УДК. 621.025

**ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ЗАПАС ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

**INFLUENCE OF DESIGN AND OPERATING FACTORS ON THE STOCK OF ELECTRIC VEHICLES**

Науковий керівник - кафедра автомобільного транспорту та логістики, доцент, кандидат технічних наук –Чабан С. Г., магістри Вчерашній Д. В., Кезля І. О.

Научный руководитель – кафедра автомобильного транспорта и логистики, доцент, кандидат технических наук – Чабан С. Г., магистры - Вчерашний Д. В., Кезля И. А**.**

Supervisor - Department of Road Transport and Logistics, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences - Chaban S., Masters Vcherashniy D., Kezlya I.

**Анотація.** Актуальність питання впровадження електромобілів в народне господарство обумовлено реалізацією вимог економічного, екологічного, політичного, технічного, психологічного та естетичного характерів. Повністю розділити ці сфери за змістом неможливо, оскільки між ними існують складні взаємозв'язки. Зростання потреби в енергетичних ресурсах та їх поступове виснаження, високі ціни та відсутність пального нафтового виробництва, особливо в умовах війни, на фоні гострих екологічних проблем тільки підсилює заміщення на ринку транспортних засобів на користь електрокарів

 Даний вид транспорту, при використанні нетрадиційних джерел енергії, на сьогоднішній день є самим екологічно чистим, тому що він менше впливає на зміну клімату, дозволяє істотно знизити глобальні викиди CO2, не виробляє викидів в атмосферу і зменшує шумове навантаження. Всі перераховані вище фактори особливо актуальні в міських умовах.

 Важливим фактором, який стримує впровадження електроавтомобілів являється його економічність, та запас ходу. Запас ходу, який задається заводом виробником в реальних умовах експлуатації в значній мірі залежить від умов експлуатації. Тому метою даного дослідження являється наступне:

* провести аналіз стандартів для визначення запасу ходу електромобілів:
* скласти енергетичний баланс електроавтомобіля;
* за допомогою теоретичної оцінки техніко - експлуатаційних параметрів на прикладі автомобіля Тесла Моделі 3 LR 19 провести розрахунки запасу ходу при експлуатації електромобіля за випробувальними циклами NEDC та WLTP;
* провести уточнення теоретичних розрахунків запасу ходу з урахуванням терміну служби акумулятора та експлуатаційних умов.

**Ключові слова:** коефіцієнт маси батареї; питома витрата електроенергії на рух електроавтомобіля; запас ходу; середній ККД системи електроприводу електромобіля; випробувальний цикл; допустимий рівень розряду батареї.

**Abstract.** The urgency of the introduction of electric vehicles in the national economy is due to the implementation of the requirements of economic, environmental, political, technical, psychological and aesthetic nature. It is impossible to completely separate these areas by content, because there are complex relationships between them. Growing demand for energy resources and their gradual depletion, high prices and lack of fuel oil production during the war against the background of acute environmental problems only increases the substitution in the market of vehicles in favor of electric cars. This type of transport, using unconventional energy sources, is currently the most environmentally friendly, because it has less impact on climate change, significantly reduces global CO2 emissions, does not produce emissions and reduces noise pollution. All the above factors are especially relevant in urban conditions.

 An important factor hindering the introduction of electric cars is its efficiency and range. The power reserve set by the manufacturer in real operating conditions largely depends on the operating conditions. Therefore, the purpose of this study is as follows:

- to analyze the standards for determining the power reserve of electric vehicles:

- to make the energy balance of the electric car;

- by means of theoretical estimation of technical and operational parameters on an example of the Tesla car Model 3 LR 19 to carry out calculations of a power reserve at operation of the electric car on test cycles of NEDC and WLTP;

- to clarify the theoretical calculations of the power reserve, taking into account the battery life and operating conditions.

**Keywords:** battery mass ratio; specific consumption of electricity for the movement of the electric car; power reserve; average efficiency of the electric drive system of the electric car; test cycle; permissible battery discharge level.

ВСТУП

Актуальність роботи полягає в тому, що наразі в розвитку електромобільного транспорту відбувається новий стрибок. У зв’язку з тим, що світовий автомобільний парк досяг рівня 1 млрд., і споживає близько половини нафтових палив, практично всі країни змушені шукати шляхи зниження їх використання, орієнтуючись на заміщення альтернативними енергоносіями. Не менш гостро постає проблема охорони навколишнього середовища при масовій експлуатації транспортних установок у міських умовах. За останні 5 років викиди автотранспортних засобів зросли на 14,2 % і склали більше ніж 40 % від сумарних викидів всіма споживачами палив.

Незважаючи на екологічні обмеження, що стають більш жорсткими, при збереженні сформованої на тепер структури автомобільного парку та незмінності темпів росту числа автомобілів, викиди шкідливих речовин у 2020 р. зросли ще на 30 %. Дослідження з питань соціально-економічної оцінки наслідків забруднення атмосфери свідчать що найбільша частка в можливому збитку належить складовій, котра пов’язана із впливом забруднення на здоров’я людини. У мегаполісах ця складова сягає 75–80 % сумарного екологічного збитку від викидів автотранспорту.

