

О. П. Сакно¹
О. Р. Сакно¹
Є. П. Медведєв²
С. В. Цимбал³

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

²Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

³Вінницький національний технічний університет

Багато факторів впливають на пробіг електромобіля: швидкість, стиль водіння та температура навколишнього середовища можуть зменшити діапазон повної зарядки. Холодна погода створює дві основні проблеми для електромобілів: холодне повітря обмежує продуктивність акумулятора, а робота обігрівача значно розряджає акумулятор. Дослідження показали, що 21,5 градуса – оптимальна температура для роботи батареї електромобіля. У середньому 21,5 градуса за Цельсієм є найоптимальнішою температурою, коли йдеться про запас ходу електромобіля. Це фактично подовжує його роботу. При 21,5 градусах система температури електромобіля не працює, тому енергія використовується для його руху. При -20°C електромобіль втрачає робочий діапазон заряду батареї в середньому 50 %; при $-10 - 40$ %; при $0 - 20$ %. Коли температура тепла $+10^{\circ}\text{C}$, реальна дистанція руху електромобіля відповідає 100 % зарядки батареї. При $+21^{\circ}\text{C}$ реальна дистанція може бути збільшена до 15 %. Коли $+40^{\circ}\text{C}$, то продуктивність роботи батареї значно падає до 80 % і норма заряду швидко зменшується при зростанні температури. На енергоспоживання електромобілів значною мірою впливають погодні фактори. Дослідження продемонстрували вплив температури навколишнього середовища та швидкості вітру на споживання енергії. Результати показують, що на низьких швидкостях руху (30 км/год) відносний вплив температури навколишнього середовища є надзвичайно високим. Найменше енергоспоживання досягається за температури 20°C . При вищих швидкостях руху (130 км/год) відносний вплив температури зовнішнього середовища значно нижчий. Доведено, що 21,5 градуса – оптимальна температура навколишнього середовища для роботи батареї електромобіля в процесі експлуатації. Зменшення або зростання температури призводить до зменшення ефективності експлуатації електромобіля.

Ключові слова: електромобіль, температура навколишнього середовища, енергія, експлуатація.

Вступ

У наш час транспортні засоби вважаються життєво важливими елементами повсякденного життя для особистої мобільності та транспортування товарів, про що свідчить постійний попит на нафту. Водночас зростання вартості палива та зростання глобальної стурбованості щодо навколишнього середовища через забруднення повітря та зміни клімату викликали побоювання. Саме тому деякі уряди заохочують виробників автомобілів створювати екологічно чисті транспортні альтернативи з низьким рівнем викидів. У цьому контексті електричні транспортні засоби (EV) були розроблені та використані для мінімізації залежності від викопного палива; це сприяло скороченню викидів парникових газів та інших забруднюючих речовин. Крім того, стандарти викидів транспортних засобів були введені для запобігання шкоди навколишньому середовищу, спричиненій звичайними транспортними засобами; кілька країн, наприклад, Сполучені Штати, Велика Британія, Японія та деякі країни Європи, прийняли стандарти щодо транспортних систем для зменшення викидів транспортних засобів. У цьому контексті чистий відсоток «атмосферних аерозольних частинок», які виробляються вихлопними газами транспортних засобів, значно зменшився на 99 % після стандартів викидів Євро-5. Крім того, рівень викидів двоокису вуглецю та діоксиду азоту значно скоротився, починаючи зі стандарту викидів Євро-1. Проте до 2030 року в Європі планується скоротити викиди двоокису азоту на 35 мг/км і вуглекислого газу на 95 г/км.

Зовні електромобіль виглядає майже як звичайний автомобіль із двигуном внутрішнього згорання. Однак є кілька зовнішніх ознак, які відрізняють електромобіль від традиційних авто. Замість двигуна внутрішнього згорання, складної вихлопної системи, мастила, системи охолодження, трансмісії, паливного бака та радіаторів в електромобілі знаходяться компактні електромотори і невеликі радіатори для охолодження батареї, яка розташована в підпільному просторі.

Завдяки цьому зведено до мінімуму кількість тертьових деталей, що дає змогу значно зекономити кошти і час на технічне обслуговування та ремонт. Різниця у вартості між бензином і електрикою є

суттєвою. Отже, електромобіль є більш ефективним і водночас простішим транспортним засобом.

