

Вплив температури навколишнього середовища та швидкості руху електромобіля Hyundai Kona Electric на його пробіг

Гнатов А. В.¹, Аргун Щ. В.^{1,2}, Ульянець О. А.¹, Іванов. Д. М.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

²University College London, United Kingdom

Надійшла: 09.10.2025. Прийнято: 05.12.2025. Опубліковано: 08.12.2025. Відкритий доступ: CC BY 4.0.

Анотація. У статті наведено результати експериментальних досліджень впливу температури навколишнього середовища та швидкості руху на запас ходу електромобіля Hyundai Kona Electric 2019 року випуску. Аналіз виконано на основі пробігу, розрахованого за показниками енергоспоживання. Для міського режиму експлуатації оптимальним є температурний діапазон від 10 °C до 30 °C, для руху по трасі – від 12 °C до 28 °C. Саме в цих межах електромобіль демонструє найкраще співвідношення між витратами енергії та пройденою відстанню.

Ключові слова: електромобіль, пробіг електромобіля, запас ходу електромобіля, SOH, енергоефективність, Hyundai Kona Electric.

Вступ

Зростання популярності електромобілів у світі зумовлює потребу у глибшому розумінні факторів, що впливають на їхню енергоефективність та експлуатаційні характеристики. Одним із ключових параметрів, який хвилює користувачів електротранспорту, є реальний запас ходу – відстань, яку автомобіль може проїхати на одному заряді акумулятора. Умови навколишнього середовища, зокрема температура повітря, а також стиль водіння і швидкість руху істотно впливають на споживання енергії електромобілем. За низьких температур погіршується продуктивність батарей, а також зростає споживання енергії на обігрів салону. Водночас за високих швидкостей суттєво збільшується аеродинамічний опір, що також призводить до зменшення пробігу [1,2].

Hyundai Kona Electric є одним із найпопулярніших електромобілів у своєму класі, який активно експлуатується в різних кліматичних регіонах, зокрема в Україні. Тому проведення експериментального аналізу впливу температури та швидкості на фактичний пробіг цього електромобіля є важливим. Отримані результати дозволяють корек-

тніше оцінювати запас ходу залежно від умов експлуатації, що має критичне значення для забезпечення надійності та ефективного планування маршрутів і, своєю чергою, сприяє підвищенню довіри до електротранспорту.

Незважаючи на численні технічні огляди та специфікації виробників, реальні умови експлуатації часто демонструють значні відхилення від заявлених параметрів. Саме тому емпіричне дослідження впливу температури та швидкості на пробіг на прикладі популярного електромобіля Hyundai Kona Electric є надзвичайно актуальним.

Результати дослідження можуть бути корисними не лише для споживачів – для прогнозування витрат енергії в різних кліматичних та дорожніх умовах, – але й для транспортних компаній (планування маршрутів і зарядної інфраструктури) та виробників (удосконалення систем терморегулювання і керування енергією) [3,4]. Таким чином, дослідження сприяє підвищенню енергоефективності електротранспорту, оптимізації умов його експлуатації та розвитку сталої транспортної інфраструктури.

Аналіз публікацій

Постійне зростання популярності електромобілів (EVs) у світі створює нові виклики для автовиробників – потрібно забезпечити стабільну й ефективну роботу машин у різних умовах експлуатації. До найважливіших чинників, які враховують при оцінюванні ефективності використання EVs, належать температура навколишнього середовища та характер експлуатації (міський або міжміський режим руху). Згідно з результатами досліджень [5–7], саме температура є одним з найвпливовіших параметрів, що визначає пробіг на одному заряді, оскільки впливає як на хімічні процеси в батареї, так і на додаткове енергоспоживання кліматичних систем.

У статті [7] детально пояснюється механізм деградації всередині акумулятора, описано основні фактори, що відповідають за старіння, та їхній вплив на акумулятор під час експлуатації EVs. Автори розглядають різні методи моделювання деградації та прогнозування залишкового ресурсу, а також підходи, що дають змогу сповільнити процес старіння.

Роботи [8–10] показують, що за низьких температур (нижче +4 °C) пробіг EVs може зменшуватися на 20–60 % залежно від температури, конфігурації батареї та наявності теплового насоса. У статті [8] наведено результати дослідження впливу низьких температур на електрохімічні характеристики акумуляторів EVs у режимах паркування, заряджання та руху, а також описано проблеми під час заряджання в холодних умовах і пов'язане з цим зниження продуктивності. Окремо розглядається додатковий вплив масового заряджання EVs на енергомережі.

Результати дослідження Consumer Reports [9] щодо запасу ходу та продуктивності електромобілів у зимових умовах показали, що при зниженні температури від 18 °C до 4 °C запас ходу зменшується приблизно на 25 %. За подальшого розширення діапазону температур зниження може досягати 31 %. Підкреслюється, що короткі поїздки з частими зупинками в холодну погоду можуть скорочувати запас ходу до 50 % через постійну потребу в обігріві салону, тоді як батарея не встигає прогрітися до робочої температури. Також відзначено, що холодна погода негативно впливає не лише на EVs, а й на бензинові та дизельні автомобілі: при зниженні температури від 25 °C до –6 °C витрата палива зростає на 15 %, а для коротких поїздок на 3–4 км – до 33 %.

У роботі [10] показано, що за температури –18 °C запас ходу EV зменшується до 60 % порівняно з умовами при 22 °C, тоді як при 35 °C фіксується лише незначне зниження. Тобто низькі температури впливають на запас ходу значно сильніше, ніж високі.