Перехід на електрокари в цілому перспективний, але його реалізація в світі поки що є досить складним процесом. Важливим стримуючим чинником впровадження електромобілів являється невеликий запас ходу та довгий час зарядки акумуляторних батарей, відсутність зарядних станцій, особливо великої потужності, які забезпечують швидку заправку. Крім того, заявлений виробником запас ходу часто не відповідає реальним умовам, які відрізняються від умов випробування і залежить від багатьох чинників. В роботі досліджується стан розвитку електрокарів в Україні, аналізуються технічно-економічні особливості електрокарів, стандарти для визначення запасу ходу та аналітичні залежності для визначення запасу хода при різних експлуатаційних факторах та конструктивних параметрах електромобілів.

Ряд передових країн уже в 2025…2030 роках запланували припинити виробництво, а деякі країни експлуатацію автомобілів з ДВЗ. Так в Китаї до 2030р заплановано припинити виробництво автомобілів з ДВЗ, уряд Південної Кореї зобов’язав автомобілебудівні компаніям до 2020р виробити 1 млн. електроавтомобілів, уряд Норвегії планує до 2025р повністю перевести на електроавтомобілі весь автотранспорт.

**1 Теоретичні розрахунки запасу хода.**

**1.1 Аналіз аналітичних виразів для розрахунку запасу хода**

В основу методу розрахунку покладено аналітичний вираз, що встановлює зв'язок між конструктивними і техніко-експлуатаційними параметрами електромобіля і тягової акумуляторної батареї. До цих параметрів відносяться: повна маса електроавтомобіля ![](data:application/x-msmetafile;base64...), коефіцієнт маси батареї ![](data:application/x-msmetafile;base64...), який дорівнює відношенню маси батареї ![](data:application/x-msmetafile;base64...) до повної маси електромобіля, середня питома енергоємність акумуляторів ![](data:application/x-msmetafile;base64...), максимальна швидкість руху електромобіля ![](data:application/x-msmetafile;base64...)

Для отримання виразу використовуємо співвідношення [3,6]

 ![](data:application/x-msmetafile;base64...)

![](data:application/x-msmetafile;base64...) (1.1)

де де ![](data:application/x-msmetafile;base64...) - енергія акумуляторів, яка витрачається на рух електромобіля, в Вт·г;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - питома витрата електроенергії на рух електроавтомобіля, Вт∙г/км;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - запас ходу електромобіля в км;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - кількість накопиченої електроенергії в акумуляторній батареї в Вт-г;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - середній ККД системи електроприводу електромобіля;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - коефіцієнт, що враховує витрату енергії тягової батареї на допоміжні потреби – освітлення, опалення кабіни водія, вентиляцію блоків тиристорної системи регулювання, тягового електродвигуна і т.п. (При живленні допоміжного електроустаткування електроавтомобіля від спеціальної додаткової акумуляторної батареї βдоп не враховується);

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - коефіцієнт, що враховує припустимий рівень розряду батареї, який обумовлюється типом і експлуатаційними якостями акумуляторів (при повному розряді ![](data:application/x-msmetafile;base64...) = 1, при частковому - ![](data:application/x-msmetafile;base64...)<1)

Середній ККД електроприводу можна виразити як

 ![](data:application/x-msmetafile;base64...) (1,2)

де ![](data:application/x-msmetafile;base64...) - середній ККД акумуляторів в режимі розряду

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - середній ККД системи регулювання

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - середній ККД тягового електродвигуна

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - середній ККД механічної передачі (головної передачі і коробки передач при її наявності).

Прирівнявши праві частини рівності (6.1) і (6.2), отримаємо

 ![](data:application/x-msmetafile;base64...), Вт∙г (1,3)

З цієї рівності виводиться вихідний розрахунковий вираз для визначення величини запасу ходу електромобіля;

 ![](data:application/x-msmetafile;base64...), км (1.4)

Питому витрату електроенергії при русі електроавтомобіля по вибраному циклу визначали за виразом [3]

![](data:application/x-msmetafile;base64...)

 (1.5)

де 0,277 – коефіцієнт переводу Дж в Вт∙г;

![](data:application/x-msmetafile;base64...)  – приведена маса електромобіля в кг

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - коефіцієнт опору коченню коліс, при розрахунковій швидкості руху;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - величина еквівалентного ухилу на розрахунковому циклі,

(![](data:application/x-msmetafile;base64...), *α* – еквівалентний кут підйому в град);

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - коефіцієнт обтічності електромобіля в Н∙с2/м4;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - площа лобового опору, м2.

