється.

Визначається як відношення максимального заряду акумулятора до його номінальної ємності. Він розраховується за формулою (1) і також виражається у відсотках.

$$SoH / \% = 100 \frac{Q_{max}}{C_r}, \quad (1)$$

де:

Q_{max} - максимальний заряд, який може зберігатися в акумуляторі (у мАг);

C_r - номінальна потужність.

Методика визначення фактичного SoH розроблена і пропонується для використання такою експертною організацією, як DEKRA [5]. Тест проводиться в чотири кроки:

Крок перший (підготовка): експерт звертається до програми перевірки батареї та підключає свій смартфон до інтерфейсу зв'язку автомобіля (VCI), який, зі свого боку, з'єднується з портом OBD автомобіля.

Крок другий (статичний тест): після введення загальних даних автомобіля зчитуються необхідні діагностичні дані та перевіряються система високої напруги та система керування акумулятором.

Крок третій (динамічний тест): для тесту достатньо короткого розгону близько 100 метрів, щоб зчитувати різні характеристики батареї через інтерфейс бортової діагностики.

Ці дані потім порівнюються з даними, отриманими під час тест-драйвів з новими автомобілями. Це робиться за допомогою обчислень на основі штучного інтелекту, які базуються на складному алгоритмі перевірки, що підтверджений відомим університетом Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen і запатентований на міжнародному рівні.

Крок четвертий (завершення): аналіз результатів і підготовка висновку про залишок ємності акумулятора.

Позначка 80 відсотків є контрольною точкою: якщо ємність падає до цього значення, тягову батарею, як правило, більше не можна розумно використовувати в автомобілі. І навпроти, чим ближче ємність до 100 відсотків, тим вище залишкова ємність батареї [6]. Водночас багато виробників тягових батарей у своїх гарантійних зобов'язаннях зазначають як мінімальне значення SoH не 80, а 70 відсотків після пробігу 160 000 (у деяких випадках) і більше кілометрів протягом восьми років.

Крім вищезгаданої методики, DEKRA експерти можуть також скористатися такими способами визначення значення фактичного SoH:

- перевірка значення SoH методом бортової діагностики автомобіля;
- звернення до виробника автомобіля для надання значення SoH, які зберігаються в центральних базах даних;
- перевірка методом швидкого тестування автомобіля впродовж 30 хвилин. Такий тест

дуже приблизно дає розуміння про значення SoH, але важливий для підтвердження даних, отриманих як розрахунковим методом, так і методом діагностики бортової мережі автомобіля.

Опис методу визначення значення залишкового ресурсу батареї та його використання для оцінки електромобілей

Загальну формулу (2) визначення ринкової вартості електромобіля ми вивели, входячи з «китайського підходу», поділивши транспортний засіб на автомобіль без батареї та саму батарею:

$$B = B_{\text{ср}} \pm (B_{\text{мбф}} - B_{\text{мбн}}), \quad (2)$$

де:

$B_{\text{ср}}$ - ринкова вартість електромобіля середня;

$B_{\text{мбф}}$ - вартість батареї з фактичним SoH;

$B_{\text{мбн}}$ - вартість батареї з нормативним SoH.

Для визначення вартості самої батареї, керуючись принципами «німецького підходу», ми розробили свою методологію визначення залишкового ресурсу. Як приклад ми взяли електромобіль Tesla Model 3, виробник якого в умовах гарантії зазначив, що мінімальне значення SoH для працездатного електромобіля має бути не менше ніж 70 % за пробігу 160 000 км та/або строку його експлуатації не більше за 8 років.

Виходячи із цих показників, нескладно порівняти, що нормативний річний пробіг становить 20 000 км, а діапазон ефективного використання тягової батареї - 30 % (від 70 до 100 %).

Таким чином, на 1 рік експлуатації батареї приходить 3,75 % діапазону її ефективного

використання ($30/8 = 3,75$), а 1 % діапазону її ефективного використання дорівнює 3,33 % її загального ресурсу ($100/30 = 3,33$), або відповідає 5 333 км пробігу.

Виходячи із цих показників, ми склали таблицю 1, у якій зазначені пробіги і значення SoH, що їм мають відповідати, ґрунтуючись на методі визначення залишкового ресурсу.

Керуючись цією таблицею, можна порівняти виміряне SoHф (фактичне) з SoHн нормативним, завдяки чому потім можна порівняти вартість тягової батареї (з SoHф) і вартість тягової батареї (з SoHн).

