

Стадник О. С., к.т.н., доцент, Гнеушев В. О., к.т.н., доцент, Ключко В. А., студент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТІ ЦІНИ ВЖИВАНИХ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ВІД ЇХ ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ

Впродовж останніх років у всьому світі спостерігається швидке зростання кількості електромобілів. І в Україні, станом на 1 січня 2022 року, їх кількість становила 33592 одиниці. Найбільш поширеними моделями електрокарів в Україні є Nissan Leaf, Tesla Model 3, Renault Zoe, Volkswagen E-Golf, Tesla Model S, Chevrolet Bolt. Основною проблемою використання електромобілів в Україні є недостатньо розвинена інфраструктура, зокрема недостатня кількість станцій для підзарядки тягових акумуляторних батарей. Зі збільшенням кількості електрокарів зростає їх пропозиція і на вторинному ринку. Вживані електромобілі є дешевшими і доступнішими для ширшого кола людей. Ціна електромобілів на вторинному ринку суттєво залежить від їх технічних та експлуатаційних показників.

Метою цієї роботи є аналіз впливу основних технічних та експлуатаційних показників, таких як вік, пробіг, потужність електродвигуна, ємність тягової акумуляторної батареї та запас ходу на ціну вживаних електромобілів вторинного ринку України.

На підставі виконаного теоретичного аналізу обґрунтовано, що ціна вживаних електрокарів залежить від їх залишкового технічного ресурсу, який зменшується залежно від віку та пробігу. Запропоновано експоненційну та лінійну моделі зміни ціни вживаних електромобілів залежно від періоду їх експлуатації.

За результатами лінійного регресійного аналізу отримані рівняння регресії для розрахунку ціни вживаних електромобілів Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe залежно від віку, пробігу потужності двигуна, ємності акумуляторної батареї та запасу ходу.

Показано, що найбільш суттєво на ціну електромобілів впливає їх вік. Кожен наступний рік експлуатації електромобіля марки Nissan Leaf знижує його ціну на вторинному ринку на 706,3 USD, електромобіля марки Tesla Mode 3 – на 1350,7 USD, електромобіля марки Renault Zoe – на 969,7 USD. У відсотках ціна електромобіля



марки Tesla Model 3 зменшується на 3,8% за рік відносно середньої, тоді як ціна електромобілів марки Nissan Leaf знижується на 4,9%, а електромобілів марки Renault Zoe – на 5,3%.

Ключові слова: електромобіль; ціна; технічні показники; експлуатаційні показники; запас ходу.

Кількість електрокарів стрімко зростає, що передусім пов'язано з їх екологічністю. У світі, станом на кінець 2020 року, налічувалося 9,9 млн електромобілів [1]. В Україні кількість електромобілів також швидко збільшується. Станом на 1 січня 2022 року їх кількість становила 33592 одиниці [2], що менше 1% від загальної кількості усіх легкових автомобілів в країні. Найбільш поширеними моделями електромобілів, що обирають в Україні є Nissan Leaf, Tesla Model 3, Renault Zoe, Volkswagen E-Golf, Tesla Model S, Chevrolet Bolt та інші [3]. Основною проблемою використання електромобілів в Україні є недостатньо розвинена інфраструктура, зокрема недостатня кількість станцій для підзарядки тягових акумуляторних батарей.

Вторинний ринок електрокарів в Україні поступово зростає. Станом на 28.01.2023 на сайті AVTO.RIA було представлено 1107 пропозицій електромобілів Nissan Leaf, 669 пропозицій – Tesla Model 3, 355 пропозицій – Renault Zoe, 549 пропозицій – Tesla Model S, 308 пропозицій – Volkswagen E-Golf.

Ціна електромобілів на вторинному ринку суттєво залежить від їх марок і основних технічних та експлуатаційних показників: віку, пробігу, потужності двигуна, ємності акумуляторної батареї, запасу ходу та технічного стану.