Результати дослідження

Ефективність сучасного турбованого двигуна внутрішнього згорання не перевищує 30 %. Решта 70 % енергії витрачається на нагрівання повітря, втрати в трансмісії та шкідливі викиди. Водночас коефіцієнт корисної дії електродвигуна становить щонайменше 85 %. Крім того, кожне нове покоління батарей стає досконалішим – зростає їх ємність і здатність приймати більший заряд за короткий час. Електродвигуни можуть розвивати крутий момент у 3–5 разів більший при 15000–19000 обертів на хвилину, швидше розганятися й ефективніше гальмувати, використовуючи енергію уповільнення для зарядки батареї.

Згідно зі звітом IDTechEx «Electric Motors for Electric Vehicles 2022–2032» [1] є тенденції та новітні технології на ринку двигунів для електромобілів. Велика база даних моделей, що містить понад 250 од. моделей електромобілів, проданих у період із 2015 по 2023 рр. у кількох географічних регіонах, допомагає детальному аналізу ринку типу двигуна, продуктивності, управління температурою та частки ринку. Технології та стратегії основних автовиробників розглядаються для легкових, двоколісних, легких комерційних автомобілів (фургонів), вантажних автомобілів та автобусів, а також кількох варіантів використання та порівняльного аналізу кількох двигунів (рис. 1, [2]).

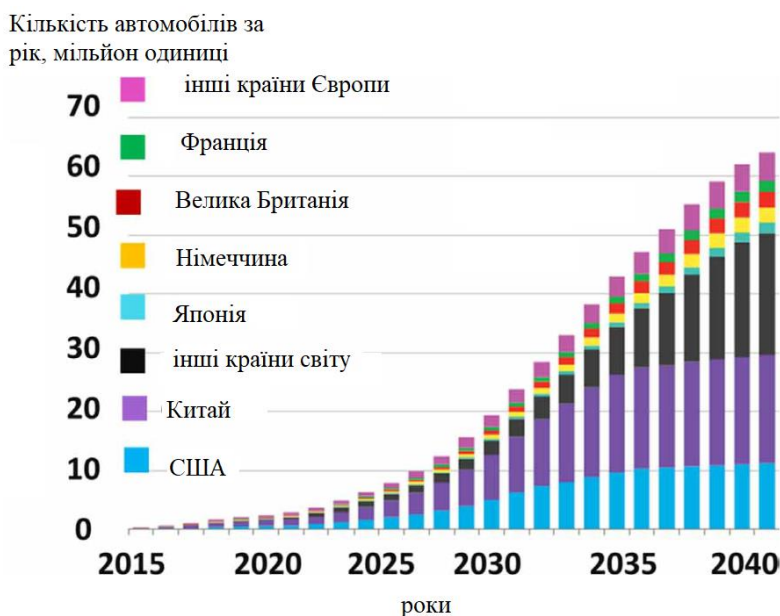


Рис. 1. Щорічний продаж електромобілів у світі з прогнозуванням до 2040 року

Батарея складається з осередків, кожна з яких містить кілька десятків звичайних побутових літій-іонних батарейок типу ААА. Таке рішення дає змогу швидше охолоджувати елементи, що швидко нагріваються. Система охолодження має множину мереж каналів, заповнених гліколевим холодоагентом, контур руху якого пов'язаний із компактними радіаторами в передніх повітрозабірниках. Тому більшість електромобілів мають абсолютно гладкий обтічний профіль. Місткість сучасних батарей залежно від класу електромобіля становить від 40 до 100 кВт/год, що дає змогу проїжджати від 150 до 400 км на одному заряді.

Сучасні електромобілі залежно від потужності батареї та двигунів здатні розганятися з місця до 100 км/год за 5–7 секунд, що можна порівняти з розгоном автомобіля із ДВЗ потужністю 250–350 к. с. Але найшвидший у світі серійний електрокар Rimac C_Two здатний долати 100 км за 1,85 секунди [3].

Безперечною перевагою електромобілів є також те, що момент обертання електромотора, що крутить, лінійно передається безпосередньо колесам. Водночас ДВЗ перетворює поступальні рухи поршнів на обертання колінчастого валу і далі через систему шестерень і фрикціонів трансмісії провідним колесам. Для подолання такої «смуги перешкод» автомобілю потрібно більше потужності, а отже, – більше палива та об'єму двигуна [5].