Вартість тягової батареї можна визначити за формулою:

$$B_{\text{мб}} = (E_{\text{мб}} \times B_{\text{кВтг}}) - X\%, \quad (3)$$

$E_{\text{мб}}$ - ємність тягової батареї;

$B_{\text{кВтг}}$ - вартість однієї кіловат-години у вартості нової тягової батареї;

X - вичерпаний ресурс батареї у відсотках, який визначається за формулою:

$$X = (100 - \text{SoHн}) \times 3,33. \quad (4)$$

Враховуючи той факт, що гарантійний строк експлуатації та/або гарантійний пробіг можуть бути різними для різних марок та/або моделей BEV, ми розробили універсальну формулу (5), яка дає змогу визначити SoHн нормативне для кожного окремого випадку:

$$\text{SoHн} = 100 - (L_{\text{ф}}/L_{\text{у}}), \quad (5)$$

де:

$L_{\text{ф}}$ - пробіг фактичний;

$L_{\text{у}}$ - пробіг за одну умовну одиницю, який, зі свого боку, визначається за формулою:

Таблиця 1

Відповідність пробігу стану здоров'я тягової батареї, визначена за допомогою методу визначення залишкового ресурсу

SoH (%)	Строк експлуатації (місяців)	Нормативний пробіг (км)	SoH (%)	Строк експлуатації (місяців)	Нормативний пробіг (км)	SoH (%)	Строк експлуатації (місяців)	Нормативний пробіг (км)
99	3,2	5333	89	35,2	58663	79	67,2	111993
98	6,4	10666	88	38,4	63996	78	70,4	117326
97	9,6	15999	87	41,6	69329	77	73,6	122659
96	12,8	21332	86	44,8	74662	76	76,8	127992
95	16	26665	85	48	79995	75	80	133325
94	19,2	31998	84	51,2	85328	74	83,2	138658
93	22,4	37331	83	54,4	90661	73	86,4	143991
92	25,6	42664	82	57,6	95994	72	89,6	149324
91	28,8	47997	81	60,8	101327	71	92,8	154657
90	32	53330	80	64	106660	70	96	159990

$$Ly = L_{\text{зар}} / \text{Деф}, \quad (6)$$

де:

$L_{\text{зар}}$ - пробіг гарантійний;

Деф - діапазон ефективного використання.

Приклад:

Для електромобіля Tesla Model 3 2021 р. в. з пробігом 60 000 км нормативне значення SoH має бути:

$$\text{SoH}_n = 100 - (L_{\text{ф}} / Ly) = 100 - (60000 / 5333) = 100 - 11,25 = 88,75 \%$$

Таким чином, вартість тягової батареї електромобіля з нормативним SoH у 88,75 % становитиме:

$$V_{\text{тб}} = (P_{\text{тб}} \times V_{\text{кв}} / z) - X\% = 9\,157,50 - 37,46\% = 5\,727,10 \$,$$

$$\text{де } X = (100 - 88,75) \times 3,33 = 37,46 \%,$$

а вартість тягової батареї електромобіля з фактичним SoH у 80 %:

$$V_{\text{тб}} = (P_{\text{тб}} \times V_{\text{кв}}) - X\% = 9\,157,50 - 66,6\% = 3\,058,61 \$,$$

$$\text{де } X = (100 - 80) \times 3,33 = 66,6 \%.$$

Якщо ж фактичний SoH дорівнює або менше за 70 %, вартість електромобіля має визначатися за формулою (7):

$$V = V_{\text{ср}} - (V_{\text{утб}} + V_{\text{тбн}} + V_{\text{роб}}) \quad (7)$$

де:

$V_{\text{ср}}$ - ринкова вартість середня;

$V_{\text{утб}}$ - вартість утилізації старої батареї;

$V_{\text{тбн}}$ - вартість тягової батареї нової;

$V_{\text{роб}}$ - вартість робіт із заміни старої батареї на нову.

Практичне застосування запропонованого методу

Ми знайшли на сайті auto.ria.com 4 пропозиції до продажу автомобілів Tesla Model 3 2021 р. в. у комплектації Long Range, із яких два автомобіля мали пробіг близький до нормативного у 60 000 км, а два - у два рази менший (див. таблицю 2).

З теорії оцінки майна відомо, що в основу порівняльного підходу покладена теза, що «жоден покупець (інвестор) не купить об'єкт, якщо його вартість перевищує витрати на придбання на ринку подібного об'єкта з тією ж корисністю».