У попередніх дослідженнях, на основі даних сайту AVTO.RIA, виконано аналіз залежності ціни вживаних електромобілів найбільш поширених в Україні марок Nissan Leaf, Tesla Model 3, Renault Zoe від віку, пробігу, потужності електродвигуна, ємності тягової акумуляторної батареї та запасу ходу [4–7]. У статті наведено узагальнення раніше виконаних досліджень.

Метою роботи є аналіз впливу основних технічних та експлуатаційних показників – віку, пробігу, потужності електродвигуна, ємності тягової акумуляторної батареї, запасу ходу – на ціну вживаних електромобілів вторинного ринку України.

Після початку експлуатації ціна вживаного електромобіля знижується і залежить, переважно, від залишкового ресурсу основних його комплектуючих, зокрема кузова, тягової акумуляторної батареї,

електродвигуна, силової електроніки. При купівлі електромобіля на вторинному ринку особливу увагу приділяють стану тягової акумуляторної батареї, маса якої, зазвичай, становить від 25 до 40% від загальної маси, а ціна – від 28 до 40% від середньої ціни електрокара (розрахована на прикладі електромобіля марки Nissan Leaf).

Підприємства-виробники у технічній документації зазначають термін експлуатації транспортного засобу. Усі основні вузли розраховані на відпрацювання цього терміну при належному технічному обслуговуванні. У процесі експлуатації будь-якого транспортного засобу зменшується його технічний ресурс, пов'язаний зі зношуванням основних вузлів. Відповідно до зменшення технічного ресурсу знижується і ціна транспортного засобу. У роботі [8] на прикладі автомобіля Audi показано зниження ціни залежно від періоду експлуатації, значення якого розбито на три основні періоди: період престижної вартості – до 5 років, період задовільної вартості – від 5 до 10 років та період залишкової вартості – більше 10 років. Після 30 років експлуатації ціна автомобіля зменшується до вартості матеріалів.

Зміна ціни електромобілів у процесі експлуатації дещо відрізняється від зниження ціни автомобілів з двигуном внутрішнього згорання. Різниця зумовлюється помітними відмінностями у конструкції: менша кількість механічних передач в електромобілі і наявність тягової акумуляторної батареї та силової електроніки.

У перші роки експлуатації ціна електромобіля близька до ринкової, її зниження незначне. Далі настає період рівномірного зниження ціни майже до рівня у 2–3 рази вищого залишкової вартості матеріалів, з яких виготовлений електромобіль. В кінці періоду експлуатації зниження ціни не таке суттєве і прямує до залишкової вартості матеріалів електромобіля.

Залишковий ресурс транспортного засобу класично визначають за пробігом, але фактор тривалості періоду експлуатації (віку) є також вагомим, оскільки навіть при простоті електромобіля відбуваються хімічні реакції у літій-іонній акумуляторній батареї, старіють і втрачають експлуатаційні якості пластикові та гумові частини, відбувається корозія деталей. Усі ці процеси підпорядковуються експоненційному закону залежності функціональних (і цінових) втрат від віку транспортного засобу. З іншого боку, зношення механічних передач, підшипників залежить переважно від пробігу. Зниження їх ресурсу також підпорядковується експоненційному закону від пробігу. Отже, якщо річний пробіг електромобіля змінюється у невеликому діапазоні,



то зниження його ціни має відповідати експоненційному закону залежно від віку.

$$P = (P_0 - P_{\text{зал}})e^{-ax} + P_{\text{зал}}, \text{ USD}, \quad (1)$$

де P – ціна електромобіля, USD; P_0 – початкова ціна електромобіля, USD; a – коефіцієнт що характеризує швидкість зниження ціни електромобіля, рік⁻¹; x – період експлуатації електромобіля; $P_{\text{зал}}$ – залишкова ціна електромобіля у кінці періоду експлуатації, USD.

З урахуванням того, що ціна електромобіля у перші роки експлуатації може знижуватися не так швидко, можна використати модель з квадратом віку

$$P = (P_0 - P_{\text{зал}})e^{-ax^2} + P_{\text{зал}}, \text{ USD}, \quad (2)$$

де P – ціна електромобіля, USD; P_0 – початкова ціна електромобіля, USD; a – коефіцієнт, що характеризує швидкість зниження ціни електромобіля, рік⁻²; x – період експлуатації електромобіля; $P_{\text{зал}}$ – залишкова ціна електромобіля у кінці періоду експлуатації, USD.