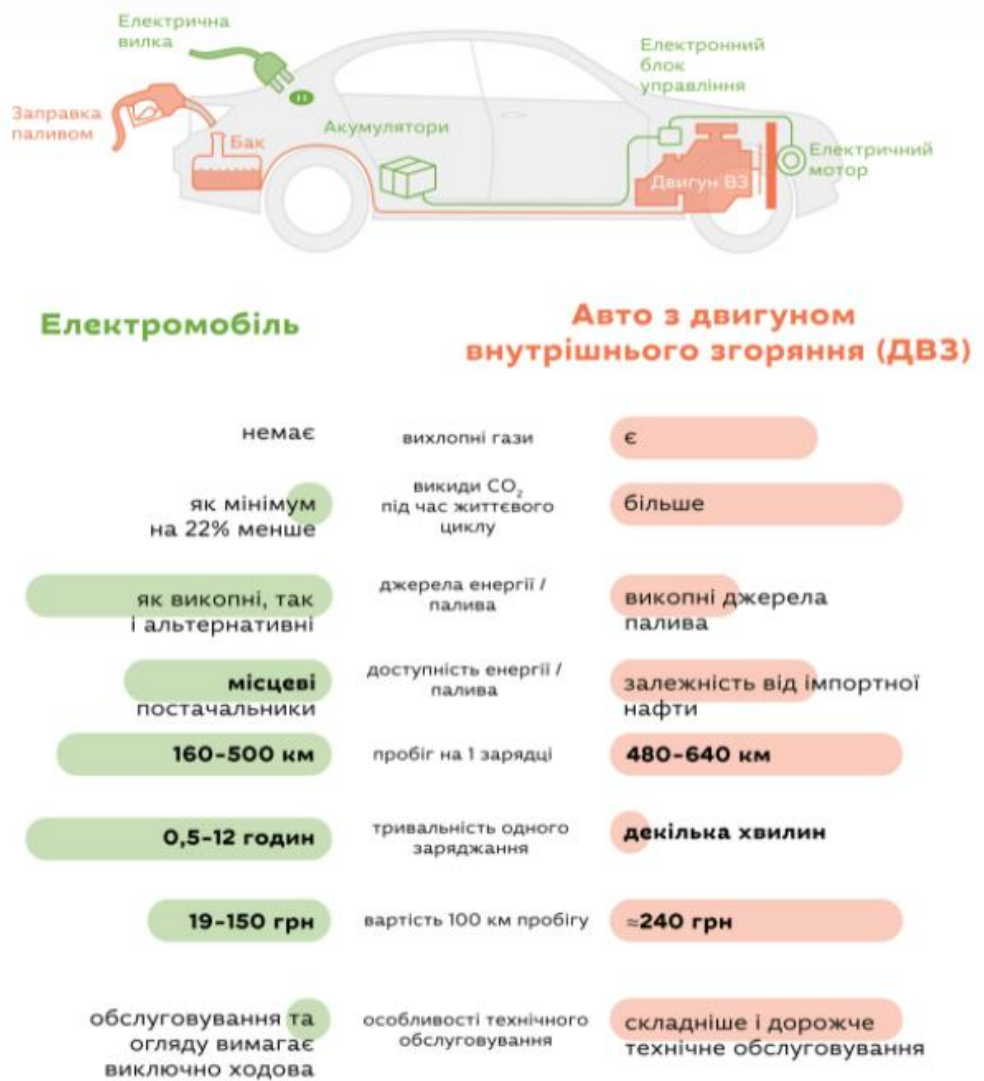


Рис. 2. Порівняльна характеристика електромобіля з автомобілем із ДВЗ [4]



Рис. 3. Зовнішній вигляд батареї [1]

Багато факторів впливають на пробіг електромобіля: швидкість, стиль водіння та температура навколишнього середовища можуть зменшити діапазон повної зарядки. Холодна погода створює дві основні проблеми для електромобілів: холодне повітря обмежує продуктивність акумулятора, а робота обігрівача значно розряджає акумулятор.

Аналітична компанія Geotab [6] дослідила 5,2 мільйона поїздок на 42 тис. од. електромобілів, розподілених між 102 різними марками та моделями. Дослідження показує, що температура значною мірою однаково впливає на запас ходу електромобілів різних марок і моделей.

І низькі, і високі температури негативно впливають на запас ходу електромобіля. Найгірше – холодна погода. Чим холодніша погода, тим густіший електроліт буде в батареї, що ускладнить утримання енергії, а також її проходження через систему.

Електромобілі призначені для нагрівання або охолодження акумулятора, щоб акумулятор працював якнайкраще. І оскільки оптимальна температура для більшості батарей становить від 15 до 30 градусів за Цельсієм, частина енергії використовується для покриття цієї потреби.

Система опалення автомобіля також є фактором, коли справа доходить до кондиціонування повітря. Якщо їхати за -20 градусів, то, найімовірніше, підвищується температура під час руху, а спекотний літній період водієві і пасажиром хочеться холодного повітря в салоні. Незалежно від того, перше чи друге, результат однаковий: енергія використовується для контролю температури повітря в автомобілі, а не для переміщення автомобіля.