Таким чином, якщо на ринку за 29 000 продається електромобіль Tesla Model 3 2021 р. в. з меншим пробігом та з більшим залишковим ресурсом батареї, то розумний покупець обере за цю суму саме його, а не електромобіль з більшим пробігом і меншим залишковим ресурсом. Виходячи із цього принципу, електромобілі з більшим пробігом і меншим ресурсом мають коштувати дешевше. Питання залишається лише в тому, наскільки дешевше.

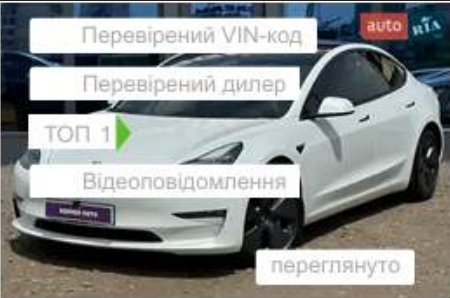
Як ми вже порахували, вартість батареї з SoH у 88,75 % становила 5 727,10 \$, тому для порівняння нам потрібно визначити вартість батареї на електромобілях з пробігом у 30 000 км.

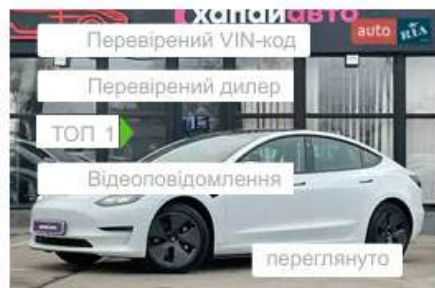
Спочатку визначаємо для них нормативне значення SoH :

$$\text{SoH} = 100 - (L_{\text{ф}} / Ly) = 100 - (30000 / 5333) = 100 - 5,63 = 94,37 \%$$

Таблиця 2

Пропозиції до продажу електромобілей, знайдених на сайті auto.ria

	Tesla Model 3 2021 I покоління (FL) · Long Range 82.5 kWh (441 к.с.) AWD 29 000 \$ • 1 232 210 грн 59 тис. км Київ Електро Автомат LRW3E7EK3MC388439 Офіційний автомобіль, на гарантії. гарантія на батарею 24.12.2024
Зображення 1. Пропозиція до продажу Tesla Model 3 2021 року випуску з пробігом 59 000 км	



Tesla Model 3 2021

I покоління (FL) • Long Range 82.5 kWh (441 к.с.) AWD •...

29 000 \$ • 1 232 210 грн

32 тис. км

Київ

Електро

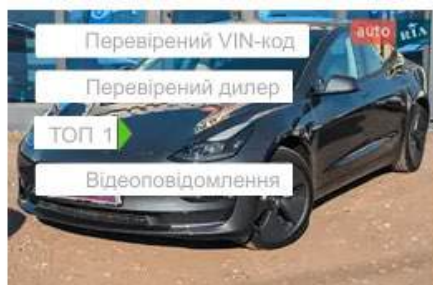
Автомат

LRW3E7EB0MC419470

Розстрочка з першим внеском від 7000\$ або повна оплат...

20.12.2024

Зображення 2. Пропозиція до продажу Tesla Model 3 2021 року випуску з пробігом 32 000 км



Tesla Model 3 2021

I покоління (FL) • Long Range 82.5 kWh (441 к.с.) AWD •...

29 000 \$ • 1 232 210 грн

29 тис. км

Київ

Електро

Автомат

LRW3E7EK9MC300347

Розстрочка з першим внеском 4400\$ або повна оплата.

5.12.2024

Зображення 3. Пропозиція до продажу Tesla Model 3 2021 року випуску з пробігом 29 000 км



Tesla Model 3 2021

I покоління (FL) • Long Range 82.5 kWh (441 к.с.) AWD •...

29 000 \$ • 1 232 210 грн

60 тис. км

Київ

Електро

Автомат

AA 9470 YA

LRW3E7EK5MC321874

Автомобіль був пригнаний з Європи для себе, не під ...

25.12.2024

Зображення 4. Пропозиція до продажу Tesla Model 3 2021 року випуску з пробігом 60 000 км

Далі визначаємо вартість самої батареї:

$$B_{тб} = (P_{тб} \times B_{квГ}) - X\% = 9\,157,50 - 18,75\% = 7\,440 \$,$$

$$\text{де } X = (100 - 94,37) \times 3,33 = 18,75\%.$$

Порівняння цих сум дає різницю у 2226,20 дол. США. Виходячи із цього, справедлива ринкова вартість на автомобілі з пробігом у 60 000 км має бути меншою як мінімум на цю суму.