Роботи [11–15] присвячені моделюванню процесів у електричних силових установках EVs залежно від різних факторів, у тому числі температури, та аналізують, як ці фактори впливають на ефективність роботи й пробіг електромобіля. У дослідженні [11] розглянуто модель електричної силової системи електробуса для міського використання, реалізовану в середовищі Matlab/Simulink. У статті [12] запропоновано квазістаціонарну модель оцінювання споживання енергії EVs, яку застосовано для аналізу впливу температури навколишнього середовища на споживання енергії та запас ходу електромобіля Nissan Leaf. Показано, що за європейським циклом руху (NEDC) запас ходу Nissan Leaf становить близько 150 км при 20 °C, а при 0 °C та –15 °C зменшується приблизно до 85 км і 60 км відповідно.

У роботі [13] наголошується, що літій-іонні акумулятори, які використовують в EVs, мають оптимальний температурний діапазон, а експлуатація поза ним призводить до прискореного старіння – зниження ємності та потужності, особливо в холодному кліматі. Відзначено, що оцінювання параметрів стану й керування тепловим режимом акумуляторів є взаємопов'язаними завданнями і мають розглядатися разом: стан та продуктивність батареї залежать від температури, а температура – від умов експлуатації, стану, конструкції та системи терморегулювання. Автори вважають, що перспективними методами для оцінювання пробігу EVs є пов'язані теплові та електричні моделі з адаптивною фільтрацією, а також методи рекурентних нейронних мереж.

У роботі [14] підкреслено, що точне моделювання акумуляторних систем EVs є важливим для оптимізації продуктивності, підвищення ефективності та продовження терміну служби батарей. Розглянуто основні електрохімічні механізми, які впливають на роботу акумулятора, зокрема внутрішній опір, стан заряду та температурні ефекти, і сформовано цілісне уявлення про математичне моделювання акумуляторів в EVs. Стаття [15] узагальнює різні підходи до моделювання, що використовуються для оцінки спожи-

вання енергії та запасу ходу EVs. Показано, що результати, отримані за допомогою аналітичної моделі транспортного засобу, добре узгоджуються з випробуваннями на динамометричному стенді шасі і можуть використовуватися для оптимізації розміру та конфігурації компонентів силової установки EVs.

Щодо впливу швидкості, численні дослідження [16–18] демонструють, що зі збільшенням швидкості понад 90 км/год витрата енергії зростає нелінійно через зростання аеродинамічного опору. Це підтверджено також у [19], де проаналізовано вплив різних циклів водіння (WLTP, EPA та NEDC) на енергоспоживання та запас ходу EVs.

Таким чином, наявні роботи [5–19] детально показують вплив температури та швидкості на стан акумулятора, енергоспоживання та пробіг електромобілів, а також пропонують різні підходи до моделювання цих процесів. Водночас для окремих моделей електромобілів, зокрема Hyundai Kona Electric, кількість емпіричних досліджень в реальних умовах експлуатації залишається обмеженою. Це обґрунтовує доцільність проведення даного дослідження.

Мета та постановка задачі

Метою дослідження є визначення впливу температури навколишнього середовища та швидкісних режимів руху на запас ходу електромобіля Hyundai Kona Electric у реальних умовах експлуатації в місті та на автомагістралі.

Особливу увагу приділено аналізу змін ефективності використання енергії високовольтної батареї за різних температурних режимів і швидкостей руху, що дозволяє оптимізувати стиль водіння та керування ресурсами батареї для підвищення енергоефективності електромобіля.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз публікацій щодо споживання енергії та запасу ходу EVs;
- визначити методологію дослідження та його основні етапи;
- експериментально дослідити особливості експлуатації EV в міських умовах за різних температур та швидкостей руху;
- експериментально дослідити особливості експлуатації EV на автомагістралі за різних температур та швидкостей руху.

Обладнання та методика дослідження

Для забезпечення достовірності та відтворюваності експериментальних вимірювань у дослідженні використовували такий комплект обладнання та інструментів [20].

1. Досліджуваний електромобіль:

- модель: Hyundai Kona Electric;
- рік випуску: 2019;
- Комплектація: максимальна, з наявністю зимового пакета;
- характеристики високовольтної батареї: тип – літій-іонна; ємність: 64 кВт·год; ступінь зносу батареї (SOH): 97,1 %;
- пробіг на момент дослідження: ≈155 тис. км.

2. Системи збору та фіксації даних:

- панель приладів (ПП) електромобіля (використовувалась для фіксації середнього споживання електроенергії за поїздки (рис. 1а));
- мультимедійна система (отримуються дані щодо розподілу споживаної енергії між основними системами авто).

3. Сканер для діагностики та збору інформації – Car Scanner ELM OBD-II. Він дозволяє отримувати наступні показники (рис. 1в):

- стану заряду батареї (SOC Display та SOC BMS);
- швидкості руху електромобіля;
- температури навколишнього середовища.

Передача даних від автомобіля здійснюється через Bluetooth-з'єднання зі смартфоном/планшетом з відповідним програмним забезпеченням.