Дослідження американських вчених [6–7] показали, що $21,5$ градуса – оптимальна температура для роботи батареї електромобіля. Через те, що у середньому $21,5$ градуса за Цельсієм є найоптимальнішою температурою, коли йдеться про запас ходу електромобіля, це фактично подовжує його роботу. При $21,5$ градусах система температури автомобіля не працює, тому енергія використовується для руху автомобіля (рис. 4).

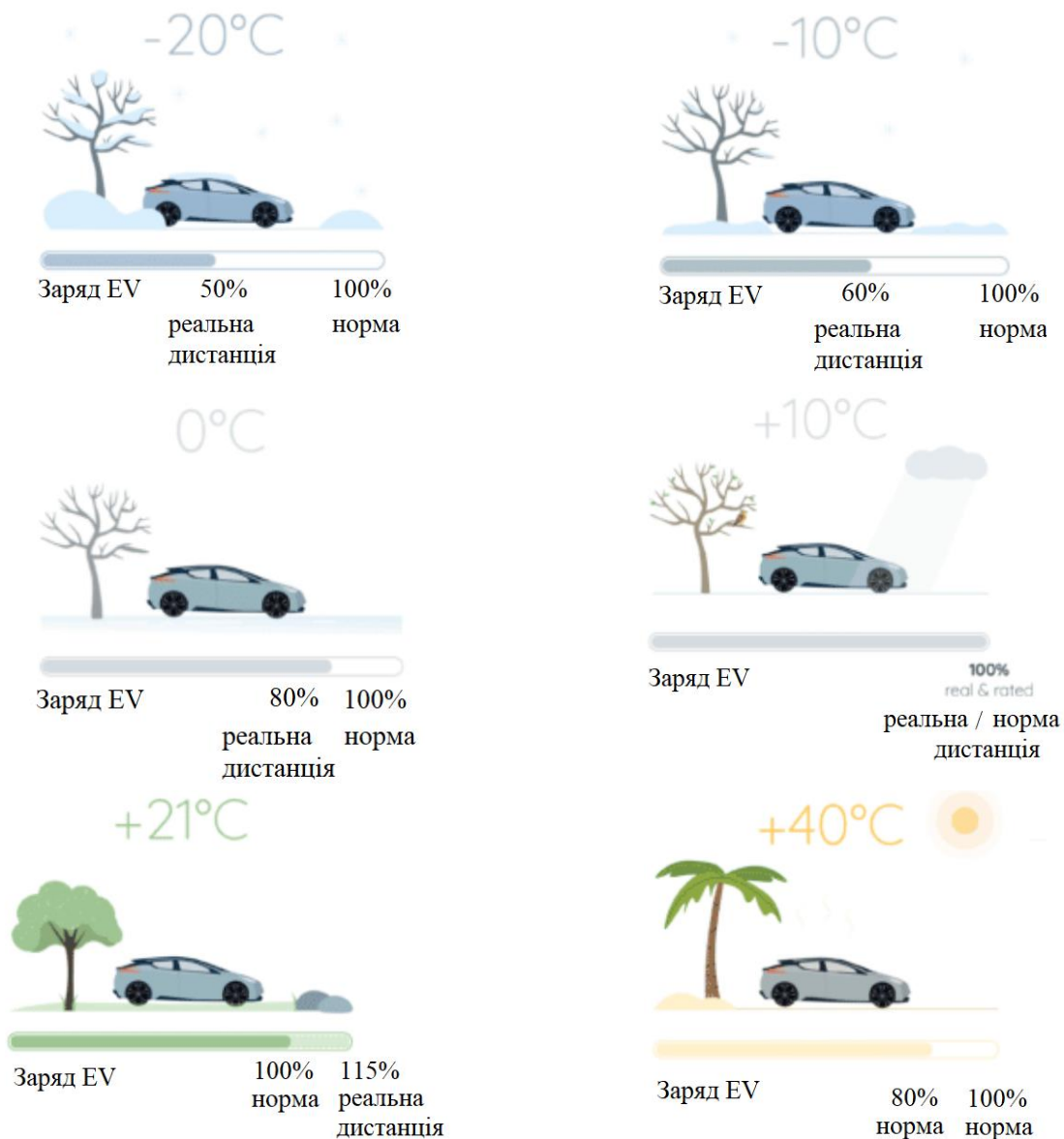


Рис. 4. Вплив температури навколишнього середовища на зміну потреби в енергії

За -20°C електромобіль втрачає робочий діапазон заряду батареї в середньому 50 %; за $-10 - 40$ %, за $0 - 20$ %. Коли температура тепла $+10^{\circ}\text{C}$, реальна дистанція руху електромобіля відповідає 100 % зарядки батареї. За $+21^{\circ}\text{C}$ реальна дистанція може бути збільшена до 15 %. Коли $+40^{\circ}\text{C}$, то продуктивність роботи батареї значно падає до 80 % і норма заряду швидко зменшується у разі зростання температури.