Безумовно, це спрощений приклад оцінки, оскільки в ньому взято значення нормативного, а не фактичного SoH, який може бути більшим навіть в електромобіля з більшим пробігом, якщо умови його експлуатації були кращими за ті, у яких експлуатувався BEV з меншим пробігом. Так, наприклад, часте використання ультрашвидкісних зарядних пристроїв потужністю понад 50 кВт з обмеженням на програмному рівні ємності зарядки не більше за 80 %, призводить до швидшої деградації батареї і зниження фактичного SoH порівняно з використанням зарядних пристроїв до 22 кВт (змінним струмом), які менш негативно впливають на загальний стан батареї BEV. Фактичний SoH таких батарей буде більшим за однакових строку експлуатації і пробігу.

Крім того, на ринкову вартість також впливають фактичний технічний стан, кількість власників, попередні умови експлуатації (лізинг, таксі тощо) та інші фактори. Проте цей приклад наочно показує, як працює запропонований нами метод оцінки електромобілів.

Верифікація методу шляхом порівняння розрахункового SoH з фактичним на прикладі конкретних автомобілів

Для автомобілів Renault ZOE термін гарантії на батарею становить 150 000 км, або 5 років, допустимий поріг зниження SoH - 70 % від

номінального. Саме із цих параметрів і визначалося розрахункове значення SoH, яке потім порівнювалося з SoH фактичним. Статистичні дані, отримані на підставі реальних візитів до офіційного сервісу автомобілів Renault ZOE з ємністю батареї 40 кВт, зведені в таблицю 3.

Значення SoH (фактичного та розрахункового), наведені в останніх двох стовпчиках, можна порівняти між собою. SoH розрахунковий для автомобілів 1 і 3 виявився більшим за фактичний SoH, для автомобіля 2 - дуже близьким до нього, а для автомобілів 4 та 5 - меншим за нього. Різниця показників розрахункового та фактичного SoH для автомобіля 6 взагалі викликає дуже багато питань, бо показник SoH у 90 % для електромобіля, що має пробіг більше за передбачений гарантією показника, можна пояснити або похибками під час його вимірювання, або відмінними від звичайних умовами його експлуатації - це якщо бути впевненим, що тягова батарея на цьому електромобілі не мінялася.

Автори цієї статті продовжують займатися верифікацією запропонованої ними методики оцінки електромобілів методом визначення значення залишкового ресурсу тягової батареї і мають намір викласти результати своїх досліджень у рамках окремої публікації.

Узагальнення

Викладена у статті інформація дає підстави підтвердити думку колег [10], що методологія оцінки електромобілів, хоча і ґрунтується на класичних для оцінки транспортних засобів підходах, але має значні відмінності від оцінки автомобілів із ДВЗ. Якщо для звичайних автомобілів того самого року випуску вирішальне значення (якщо не брати до уваги реальний технічний стан) має пробіг, то для електромобіля цим показником є реальне значення SoH. Навіть два ідентичні електромобілі

Таблиця 3

Порівняння фактичного і розрахункового SoH для автомобілів Renault ZOE, що відвідували офіційний сервіс Renault

№ з/п	VIN**	Дата випуску автомобіля	Дата виміру SoH	Термін експлуатації, міс.	Пробіг, км	SoHф	SoHр
1	VF1AG00016*****	08.04.2019	16.03.2021	23,6	107 997	70,5%	78,40%
2	VF1AG00016*****	05.06.2019	07.05.2021	23,4	101 726	80,6%	79,70%
3	VF1AG00016*****	26.03.2020	26.11.2021	20,3	105 100	73,7%	79,00%
4	VF1AG00016*****	29.10.2021	14.08.2023	21,8	126 461	93,0%	74,70%
5	VF1AG00016*****	23.11.2021	14.07.2023	19,9	123 530	89,0%	75,30%
6	VF1AG00016*****	14.07.2022	11.07.2024	24,3	197 712	90,0%	60,50%

білі, що виготовлені в той самий день, мають той самий пробіг, можуть мати різні за своїм станом (SoH) тягові батареї, а тому ринкова вартість цих автомобілів є різною. Як показано в цій статті, методології оцінки електромобілів перебувають ще на етапі розвитку, що обумовлено відносно невеликим строком ери електромобільності. А втім, навіть на цьому, початковому, етапі можна застосовувати методи оцінки, які ґрунтуються на кла-

сичних підходах, але враховують особливості електромобілів як об'єкта оцінки. Безумовно, що розвиток технологій виготовлення твердотільних тягових батарей внесе свої корективи і в методи оцінки, але, як показали результати практичного застосування запропонованого нами методу, він є доволі нескладним, зрозумілим, а тому - можливим для застосування для практичної оцінки електромобілів з літій-іонними EVB.