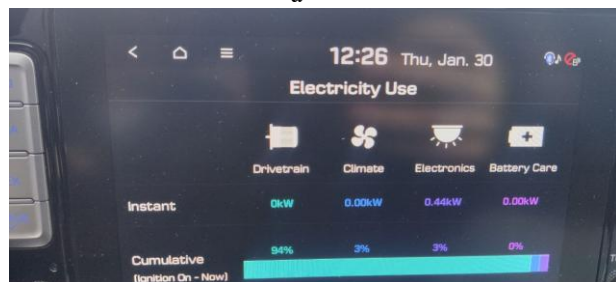
4. Умови тестування:

- маршрути міських випробувань – кільцевий маршрут протяжністю 26 км; для кожного температурного інтервалу виконували подвійний проїзд;
- маршрути випробувань на автомагістралі – ділянка автомагістралі довжиною 38 км; контроль швидкості руху на рівнях 90 км/год, 100 км/год, 110 км/год та 120 км/год.

Перед кожним заїздом скидали показники бортового комп'ютера, які відображаються на цифровій ПП електромобіля. Після завершення заїзду робили фотографії ПП, екрана мультимедійної системи та екрана застосунку Car Scanner ELM OBD-II. Отримані показники заносили до таблиці 1 для подальшого аналізу.



а



б



в

Рис. 1 – Фіксація показників експериментальних досліджень електромобіля Hyundai Kona Electric: а – дисплей панелі приладів; б – екран мультимедійної системи; в – екран сканера Car Scanner ELM OBD-II

Таблиця 1 – Показники експериментальних досліджень Hyundai Kona Electric у міських умовах експлуатації, 1-й заїзд за маршрутом довжиною 26 км

Дата	Час, хв	Спожив., кВт на 100 км	T, °C	Пробіг на 100% заряду, км			Display, %		BMS, %		Витрачено заряду, %		Витрати			
				3a Display	3a BMS	3a ПП	SOC, початок	SOC, кінець	SOC, початок	SOC, кінець	Display	BMS	Driv.-rain, %	Clim., %	Elec., %	Battery care, %
17.02.25	38	19,4	-14	325	347	330	59,5	51,5	57,5	50	8	7,5	65	28	7	0
11.02.25	42	19,3	-12	307	326	332	66	57,5	64	56	8,5	8	63	29	8	0
10.02.25	41	18,3	-8	400	400	350	50	43,5	49	42,5	6,5	6,5	-	-	-	0
09.02.25	38	17,5	-6,5	326	348	366	71	63	69	61,5	8	7,5	69	24	7	0
13.12.24	47	18,9	-3	473	520	339	87,5	82	85	80	5,5	5	73	16	11	0
03.12.24	40	16,3	-1,5	359	386	393	55,5	48,5	54	47,5	7	6,5	72	19	9	0
01.03.25	42	16,4	0	473	520	390	83,5	78	79	74	5,5	5	74	16	10	0
01.01.25	39	15,9	2	475	522	403	81,5	76	79	74	5,5	5	68	20	12	0
03.02.25	42	15,6	2,5	473	473	410	96	90,5	93	87,5	5,5	5,5	66	27	7	0
24.12.24	48	14,9	5,5	402	402	430	84	77,5	81,5	75	6,5	6,5	65	27	8	0
09.01.25	43	14,5	6,5	400	400	441	52,5	46	51	44,5	6,5	6,5	65	24	11	0
29.03.25	44	13,1	12	520	520	489	40	35	39	34	5	5	92	0	8	0
23.03.25	40	11,8	14	734	734	542	97,5	94	95	91,5	3,5	3,5	92	0	8	0
08.05.25	45	11,4	18	520	578	561	88	83	85,5	81	5	4,5	91	0	9	0
05.05.25	49	11,6	19	400	433	552	70	63,5	68	62	6,5	6	90	1	9	0
17.04.25	46	12	20	473	520	533	35	29,5	34	29	5,5	5	90	0	10	0
25.04.25	46	11,8	24	578	650	542	76	71,5	73,5	69,5	4,5	4	91	0	9	0
06.07.25	38	11,2	26	473	433	571	65,5	60	64	58	5,5	6	91	0	9	0
23.04.25	45	11,9	28	578	578	538	75,5	71	73,5	69	4,5	4,5	92	0	8	0
08.07.25	46	12,5	36	650	743	512	77	73	74,5	71	4	3,5	75	15	10	0

Дослідження електромобіля в міських умовах

На рис. 2 показано середній пробіг у міських умовах за різних температур відповідно до табл. 1. Найвищі значення досягаються за додатних температур, тоді як зниження температури суттєво впливає на запас ходу. Для формування більш повної картини дослідження проводили за трьома показниками:

- за показниками на ПП;

– за показниками остаточного заряду високовольтної АКБ, що відображаються на дисплеї;

– за показниками остаточного заряду високовольтної АКБ, що показують датчики BMS.

Також для розуміння загального тренду зміни показників пробігу побудовано лінію тренду, яка базується на показниках, що відображаються на дисплеї панелі приладів (крива з точок).

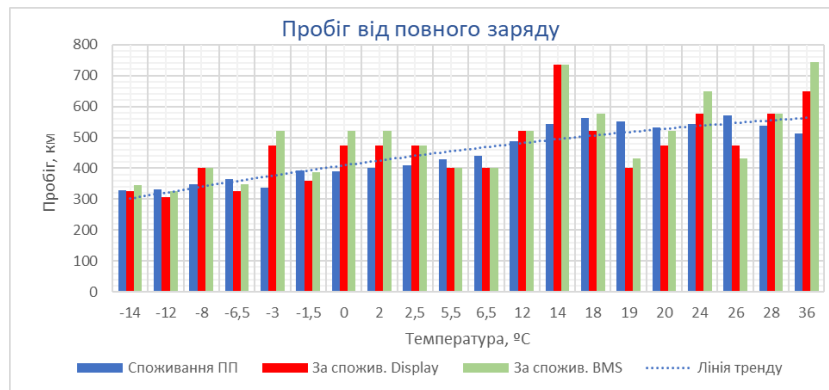


Рис. 2 – Міські умови: середній пробіг залежно від температури за показниками споживання енергії EV

Для опису зміни пробігу електромобіля залежно від температури навколишнього середовища найчастіше використовують лінійну або поліноміальну лінію тренду. Вибір типу лінії тренду залежить від характеру емпіричних даних. У цьому дослідженні обрано поліноміальну лінію тренду 2-го ступеня:

$$y=ax^2+bx+c,$$

де y – пробіг електромобіля; x – температура навколишнього середовища.