Високі або низькі температури навколишнього середовища спричиняють помітне зменшення відстані, яку транспортний засіб може проїхати до підзарядки. Таке використання збільшує потребу в енергії, що зберігається в акумуляторі автомобіля, призвівши до зменшення запасу ходу, особливо за низьких температур. Збільшення потреби в енергії влітку та взимку для різних електромобілів можна побачити на рисунках 5–6. Паралельно з цими висновками можна зробити висновок, що Nissan Leaf, який має запас ходу 161 км при 25°C , забезпечує запас ходу 49 км при -25°C . Діапазони відстаней, що пов'язані з температурою навколишнього середовища для кількох електромобілів, показані на рисунку 5. Можна помітити, що електромобілі мають максимальний радіус дії, коли температура навколишнього середовища становить 21°C . Коли температура падає або перевищує 21°C , дальність руху зменшується.

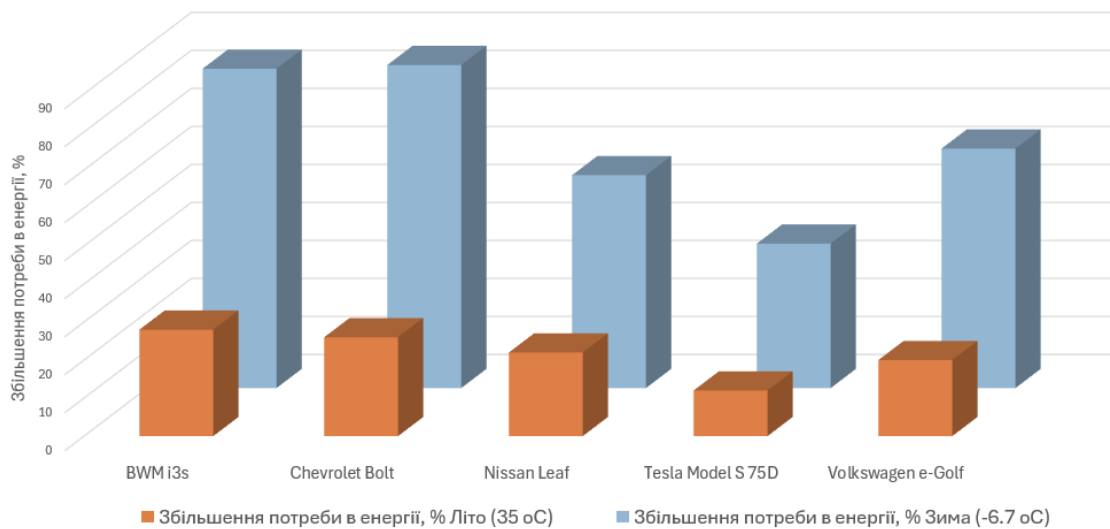


Рис. 5. Вплив температури навколишнього середовища на зміну потреби в енергії

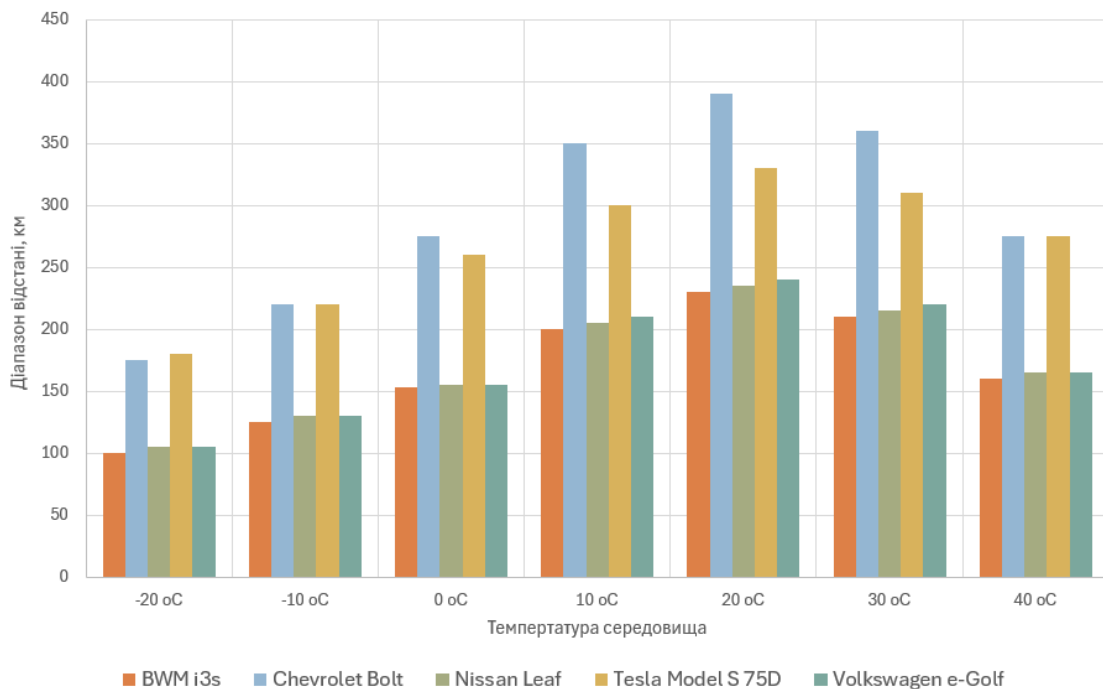


Рис. 6. Вплив температури навколишнього середовища на діапазон відстані руху електромобіля

На енергоспоживання значною мірою впливають погодні фактори. На рисунку 7 показано вплив температури навколишнього середовища та швидкості вітру на споживання енергії. Результати показують, що на низьких швидкостях руху (30 км/год) відносний вплив температури навколишнього середовища є надзвичайно високим. Найменше енергоспоживання досягається за температури 20°C. При вищих швидкостях руху (130 км/год) відносний вплив температури значно нижчий.

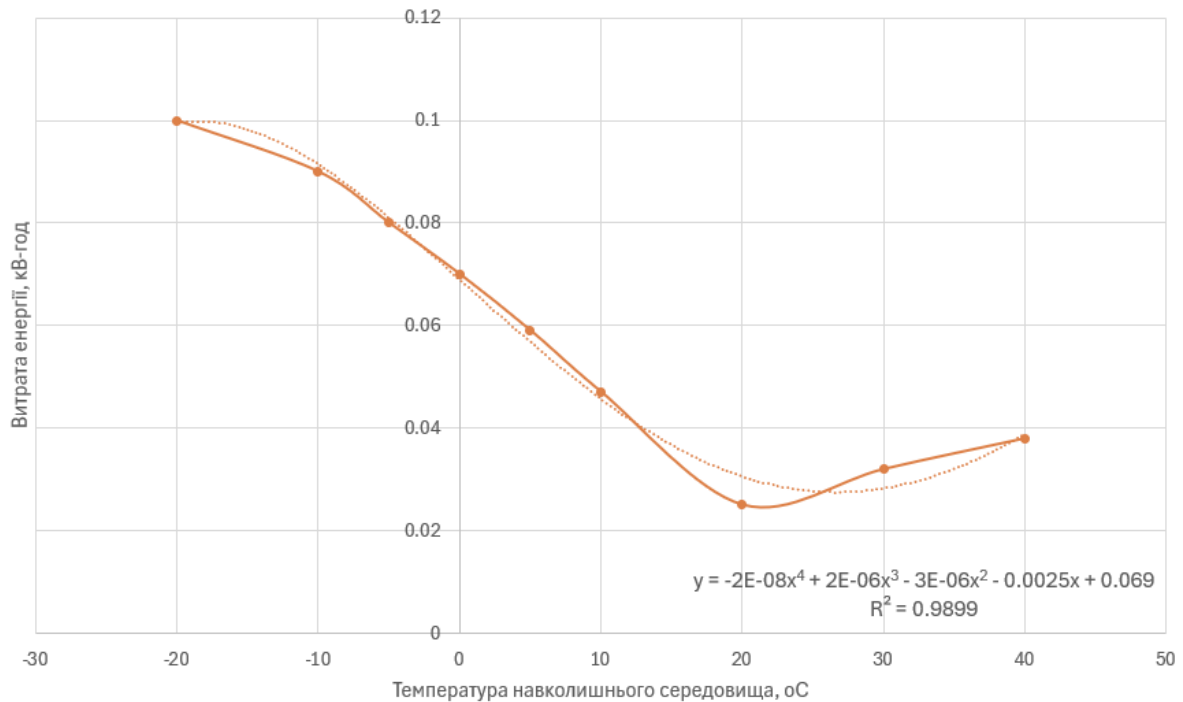


Рис. 7. Витрати енергії для різних температур навколишнього середовища під час руху електромобіля зі швидкістю 30км/год