З урахуванням порівняно невеликого періоду експлуатації електромобілів в Україні (до 11 років для вищеназваних марок), і їх ціна в цей період знижується рівномірно, було запропоновано використати лінійну модель зниження ціни залежно від віку і пробігу електрокару, потужності його електродвигуна, ємності тягової акумуляторної батареї та запасу ходу:

$$P = a + bA + cL + dW + kE + mD, \text{ USD}, \quad (3)$$

де P – ціна електромобіля, USD; a, b, c, d, k, m – коефіцієнти рівняння регресії, що показують вплив кожного фактору на ціну вживаного електромобіля; A – період експлуатації (вік), років; L – пробіг, тис. км; E – ємність акумуляторної батареї, кВт·год; W – потужність електродвигуна, кВт; D – запас ходу, км.

Така модель дозволяє більш глибоко і конкретно проаналізувати вплив кожного із вказаних факторів на ціну електромобілів на вторинному ринку України.

Отже, були проаналізовані наведені на сайті AVTO.RIA [9] основні показники електромобілів: ціна, вік, пробіг, потужність двигуна, ємність акумуляторної батареї, запас ходу. Інформація була отримана станом на 28 січня 2023 року у межах всієї України по марках електромобілів Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe.

Аналітичні дослідження виконувались у наступній послідовності. На сайті AVTO.RIA були відібрані пропозиції по електромобілях Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe та розділені на сторінки по 20 пропозицій. З кожної сторінки було обрано один електромобіль за

допомогою онлайн-генератора випадкових чисел [10] (<https://generator-online.com/uk/numbers/>). Якщо обрана пропозиція виявлялася автомобілем, що побував у складній ДТП, і ціна якого потенційно може спотворювати характер загальної тенденції залежності ціни від технічних та експлуатаційних показників, то така пропозиція відкидалася. Також були виключені пропозиції, які не містили обраних для аналізу показників. У такому випадку для цієї сторінки генерувалося інше випадкове число, і спроба вибору одного електромобіля з групи 20 повторювалась. З отриманих масивів були отримані рівняння регресії залежності ціни електромобіля від основних технічних та експлуатаційних показників.

За результатами лінійного регресійного аналізу було виключено незначимі фактори та отримані лінійні рівняння регресії для розрахунку ціни вживаних електромобілів Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe залежно від віку, пробігу потужності двигуна ємності акумуляторної батареї та запасу ходу:

$$\text{Nissan Leaf} \quad P = 7306,6 - 706,3A + 27,4W + 68,4E + 44,8D, \text{ USD}, \quad (4)$$

$$\text{Tesla Model 3} \quad P = 21766 - 1350,7A - 45,1L + 37,5W + 22,8D, \text{ USD}, \quad (5)$$

$$\text{Renault Zoe} \quad P = 17238,5 - 969,7A + 10,5L + 57,2E + 6,0D, \text{ USD}, \quad (6)$$

де P – ціна електромобіля, USD; A – вік, років; L – пробіг, тис. км; E – ємність акумуляторної батареї, кВт·год; W – потужність електродвигуна, кВт; D – запас ходу, км.

Коефіцієнти кореляції для отриманої залежностей становить 0,813–0,957, що свідчить про тісний зв'язок, середня похибка 5,8–7,4%.

Значення коефіцієнтів перед кожним фактором показують величину їх впливу на формування ціни вживаних електромобілів, а знак вказує на позитивний або від'ємний вплив при збільшенні значення фактору.

Кожен наступний рік експлуатації електромобіля марки Nissan Leaf знижує його ціну на вторинному ринку на 706,3 USD, Tesla Model 3 – на 1350,7 USD, Renault Zoe – на 969,7 USD. У відсотках ціна електромобіля марки Tesla Model 3 зменшується на 3,8% за рік відносно середньої (досліджуваний вік становив від 1 до 6 років), тоді як ціна електромобілів Nissan Leaf знижується на 4,9% (досліджуваний вік від 1 до 11 років) [4; 5], а марки Renault Zoe – на 5,3% (досліджуваний вік від 1 до 9 років).