Вибір поліноміальної лінії тренду 2-го ступеня обумовлений її перевагами у порівнянні з іншими, а саме:

- вона добре описує реальну фізичну поведінку високовольної батареї електромобіля, коли зниження пробігу має нелінійний характер. Наприклад, при легкому похолоданні пробіг майже не змінюється, але при сильному морозі (нижче 0°C) він швидко па-

дає. Це характерно для електромобілів через поведінку високовольної батареї у холод;

- графік має форму параболи, що відображає U-подібну або перевернуту U-подібну криву залежно від контексту. Наприклад, зменшення пробігу при холоді.

За графіками рис. 2 видно, що пробіг електромобіля зростає з підвищенням температури і досягає максимального значення біля 26 °C. Потім, запас ходу повинен зменшуватися. Це пояснюється тим, що починає працювати кліматична система на охолодження салону електромобіля і, відповідно, витрачає на це енергію високовольної батареї.

За отриманими даними експериментальних досліджень побудовано графіки залежності споживання електроенергії електромобілем від температури навколишнього середовища, рис. 3.

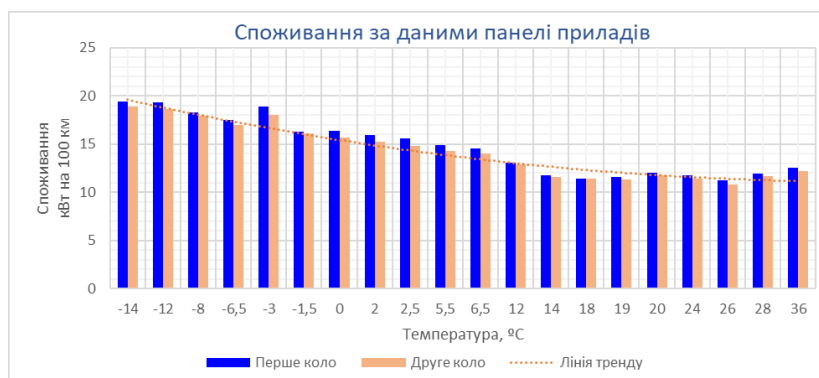


Рис. 3 – Міські умови: залежність споживання електроенергії (за показниками ПП) електромобілем Hyundai Kona Electric від температури навколишнього середовища

Другий заїзд (або друге коло) має трохи менші показники споживання електроенергії. Це пояснюється тим, що електросилова система електромобіля, а особливо високо-

вольтна батарея, прогрівається і виходить на свій оптимальний режим роботи. Відповідно, бортовий комп'ютер розраховує показники споживання електроенергії і пробігу елек-

тромобіля вже з урахуванням поточних умов. На початку роботи електромобіля здійснюється інтенсивна підготовка високовольтної батареї до її оптимальних параметрів (прогрівання або охолодження), тому, тут завжди показники будуть завищеними. Бортовий комп'ютер перераховує споживання у відповідності до пройденого шляху. Відповідно, більш реальними або адекватними можна вважати показники другого кола (заїзду), на які і будемо спиратися при подальшому аналізі. Тому, лінію тренду побудовано саме за даними другого кола випробувань.

Аналізуючи побудовані графіки можна зазначити, що температура 26 °C є найбільш оптимальною для даних умов експлуатації електромобіля Hyundai Kona Electric. Подальше зростання температури призводить до більшого споживання електроенергії електричними і електронними системами електромобіля. Найбільш сприятливий температурний діапазон для експлуатації Hyundai Kona Electric стано-

вить від 10 °C до 30 °C (рис. 2, рис. 3). Це досить широкий діапазон зовнішніх температур, який забезпечує ефективне використання електромобіля. Вихід температури за ці межі призводить до збільшення споживання електроенергії електричними та електронними системами автомобіля. Варто зазначити, що досліджуваний електромобіль оснащений зимовим пакетом і тепловим насосом, що додатково зменшує споживання електроенергії завдяки більшій ефективності системи опалення, як це показано у роботах [8–10].