Список використаної літератури:

1. What is an electric vehicle? Autovista24. URL: <https://autovista24.autovistagroup.com/news/what-is-an-electric-vehicle/>.
2. Як дізнатись пробіг електромобіля: розбираємося в системах вимірювання. Autogeek. URL: <https://autogeek.com.ua/iak-diznatys-probih-elektromobilia-rozbyraemosia-v-systemakh-vymiriuvannia/>.
3. Вживані електромобілі: перевірте акумулятор перед покупкою. DEKRA. URL: <https://www.dekra.net/de/gebrauchte-e-autos-vor-dem-kauf-die-batterie-checken/>.
4. What is an EV solid-state battery? Autovista24. URL: <https://autovista24.autovistagroup.com/news/what-is-an-ev-solid-state-battery/>.
5. Batterietest an Elektrofahrzeugen. DEKRA. URL: <https://www.dekra.de/de/batterie-schnelltest/>.
6. The data-based status report of the traction battery. BatteryQuickCheck. URL: <https://batteryquickcheck.com/de/batterietest-elektroauto>.
7. Battery states: State of charge (SoC), State of Health (SoH). Biologic. URL: <https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>.
8. Residual value of electric cars: The role of battery health. DAT Group. URL: <https://www.datgroup.com/ev-residual-value/>.
9. Царинний Є. О., Бузина С. О. Проблема визначення ринкової вартості електромобілів: аспекти для судових експертів за напрямом 12.2. *Молодий вчений*. 2024. № 4 (128). С. 128-133.
10. Research on the Value Evaluation of Used Pure Electric Car Based on the Replacement Cost Method. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 324 (2018) 012082.
11. DOE (2024). Electric Vehicle Battery Pack Costs for Light Duty. U.S. Department of Energy. URL: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1354-august-5-2024-electric-vehicle-battery-pack-costs-light-duty>.
12. Witt J. Electric Car Battery Replacement Costs. Recurrent Auto. URL: <https://www.recurrentauto.com/research/costs-ev-battery-replacement>.
13. Why does understanding battery degradation matter? gridX. URL: <https://www.gridx.ai/knowledge/battery-degradation>.
14. Auto.ria.com. Tesla Model 3 listings. URL: <https://auto.ria.com/uk/legkovie/tesla/model-3/>.
15. ELM327. Wikipedia. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/ELM327>.
16. What is a good OBD2 that is compatible with Electric Cars? Quora. URL: <https://www.quora.com/What-is-a-good-OBD2-that-is-compatible-with-Electric-Cars>.
17. Tesla. Model 3 Owners Manual. URL: https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en_jo/GUID-2E8E5E0B-DAA8-40B8-9804-45F5960538DF.html.
18. Renault. Connected Services; Battery Warranty Optimization. URL: <https://www.renault.co.uk/renault-connect/connected-services-data.html>.

References:

1. Autovista24 (n.d.). What is an electric vehicle? Retrieved from <https://autovista24.autovistagroup.com/news/what-is-an-electric-vehicle/>.
2. Autogeek (n.d.). Yak diznatys probih elektromobilia: rozbyraemosia v systemakh vymiriuvannia [How to find out the mileage of an electric car: understanding measurement systems]. Retrieved from <https://autogeek.com.ua/iak-diznatys-probih-elektromobilia-rozbyraemosia-v-systemakh-vymiriuvannia/> [in Ukrainian].
3. DEKRA (n.d.). Used electric cars: Check the battery before buying. Retrieved from <https://www.dekra.net/de/gebrauchte-e-autos-vor-dem-kauf-die-batterie-checken/>.