Отже, можна отримати рівняння витрати енергії для температур навколишнього середовища до 20°C (рис. 8):

$$B = -0.0019t + 0.0673 .$$

Рівняння витрати енергії для температур навколишнього середовища вище 20°C (рис. 9):

$$B = 0.0006t + 0.0122.$$

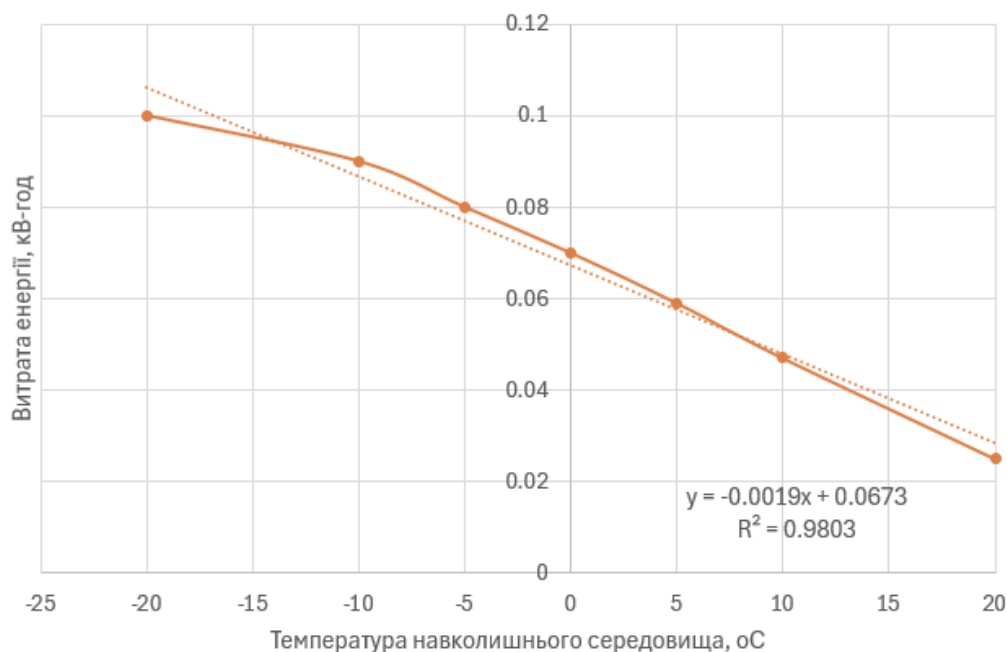


Рис. 8. Витрати енергії для різних температур навколишнього середовища під час руху електромобіля зі швидкістю 30 км/год до 20°C

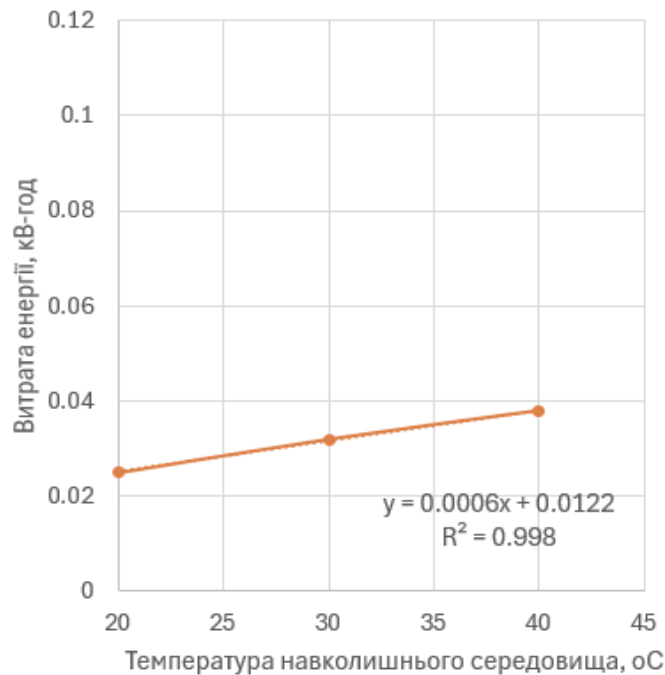


Рис. 9. Витрати енергії для різних температур навколишнього середовища під час руху електромобіля зі швидкістю 30 км/год понад 20°C