Дослідження електромобіля в умовах автомагістралі

Також були проведені експериментальні дослідження залежності пробігу та електроспоживання електромобіля від температури навколишнього середовища на автомагістралі. Отримані дані зведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень експлуатації електромобіля Hyundai Kona Electric за круговим маршрутом довжиною 38,3 км по автомагістралі

Дата	Час, хв	Спожив., кВт на 100 км	Т, °C	Пробіг на 100% заряду, км			Display, %		BMS, %		Витрачено заряду, %		Витрати			
				За Display	За BMS	За ІІІ	SOC, початок	SOC, кінець	SOC, початок	SOC, кінець	Display	BMS	Driv. rain, %	Climate, %	Electronics %	Battery care, %
22.02.25	27	19	-11	349	366	337	73	62	70,5	60	11	10,5	90	7	3	0
22.02.25	24	20,7	-11	334	334	309	62	50,5	60	48,5	11,5	11,5	91	6	3	0
22.02.25	22	22,7	-11	295	306	282	50,5	37,5	48,5	36	13	12,5	92	5	3	0
22.02.25	20	24,4	-11	225	239	262	37,5	20,5	36	20	17	16	94	4	2	0
07.02.25	27	17,4	-4	451	479	368	82	73,5	79,5	71,5	8,5	8	94	3	3	0
07.02.25	24	19,7	-4	365	365	325	73,5	63	71,5	61	10,5	10,5	94	3	3	0
07.02.25	22	21,5	-4	319	333	298	63	51	61	49,5	12	11,5	94	3	3	0
07.02.25	21	24	-4	295	306	267	51	38	49,5	37	13	12,5	96	2	2	0
15.01.25	27	16,2	1,5	364	364	395	56	45,5	54,5	44	10,5	10,5	90	7	3	0
15.01.25	24	17,8	1,5	295	306	360	45,5	32,5	44	31,5	13	12,5	91	6	3	0
15.01.25	22	20,3	1,5	255	263	315	32,5	17,5	31,5	17	15	14,5	92	6	2	0
15.01.25	20	22,3	1,5	274	284	287	30	16	29	15,5	14	13,5	93	5	2	0
30.01.25	27	15,4	6	333	348	416	80,5	69	78	67	11,5	11	88	10	2	0
30.01.25	24	16,9	6	284	295	379	69	55,5	67	54	13,5	13	89	9	2	0
30.01.25	23	19,1	6	264	274	335	55,5	41	54	40	14,5	14	90	8	2	0
30.01.25	20	21,2	6	225	232	302	41	24	40	23,5	17	16,5	90	8	2	0
30.03.25	27	15,5	10	511	547	413	85	77,5	80,5	73,5	7,5	7	98	0	2	0
30.03.25	24	17,1	10	403	426	374	77,5	68	73,5	64,5	9,5	9	98	0	2	0
30.03.25	22	19,3	10	347	364	332	68	57	64,5	54	11	10,5	98	0	2	0
30.03.25	20	22,1	10	319	348	290	57	45	54	43	12	11	98	0	2	0
27.03.25	27	14	15,5	451	426	457	79	70,5	77	68	8,5	9	97	1	2	0
27.03.25	24	15,4	15,5	348	365	416	70,5	59,5	68	57,5	11	10,5	97	1	2	0
27.03.25	22	17,4	15,5	332	347	368	59,5	48	57,5	46,5	11,5	11	97	1	2	0
27.03.25	21	18,4	15,5	255	264	348	48	33	46,5	32	15	14,5	97	1	2	0
30.05.25	27	13,3	24	478	478	481	78,5	70,5	76,5	68,5	8	8	94	3	3	0
30.05.25	24	15	24	365	365	427	70,5	60	68,5	58	10,5	10,5	94	3	3	0
30.05.25	22	16,8	24	347	364	381	60	49	58	47,5	11	10,5	95	3	2	0
30.05.25	20	18,6	24	255	274	344	49	34	47,5	33,5	15	14	95	3	2	0
24.04.25	27	13,7	27	547	547	467	85	78	82,5	75,5	7	7	97	0	3	0
24.04.25	24	15,1	27	449	478	424	78	69,5	75,5	67,5	8,5	8	97	0	3	0
24.04.25	22	17	27	364	382	376	69,5	59	67,5	57,5	10,5	10	97	0	3	0
24.04.25	20	18,7	27	348	348	342	59	48	57,5	46,5	11	11	98	0	2	0
12.07.25	27	13,9	33	511	547	460	82,5	75	80	73	7,5	7	89	7	4	0
12.07.25	24	15	33	424	424	427	75	66	73	64	9	9	91	6	3	0
12.07.25	22	16,9	33	364	382	379	66	55,5	64	54	10,5	10	92	5	3	0
12.07.25	20	18,8	33	348	348	340	55,5	44,5	54	43	11	11	92	5	3	0

Дослідження проводили впродовж одного дня. Вимірювали показники при швидкостях 90 км/год (перший рядок табл. 2, позначений сірим фоном), 100 км/год (другий рядок), 110 км/год (третій рядок) та 120 км/год (четвертий рядок).

За даними табл. 2 побудовано графіки залежності пробігу електромобіля від температури навколишнього середовища при різних швидкостях руху, рис. 4.

Як видно з рис. 4, найменші пробіги спостерігаються при високих швидкостях та низьких температурах. Але найбільший інтерес викликає саме швидкість цих змін. Якраз це можна оцінити на наведених гістограмах, рис. 4.

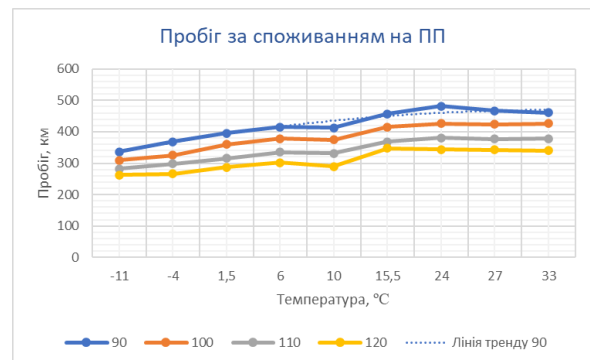
На рис. 5 наведено графік залежності споживання електроенергії (за показниками ПП) електромобілем Hyundai Kona Electric від температури навколишнього середовища, яку побудовано за даними табл. 2.