4. Autovista24 (n.d.). What is an EV solid-state battery? Retrieved from <https://autovista24.autovistagroup.com/news/what-is-an-ev-solid-state-battery/>.
5. DEKRA (n.d.). Batterietest an Elektrofahrzeugen. Retrieved from <https://www.dekra.de/de/batterie-schnelltest/>.
6. BatteryQuickCheck (n.d.). The data-based status report of the traction battery. Retrieved from <https://batteryquickcheck.com/de/batterietest-elektroauto>.
7. Biologic (n.d.). Battery states: State of charge (SoC), State of Health (SoH). Retrieved from <https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>.
8. DAT Group (n.d.). Residual value of electric cars: The role of battery health. Retrieved from <https://www.datgroup.com/ev-residual-value/>.
9. Tsarynnyi, Ye.O., & Buzyna, S.O. (2024). Problema vyznachennia rynkovoi vartosti elektromobiliv: aspekty dlia sudovykh ekspertiv za napriamom 12.2 [The issue of determining the market value of electric vehicles: aspects for forensic experts in the field 12.2]. *Molodyi vchenyi*, 4 (128), 128-133 [in Ukrainian].
10. IOP (2018). Research on the value evaluation of used pure electric car based on the replacement cost method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 324, 012082.
11. U.S. Department of Energy (2024). Electric vehicle battery pack costs for light duty. Retrieved from <https://www.energy.gov/eere/vehicles/articles/fotw-1354-august-5-2024-electric-vehicle-battery-pack-costs-light-duty>.
12. Witt, J. (n.d.). Electric car battery replacement costs. *Recurrent Auto*. Retrieved from <https://www.recurrentauto.com/research/costs-ev-battery-replacement>.
13. gridX (n.d.). Why does understanding battery degradation matter? Retrieved from <https://www.gridx.ai/knowledge/battery-degradation>.
14. Auto.ria.com (n.d.). Tesla Model 3 listings. Retrieved from <https://auto.ria.com/uk/legkovie/tesla/model-3/>.
15. Wikipedia (n.d.). ELM327. Retrieved from <https://en.wikipedia.org/wiki/ELM327>.
16. Quora (n.d.). What is a good OBD2 that is compatible with Electric Cars? Retrieved from <https://www.quora.com/What-is-a-good-OBd2-that-is-compatible-with-Electric-Cars>.
17. Tesla (n.d.). Model 3 Owners Manual. Retrieved from https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/en_jo/GUID-2E8E5E0B-DAA8-40B8-9804-45F5960538DF.html.
18. Renault (n.d.). Connected services; Battery warranty optimization. Retrieved from <https://www.renault.co.uk/renault-connect/connected-services-data.html>.

Oleg Holubenko, Oleg Kashyryn. Evaluation of electric vehicles by the method of determining the value of the residual

The article is devoted to one of the most urgent and practically significant issues of the modern automotive market – the assessment of the market value of electric vehicles. While the methodology for evaluating internal combustion engine vehicles is well-established and unified across countries, the valuation of battery electric vehicles (BEVs) remains at the stage of methodological development. The key challenge is to adequately account for the residual capacity of the traction battery, which in modern BEVs can account for up to 40% of the total vehicle cost.

The authors, based on the analysis of international experience (the German approach of Deutsche Automobil Treuhand GmbH and the methodology of Chinese researchers from Sichuan University), developed and proposed a universal method for the evaluation of BEVs. The essence of the method lies in determining the residual resource of the traction battery through the comparison of its actual state of health (SoH) with normative values and further calculation of the residual value of the battery as a separate component of the electric vehicle.

The methodology includes: (1) definition and measurement of SoH using diagnostic methods and DEKRA quick tests; (2) development of formulas for normative SoH depending on mileage and warranty parameters; (3) practical verification on the basis of Tesla Model 3 and Renault ZOE vehicles, including comparison of actual and calculated SoH values; (4) substantiation of the effect of battery degradation factors such as charging regime, operating conditions, and annual mileage.

The authors demonstrate how the difference between actual and normative SoH directly influences the residual market value of BEVs. For example, the calculation shows that two vehicles of the same year of manufacture with identical mileage may significantly differ in value due to different battery conditions. The study proves that the proposed method is not only theoretically sound but also practically applicable to real market cases.

The paper emphasizes that while battery degradation models require further verification on a wide sample of vehicles, the method already provides a transparent and unified approach to valuation of BEVs for forensic experts, appraisers, insurers, and market participants. It is concluded that the methodology can serve as a basis for the development of Ukrainian standards for the valuation of electric vehicles and may be further adapted with the introduction of solid-state battery technologies in the future.

Keywords: battery electric vehicle (BEV), traction battery (EVB), residual life, lithium-ion battery, solid-state battery, actual state of health (SoH) of the traction battery.