Маємо систему рівнянь витрати енергії для температур навколишнього середовища під час руху електромобіля:

$$\begin{cases} B = -0.0019t + 0.0673, & \text{при } -20^\circ\text{C} \leq t \leq 20^\circ\text{C} \\ B = 0.0006t + 0.0122, & \text{при } t \geq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

Отже, 21,5 градуса – оптимальна температура навколишнього середовища для роботи батареї електромобіля, зменшення або зростання температури призводить до зменшення ефективності експлуатації електромобіля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Electric Motors for Electric Vehicles 2022–2032. URL: <https://www.idtechex.com/en/research-report/electric-motors-for-electric-vehicles-2022-2032/842>
- [2] Hussain M., M.M. Sufyan Beg, M. Saad Alam, Haque Laskar S. Big Data Analytics Platforms for Electric Vehicle Integration in Transport Oriented Smart Cities: Computing Platforms for Platforms for Electric Vehicle Integration in Smart Cities. *International Journal of Digital Crime and Forensics*. 2019. Vol. 11, Issue 3, Doi: 10.4018/IJDCF.2019070102
- [3] EV-Volumes. URL: <https://www.ev-volumes.com/country/total-world-plug-in-vehicle-volumes/>
- [4] E-cars24. URL: <https://ecars24.info/stati/kak-ustroyeni-i-kak-rabotayut-sovremennye-elektromobili>
- [5] Як влаштований електромобіль: який принцип роботи? *E-auto*. URL: <https://e-auto.in.ua/pristrij-elektromobiliv-yakij-princip-roboti/>
- [6] See how temperature affects the range of your EV. *Monta*. URL: <https://monta.com/uk/blog/how-temperature-affects-ev-range/>
- [7] American Automobile Association (AAA) Electric Vehicle Range Testing. *American Automobile Association, Inc.*, Heathrow, FL, USA, 2019

Сакно Ольга Петрівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри «Автомобілі та автомобільне господарство», e-mail: sakno-olga@ukr.net

Сакно Олена Русланівна – студентка гр. 274-22-1, механіко-машинобудівний факультет, e-mail: sakno.o.r@nmu.one

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

Медведєв Євген Павлович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин, e-mail: medvedev.ep@gmail.com

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Київ

Цимбал Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

O. Sakno¹
O. Sakno¹
Ie. Medvediev²
S. Tsymbal³

Study of the influence of external factors on the operational properties of an electric vehicle

¹National Technical University "Dnipro Polytechnic"

²Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

³Vinnnytsia National Technical University

Many factors affect the range of an electric vehicle: speed, driving style and ambient temperature can reduce the range of a full charge. Cold weather poses two main problems for electric vehicles: cold air limits battery performance, and the robo-heater significantly drains the battery. Studies have shown that 21.5 degrees is the optimal temperature for the operation of an electric car battery. Because an average of 21.5 degrees Celsius is the most optimal temperature when it comes to the range of an electric car. This actually prolongs its operation. At 21.5 degrees, the electric car's temperature system does not work, so energy is used for its movement. At -20°C, an electric car loses an average of 50% of its battery charge range. At -10 – 40%, at 0 – 20%. When the temperature is +10o C, the real driving distance of the electric car corresponds to 100% charging of the battery. At +21 o C, the real distance can be increased to 15%. When it is +40oC, the performance of the battery drops significantly to 80%, and the rate of charge rapidly decreases as the temperature increases. The energy consumption of electric vehicles is largely influenced by weather factors. Studies have shown the influence of ambient temperature and wind speed on energy consumption. The results show that at low speeds (30 km/h) the relative influence of ambient temperature is extremely high. The lowest energy consumption is achieved at a temperature of 20° C. At higher speeds (130 km/h), the relative influence of the temperature of the external environment is much lower. It has been proven that 21.5 degrees is the optimal ambient temperature for the operation of an electric car battery during operation, a decrease or increase in temperature leads to a decrease in the efficiency of electric car operation.

Key words: electric car, ambient temperature, energy, operation.

Sakno Olha – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Automobiles and Automobile Economy, e-mail: sakno-olga@ukr.net

Sakno Olena – student of group 274-22-1, Faculty of Mechanical Engineering, e-mail: sakno.o.r@nmu.onet

Medvediev Ievgen – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Railway and Road Transport, Lift and Care Systems, e-mail: medvedev.ep@gmail.com

Tsymbal Serhii – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: tsymbal_s_v@ukr.net