Порівнюючи графіки рис. 4 та рис. 5 можна зробити висновок, що загальний характер змін показників споживання електроенергії та пробігу електромобіля залишається незмінним, а самі конкретні значення різняться. При цьому дані за показниками датчиків BMS є зазвичай більшими. Це пояснюється тим, що, по-перше, система приблизно оцінює заряд високовольтної батареї електромобіля, і, по-друге, заряд за показниками датчиків BMS враховує всю ємність батареї, разом і з зарезервованою частиною (для електромобіля Hyundai Kona Electric це складає близько 3 кВт·год).

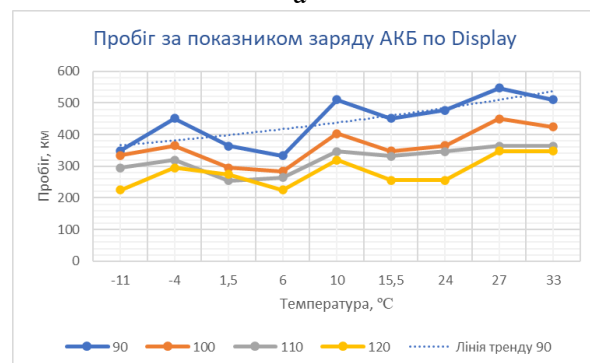
Варто зауважити, що у Hyundai Kona Electric система резервує частину ємності батареї для забезпечення її довговічності та надійності, а також для захисту від надмірної зарядки або розрядки. Зазвичай в електромобілях, це становить 5-10% від загальної ємності батареї, але точні цифри можуть варіюватися в залежності від конкретної моделі, конфігурації, версії програмного забезпечення електричних та електронних систем електромобіля, та його року випуску.

Проведені дослідження пробігу електромобіля за показниками заряду високовольтної батареї показали, що зменшення значення заряду є нелінійним. Тобто, чим менший заряд, тим швидше зменшуються показники пробігу електромобіля на ПП. Тому, для більш точного прогнозування та оцінювання залишкового пробігу електромобіля, слід орієнтуватися не лише на поточний рівень

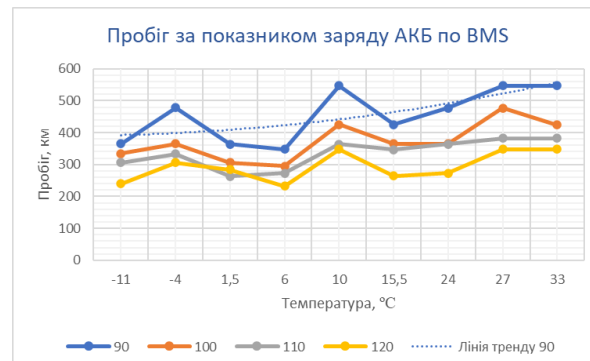
заряду, а враховувати витрати електроенергії та динаміку зміни стану заряду (SOC) високовольтної батареї в процесі її розряду.



а



б



в

Рис. 4 – Дослідження на автомагістралі: середній пробіг електромобіля Hyundai Kona Electric в залежності від температури та швидкості руху: а – за показниками споживання енергії на ПП; б – за показниками заряду високовольтної батареї, що відображаються на Display; в – за показниками заряду високовольтної батареї, що показують датчики BMS

Показники споживання енергії на ПП електромобіля є найбільш реалістичними та адекватними, тому, як і при дослідженні в міських умовах, надалі спиратимемося саме на них при формуванні загальних висновків і рекомендацій. Аналізуючи побудовані графіки (рис. 4 та рис. 5), можна зазначити, що під час руху по автомагістралі оптимальна тем-

пература навколишнього середовища, за якої забезпечується найбільший пробіг електро-мобіля Hyundai Kona Electric, становить близько 24 °С.

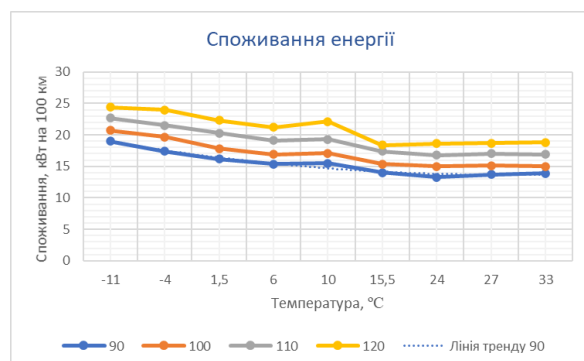


Рис. 5 – Дослідження на автомагістралі: залежність споживання електроенергії (за показниками ПП) електро-мобілем Hyundai Kona Electric від темпера навколишнього середовища

Цей показник дуже близький до значення для міських умов (26 °С) і фактично лежить у межах статистичної похибки. Навіть невеликий вітер зі швидкістю 3–4 м/с може додавати до 1,5 кВт·год/100 км споживання електроенергії, залежно від його напрямку [21]. Подальше зростання температури призводить до збільшення споживання електроенергії бортовими системами електро-мобіля. Найбільш сприятливий температурний діапазон для експлуатації Hyundai Kona Electric у трасових умовах становить від 15 °С до 27 °С згідно з результатами, наведеними на рис. 4 та рис. 5. Фактично цей температурний діапазон збігається з аналогічним діапазоном для міських умов експлуатації електро-мобіля. Як і в попередніх дослідженнях, вихід за межі цього діапазону температур призводить до підвищеного споживання електроенергії.