Кожні 10 тис. км пробігу знижують ціну електромобіля марки Tesla Model 3 на 451 USD, а марки Renault Zoe – на 105 USD. Усі інші досліджувані параметри збільшують ціну електромобілів на вторинному ринку. З урахуванням можливих діапазонів зміни параметрів, що сприяють збільшенню ціни електромобілів, найбільш суттєво на її значення впливає запас ходу. Кожні 10 км запасу ходу сприяють збільшенню ціни вживаного електромобіля марки Nissan Leaf на 448 USD, електромобіля Tesla Model 3 – на 228 USD, а електромобіля Renault Zoe – на 60 USD.

Найбільш суттєво на зниження ціни електромобілів впливає їх вік (рис. 1):

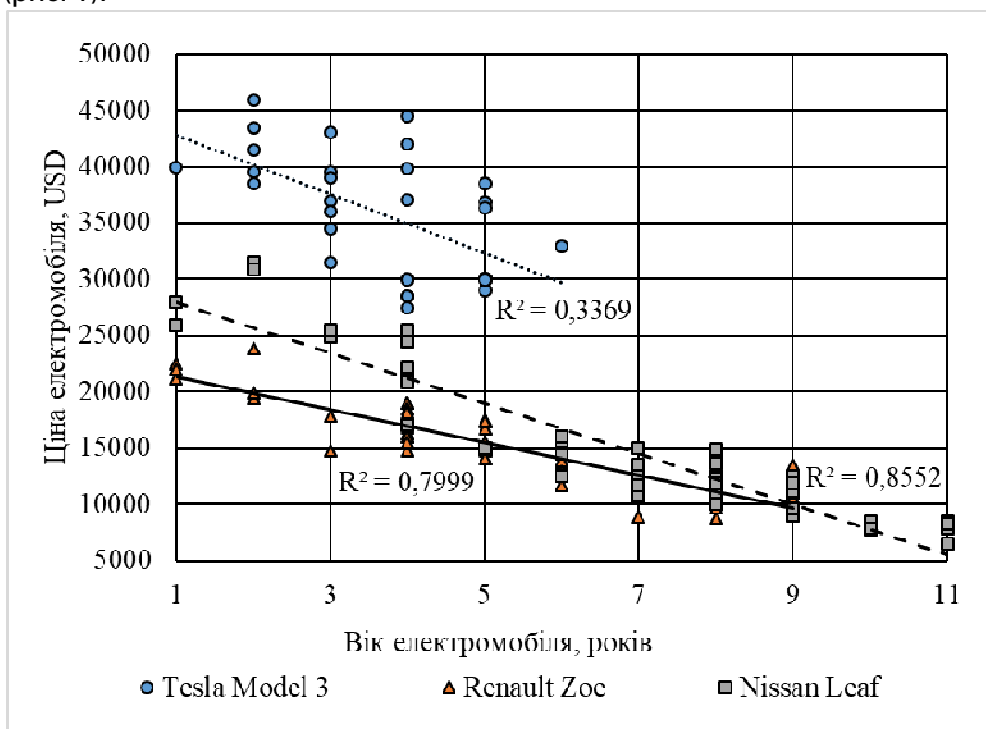


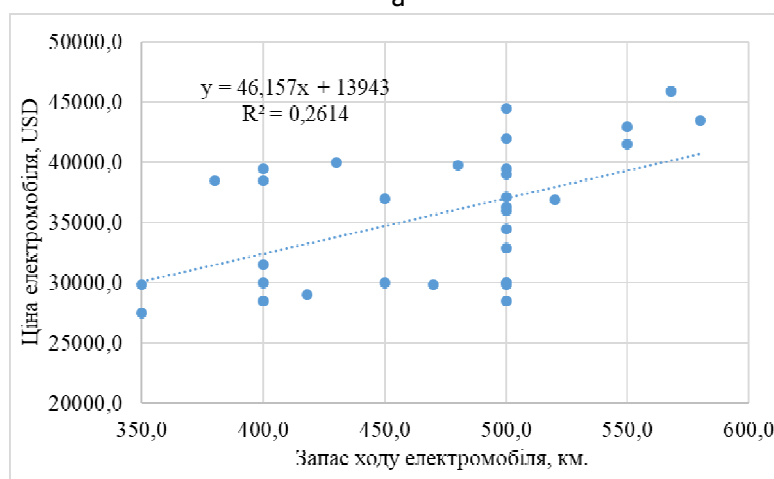
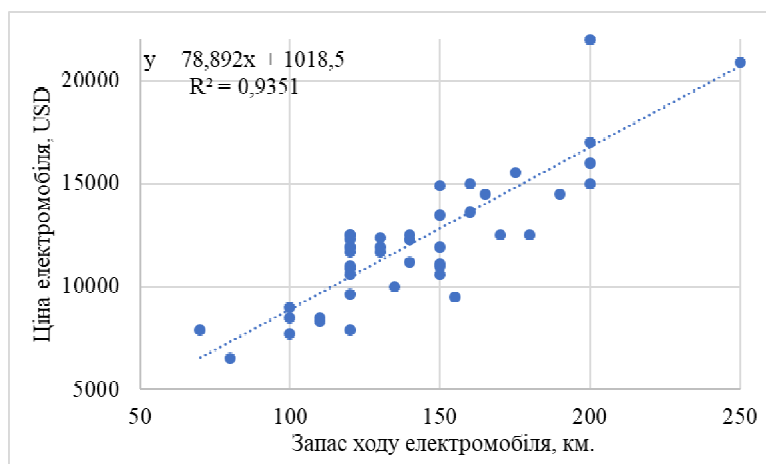
Рис. 1. Залежність цін електромобілів марок Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe від віку

Між цими параметрами простежується середній та тісний зв'язок з коефіцієнтом кореляції від 0,58 (Tesla Model 3) до 0,92. Це пов'язано з тим, що у перші роки експлуатації автовласники, як правило, продають електромобілі по ціні близькій до ціни купівлі на первинному ринку.

Також досліджені лінійні залежності ціни вживаних електромобілів від пробігу, потужності електродвигуна, ємності акумуляторної батареї та запасу ходу. Найбільш тісний лінійний

зав'язок виявлено між ціною вживаного електромобіля та запасом ходу (рис. 2).

Коефіцієнти кореляції залежності ціни вживаних електромобілів Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe від запасу ходу становлять 0,97, 0,51 та 0,85 відповідно, що свідчить про сильний та середній зв'язки між цими величинами.



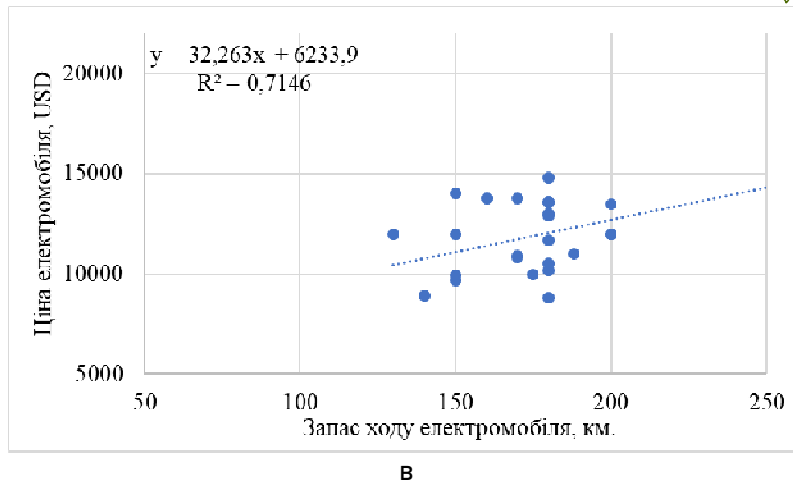


Рис. 2. Залежність ціни вживаних електромобілів від запасу ходу:
а – Nissan Leaf; б – Tesla Model 3; – Renault Zoe