Висновки

Проведений аналіз експериментальних даних щодо впливу температури навколишнього середовища та швидкості руху на пробіг електро-мобіля Hyundai Kona Electric у реальних умовах експлуатації дозволяє зробити такі узагальнення.

Основними науковими результатами даної роботи є:

- показано, що температурний режим істотно впливає на ефективність роботи високовольтної батареї: за температур нижче 0 °С пробіг електро-мобіля помітно зменшується через погіршення хімічної активності

елементів батареї та зростання споживання енергії системами обігріву;

- встановлено, що зі збільшенням швидкості руху, особливо понад 90 км/год, різко зростає аеродинамічний опір, що призводить до підвищеного енергоспоживання і, відповідно, до зменшення запасу ходу;

- визначено, що для досліджуваного електро-мобіля Hyundai Kona Electric 2019 року випуску оптимальний температурний діапазон у міських умовах становить приблизно від 10 °С до 30 °С, а в умовах руху по автомагістралі – від 15 °С до 27 °С; саме в цих межах електро-мобіль демонструє найкраще співвідношення між витратами енергії та пройденою відстанню.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що на їх основі можна сформулювати прості рекомендації для підвищення пробігу електро-мобіля на одному заряді, а саме:

- підтримувати плавний стиль водіння без різких прискорень і гальмувань;

- у міських умовах максимально використовувати режим рекуперації для гальмування;

- під час руху по автомагістралі за потреби руху «накатом» зменшувати рівень рекуперації;

- уникати тривалого руху на високих швидкостях, особливо за низьких температур;

- планувати маршрути з урахуванням температури навколишнього середовища та потреб у кліматичному контролі;

- за наявності функції «Driver only» використовувати її для зменшення споживання енергії системою опалення та кондиціонування.

Отримані результати можуть бути корисними для водіїв, автопарків, логістичних компаній та виробників під час планування маршрутів, вибору режимів руху й налаштування систем керування енергією електро-мобіля. Водночас дослідження виконано для одного екземпляра Hyundai Kona Electric з певним станом батареї, на фіксованих маршрутах і в конкретних кліматичних умовах, що потрібно враховувати під час поширення висновків на інші моделі та регіони. Подальші дослідження доцільно спрямувати на аналіз інших моделей електро-мобілів з різними типами та станом батарей, а також на дослідження інших профілів маршрутів із поєд-

нанням експериментальних даних та деталь-ного моделювання енергоспоживання.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інте-ресів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Patlins, A., Hnatov, A., Kunicina, N., Arhun, S., Zabasta, A., & Ribickis, L. (2018, July). Sustainable pavement enabling electricity production for road lighting using green energy. In *2018 Energy and Sustainability for Small Developing Economies (ES2DE)* (pp. 1–2). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ES2DE.2018.8494236>
2. 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. <https://doi.org/10.1109/RTUCON51174.2020.9316601>
3. 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. <https://doi.org/10.3390/educsci10100282>
4. Аргун, Ш. В., Гнатов, А. В., & Ульянець, О. А. (2016). Екологічний та енергоефективний автомобільний транспорт та його інфраструктура. *Вісник ЖДТУ*, 2(77), 18–26. Arhun, Sh. V., Hnatov, A. V., & Ulyanets, O. A. (2016). Ekolohichnyi ta enerhoefektyvnyi avtomobilnyi transport ta yoho infrastruktura [Ecological and energy-efficient automobile transport and its infrastructure]. *Visnyk ZhDTU*, 2(77), 18–26. [in Ukrainian].
5. Qian, K., Zhou, C., Yuan, Y., & Allan, M. (2010, September). Temperature effect on electric vehicle battery cycle life in vehicle-to-grid applications. In *CICED 2010 Proceedings* (pp. 1–6). IEEE.
6. Samadani, E., Mastali, M., Farhad, S., Fraser, R. A., & Fowler, M. (2016). Li-ion battery performance and degradation in electric vehicles under different usage scenarios. *International Journal of Energy Research*, 40(3), 379–392. <https://doi.org/10.1002/er.3378>
7. Timilsina, L., Badr, P. R., Hoang, P. H., Ozkan, G., Papari, B., & Edrington, C. S. (2023). Battery degradation in electric and hybrid electric vehicles: A survey study. *IEEE Access*, 11, 42431–42462. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3271287>
8. Senol, M., Bayram, I. S., Naderi, Y., & Galloway, S. (2023). Electric vehicles under low temperatures: A review on battery performance, charging needs, and power grid impacts. *IEEE Access*, 11, 39879–39912. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3268615>
9. Ekoenergetyka. (2023). Does cold weather affect the performance of your electric vehicle (EV)? Retrieved from <https://ekoenergetyka.com/blog/does-cold-weather-affect-the-performance-of-your-electric-vehicle-ev/>
10. Seo, J., Vijayagopal, R., Kim, N., Rousseau, A., & Stutenberg, K. (2025). Effects of ambient temperature on electric vehicle range considering battery performance, powertrain efficiency, and HVAC load. *Energy Conversion and Management*, 326, 119493. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119493>
11. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., & Patlins, A. (2019, October). Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. In *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/RTUCON48111.2019.8982352>
12. Iora, P., & Tribioli, L. (2019). Effect of ambient temperature on electric vehicles' energy consumption and range: Model definition and sensitivity analysis based on Nissan Leaf data. *World Electric Vehicle Journal*, 10(1), 2. <https://doi.org/10.3390/wevj10010002>
13. Karlsen, H., Dong, T., Yang, Z., & Carvalho, R. (2019). Temperature-dependence in battery management systems for electric vehicles: Challenges, criteria, and solutions. *IEEE Access*, 7, 142203–142213. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2943558>
14. Bairwa, B., & Soujanya, R. (2024, April). Mathematical modeling and analysis of electric vehicle battery. In *2024 1st International Conference on Innovative Sustainable Technologies for Energy, Mechatronics, and Smart Systems (ISTEMS)* (pp. 48–53). IEEE.
15. Gurusamy, A., Ashok, B., & Mason, B. (2023). Prediction of electric vehicle driving range and performance characteristics: A review on