У результаті виконання роботи здійснено теоретичний аналіз залежності ціни вживаних електромобілів від їх віку та пробігу за експоненційною та лінійною моделями. Отримані рівняння регресії, що показують залежність ціни вживаних електромобілів марок Nissan Leaf, Tesla Model 3 та Renault Zoe від їх віку, пробігу, потужності двигуна і запасу ходу, які можуть бути застосовані для перевірки адекватності цінових пропозицій на вторинному ринку та оцінки рівня впливу кожного досліджуваного параметра на ціну.

1. Аналітики порахували кількість електромобілів у світі. URL: <https://autogeek.com.ua/analitky-porakhuvaly-kilkist-elektromobiliv-u-sviti-majzhe-polovyna-z-nykh-v-kytai/> (дата звернення: 28.01.2023). **2.** Стало відомо, наскільки зросла кількість електромобілів в Україні на 1 січня 2022 року. URL: <https://www.rbc.ua/ukr/auto/utsu-1641112445.html> (дата звернення: 28.01.2023). **3.** В Україні росте ринок електромобілів. URL: <https://eauto.org.ua/news/61-zafiksuvali-pik-prodazhiv-elektromobiliv-v-ukrajini-naupopulyarnishi-modeli-zhovtnya> (дата звернення: 28.01.2023). **4.** О. Стадник, С. Морозюк, В. Ключко. Аналіз залежності ціни вживаних електромобілів Nissan Leaf від технічних та експлуатаційних показників. *Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин* : зб. тез Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 16–17 листопада 2022 року). Київ : НТУ, 2022. С. 93–95. **5.** Stadnyk O. Analysis of used Nissan Leaf electric cars price dependence on technical and performance indicators. *European scientific congress : book of abstracts of the 1st International Scientific and Practical Conference* (Madrid, Spain, February 20–22, 2023) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2023. P. 176–179. **6.** Стадник О. С. Аналіз залежності ціни вживаних

електромобілів Tesla Model 3 від технічних та експлуатаційних показників. *Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали XI Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції (Вінниця, 13–14 квітня 2023 року). Вінниця : ВНТУ, 2023. С. 331–333. **7.** Ключко В. А., Стадник О. С., Аналіз залежності ціни електромобілів вторинного ринку від технічних та експлуатаційних показників. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки* : зб. тез Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти. (Рівне, 11–12 травня 2023 р.). Рівне : НУВГП, 2023. С. 45–48. **8.** Горохівський А. С., Стрілецький М. В., Пасічник Р. М. Веб-орієнтована модель динаміки вартості автомобілів. *Вісник Хмельницького національного університету*. № 4(215). Хмельницький, 2014. С. 163–166. **9.** AVTO.RIA. URL: <https://auto.ria.com/uk/> (дата звернення: 28.01.2023). **10.** Генератор випадкових чисел. URL: <https://generator-online.com/uk/numbers/> (дата звернення: 28.01.2023).

REFERENCES:

1. Analitky porakhuvaly kilnist elektromobiliv u sviti. URL: <https://autogeek.com.ua /analitky-porakhuvaly-kilnist-elektromobiliv-u-sviti-majzhe-polovyna-z-nykh-v-kytai/> (data zvernennia: 28.01.2023). **2.** Stalo vidomo, naskilky zroslo kilnist elektromobiliv v Ukraini na 1 sichnia 2022 roku. URL: <https://www.rbc.ua/ukr/auto/utsu-1641112445.html> (data zvernennia: 28.01.2023). **3.** V Ukraini roste rynek elektromobiliv. URL: <https://eauto.org.ua/news/61-zafiksuvali-pik-prodazhiv-elektromobiliv-v-ukrajini-naypopulyarnishi-modeli-zhovtnya> (data zvernennia: 28.01.2023). **4.** O. Stadnyk, S. Moroziuk, V. Kliuiko. Analiz zalezhnosti tsyny vzhivanykh elektromobiliv Nissan Leaf vid tekhnichnykh ta ekspluatatsiinykh pokaznykiv. *Pokrashchennia konstruktivnykh ta ekspluatatsiinykh pokaznykiv avtomobiliv i mashyn* : zb. tez Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii (Kyiv, 16–17 lystopada 2022 roku). Kyiv : NTU, 2022. S. 93–95. **5.** Stadnyk O. Analysis of used Nissan Leaf electric cars price dependence on technical and performance indicators. *European scientific congres* : book of abstracts of the 1st International Scientific and Practical Conference (Madrid, Spain, February 20–22, 2023) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2023. P. 176–179. **6.** Stadnyk O. S. Analiz zalezhnosti tsyny vzhivanykh elektromobiliv Tesla Model 3 vid tekhnichnykh ta ekspluatatsiinykh pokaznykiv. *Problemy ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu* : materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii (Vinnytsia, 13–14 kvitnia 2023 roku). Vinnytsia : VNTU, 2023. S. 331–333. **7.** Kliuiko V. A., Stadnyk O. S., Analiz zalezhnosti tsyny elektromobiliv vtorynnoho rynku vid tekhnichnykh ta ekspluatatsiinykh pokaznykiv. *Problemy ta perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky* : zb. tez Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh naukovtsiv, aspirantiv i zdobuvachiv vyshchoi osvity. (Rivne, 11–12 travnia 2023 r.). Rivne : NUVHP, 2023. S. 45–48. **8.** Horokhivskiy A. S., Striletskyi M. V., Pasichnyk R. M.

Veb-oriiientovana model dynamiky vartosti avtomobiliv. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu*. № 4(215). Khmelnytskyi, 2014. S. 163–166.
9. AVTO.RIA. URL: <https://auto.ria.com/uk/> (data zvernennia: 28.01.2023).
10. Henerator vypadkovykh chysel. URL: <https://generator-online.com/uk/numbers/> (data zvernennia: 28.01.2023).

Stadnyk O. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Hnieushev V. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate
Professor, Kliuiko V. A., Senior Student (National University of Water
and Environmental Engineering, Rivne)

ANALYSIS OF USED ELECTRIC CARS PRICE DEPENDENCE ON THEIR TECHNICAL AND PERFORMANCE INDICATORS

In recent years, there has been a rapid increase in the number of electric vehicles around the world. As of January 1, 2022, the number of electric cars was 33,592 units. The most common models of electric cars in Ukraine are Nissan Leaf, Tesla Model 3, Renault Zoe, Volkswagen E-Golf, Tesla Model S, Chevrolet Bolt. The main problem with the use of electric cars in Ukraine is the underdeveloped infrastructure, in particular, the lack of charging stations for rechargeable batteries. With the increase in the number of electric cars, their offer on the secondary market is growing. Second-hand electric cars are cheaper and available to a wider range of people. The price of electric cars on the secondary market depends significantly on their technical and operational performance.

The purpose of this work is to analyze the influence of the main technical and operational indicators, such as age, mileage, electric motor power, traction battery capacity and power reserve on the price of used electric cars in the secondary market of Ukraine.

According to the theoretical analysis, it is substantiated that the price of used electric cars depends on their residual technical resource, which decreases depending on age and mileage. Exponential and linear models of changes in the price of used electric cars depending on the period of their operation are proposed.

Based on the results of linear regression analysis, regression equations were obtained for calculating the price of used electric cars Nissan Leaf, Tesla Model 3 and Renault Zoe depending on age, mileage, engine power, battery capacity and range.

Age has the most significant effect on the price of electric cars. Each subsequent year of operation of a Nissan Leaf brand electric car lowers its price on the secondary market by 706.3 USD, a Tesla Model 3 brand electric car – by 1350.7 USD, and a Renault Zoe brand electric car – by 969.7 USD. In percentage terms, the price of the Tesla Model 3 electric car is down 3.8% year-over-year relative to the average, while the price of the Nissan Leaf electric car is down 4.9% and the Renault Zoe electric car is down 5.3%.

***Keywords:* electric car; price; technical indicators; performance indicators; power reserve.**