- analytical modeling strategies with its influential factors and improvisation techniques. *IEEE Access*, 11, 131521–131548.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3334620>
16. Galvin, R. (2017). Energy consumption effects of speed and acceleration in electric vehicles: Laboratory case studies and implications for drivers and policymakers. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 53, 234–248.
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.020>
17. Wager, G., Whale, J., & Braunl, T. (2016). Driving electric vehicles at highway speeds: The effect of higher driving speeds on energy consumption and driving range for electric vehicles in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 158–165.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.060>
18. Wang, J., Besselink, I., & Nijmeijer, H. (2015). Electric vehicle energy consumption modelling and prediction based on road information. *World Electric Vehicle Journal*, 7(3), 447–458.
<https://doi.org/10.3390/wevj7030447>
19. Kuttey, V. K., & Bali, S. K. (2024, July). Effect of various drive cycles on battery electric vehicle (BEV). In *2024 International Conference on Computational Intelligence for Green and Sustainable Technologies (ICCIGST)* (pp. 1–4). IEEE.
20. Hnatov, A., Arhun, S., & Migal, V. (2025). Experimental assessment of temperature and speed effects on Hyundai Kona Electric driving range and energy consumption. In *Transport Means 2025: Proceedings of the 29th International Scientific Conference Transport Means* (Kaunas, Lithuania, 1–3 October 2025).
21. Tran, T. B., Kolmanovsky, I., Biberstein, E., Makke, O., Tharayil, M., & Gusikhin, O. (2024). Effect of wind on electric vehicle energy consumption: Sensitivity analyses and implications for range estimation and optimal routing. *ACM Journal on Autonomous Transportation Systems*, 1(2), Article 8.
<https://doi.org/10.1145/3633460>

Гнатів Андрій¹, д.т.н., проф., завідувач каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0667430887, 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, shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Ульянець Ольга¹, асистент каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0957336312,

olga.ulyanets@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9384-4557>

Іванов Дмитро¹, аспірант каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0675723905, Kylinichii44@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8230-6854>

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

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

Impact of Ambient Temperature and Vehicle Speed on the Driving Range of Hyundai Kona Electric

Abstract. Problem. One of the key parameters for electric vehicle (EV) users is the actual driving range – the distance a vehicle can travel on a single battery charge. Environmental conditions, particularly ambient temperature, as well as driving style and vehicle speed, significantly affect energy consumption. Despite numerous technical reviews and manufacturer specifications, real-world operating conditions often show considerable deviations from the stated performance. Therefore, an empirical investigation into the influence of temperature and speed on the driving range, using the popular Hyundai Kona Electric as a case study, is highly relevant. **Goal.** This study aims to identify the relationship between ambient temperature, driving speed modes and the actual driving range of the Hyundai Kona Electric under real-world operating conditions. Special attention is given to how the efficiency of high-voltage battery usage changes under various temperature and speed conditions, enabling users to optimise driving style and energy management to enhance overall energy efficiency. **Methodology.** To ensure data reliability and repeatability, the research uses a 2019 Hyundai Kona Electric in its highest configuration, equipped with a heat pump. Data collection was carried out via the vehicle's dashboard, dedicated multimedia display screens and the Car Scanner ELM OBD-II diagnostic tool. Data transmission from the vehicle to a smartphone or tablet was performed via a Bluetooth connection with dedicated software. **Results.** Temperature significantly affects battery efficiency. At low temperatures (below 0 °C), a noticeable reduction in driving range is observed due to decreased electrochemical activity and increased energy consumption by heating systems. For urban driving conditions, the optimal ambient temperature range is between 10 °C and 30 °C. On highways, the

optimal temperature range narrows to between 15 °C and 27 °C; within these temperature ranges, the energy consumption and distance travelled show the most favourable balance. **Originality.** In highway operation, the optimal ambient temperature providing the maximum driving range is approximately 24 °C, which closely aligns with the optimal value for city driving, around 26 °C. Even light wind (3–4 m/s), depending on its direction, may increase energy consumption by up to 1.5 kWh per 100 km. **Practical value.** The study offers practical recommendations for EV users aiming to maximise driving range. The findings are valuable for individual drivers, fleet operators, logistics companies and manufacturers seeking to improve EV efficiency, reduce operating costs and extend battery lifespan.

Key words: electric vehicle, EV driving range, vehicle mileage, SOH, energy efficiency, Hyundai Kona Electric.

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>

Olha Ulianets¹, assistant professor of Vehicle Electronics Department, tel.+38 0957336312, olga.ulyanets@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9384-4557>

Dmytro Ivanov¹, post graduate student of Vehicle Electronics Department, tel.+38 0675723905, Kylinichii44@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8230-6854>

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

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