При розрахунках запасу хода прийняті наступні величини:

* маса акумуляторної батареї, ![](data:application/x-msmetafile;base64...)кг;
* маса електроавтомобіля,![](data:application/x-msmetafile;base64...)кг;
* середня питома енергоємність акумуляторів, ![](data:application/x-msmetafile;base64...)=148,148 Вт![](data:application/x-msmetafile;base64...)г/кг;
* коефіцієнт обтічності, к=0,61Сх=0,61∙0,23=0,14 Н∙с2/м4;;
* площа лобового опору, F=0,78∙Ba∙Ha=0,78∙1,85∙1,443=2,082 м2 ;
* питома витрата електроенергії на рух автомобіля, ΔА, Вт∙г/км;

 - коефіцієнт, що враховує витрату енергії тягової батареї на допоміжні потреби, ![](data:application/x-msmetafile;base64...)=1,0 так як на електроавтомобілі встановлено допоміжний акумулятор;

 - коефіцієнт, що враховує припустимий рівень розряду батареї, який обумовлюється типом і експлуатаційними якостями акумуляторів, ![](data:application/x-msmetafile;base64...)=0,2;

 - середній ККД електроприводу, ![](data:application/x-msmetafile;base64...)=0,66

 При розрахунках за цією формулою виникають труднощі пов’язані зі складністю формули та обгрунтуванням вибраних параметрів, зокрема, при виборі начальної швидкості гальмування, яка в циклі може мати декілька значень, а також величини прискорень.

Існує інший підхід до визначення запасу ходу електромобілів, який враховує нестандартні умови руху в різних дорожніх умовах. Розглянемо енергетичний баланс електромобіля в наступному вигляді:

Тези доповідей 57-ої наукової конференції молодих дослідників ОП - магістрів секції «Автомобільний транспорт та логістика»//Одеса: Одеська політехніка, 2022, вип.57

![](data:application/x-msmetafile;base64...)(1.6)
де ![](data:application/x-msmetafile;base64...) - витрата енергії на подолання опору коченню та підйому, Вт\*г;

 ![](data:application/x-msmetafile;base64...)- витрати енергії на подолання опору повітряного середовища, Вт∙г;

![](data:application/x-msmetafile;base64...)- витрата енергії на подолання інерції, Вт\*г

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - витрата енергії на подолання опору коченню та підйому в режимі гальмування та руху накатом.

Після перетворень отримаємо рівняння для визначення запасу хода

![](data:application/x-msmetafile;base64...)**;** (1.7)

де ![](data:application/x-msmetafile;base64...) - вага електромобіля,H;

![](data:application/x-msmetafile;base64...)- коефіцієнт сумарного дорожнього опору;

![](data:application/x-msmetafile;base64...)-коефіцієнт обтічності, Н∙с2/м4;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - площа лобового опору, м2;

![](data:application/x-msmetafile;base64...)- середня швидкість на ділянці розгону та рівномірного руху, м/с;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - прискорення електромобіля, м/с2:

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - коефіцієнт врахування обертальних мас;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - доля шляху руху електромобіля з прискоренням;

![](data:application/x-msmetafile;base64...) - доля шляху на розгін та рівномірний рух.

 **1.2 Розрахунок запасу хода в відповідності з стандартом NEDS**

Випробування на стенді тривають 20 хвилин, за цей час автомобіль проїжджає 11 кілометрів, з яких 66% часу імітується їзда по місту з чотирма оціночними блоками і 34% за містом. Середня швидкість становить 34 км/год, а максимальна сягає 120 км/год.

Для міської експлуатації NEDC пропонує 4 оціночні блоки, на кожен з яких припадає 1,013 км відстані при тривалості руху близько 3 хвилин та 15 секунд. Передбачуваний розгін автомобіля для цих блоків становить 18/32/50 км/год, за середньої швидкості руху 18,7 км/год. За результатами розрахунків та побудований графік, рисунок 1,1. З графіка видно, що при експлуатації електромобіля в в міському циклі питома витрата енергії становить (86 – 115) Вт∙г/км, а запас хода (501 – 363) км. Збільшення швидкості збільшує питому витрату палива та зменшує запас ходу. Це пояснюється збільшенням опору коченню та повітряного середовища, які залежать від квадрата швидкості руху.

 

 Рисунок 1.1 - Залежність питомої витрати електроенергії та запасу хода від швидкоcті руху в міському циклі NEDC

Поза міський цикл передбачає розгін електромобіля до швидкості 70 км/г, з прискоренням 0,5 м/с2, постійний рух з цією швидкістю на протязі 50 с зменшення швидкості до 50 км/г, рух з постійною швидкістю на протязі 69 с, наступний розгін до швидкостей 70,100 та 120 км/г та рух з уповільненням 1,11 м/с2 до повної зупинки. Передбачувана середня швидкість руху становить 69,9 км/год, на дистанції 6,955 кілометрів, яку автомобіль проїжджає за 360 секунд. При цьому максимальний розгін автомобіля передбачається на рівні 120 км/год. Також потрібно враховувати, що оцінка запасу ходу проводиться в умовах нульового використання енергії автомобілем, тобто при фарах, що не горять, вимкненій кліматичній системі, двірниках і мультимедіа. Крім того, передбачається м'який набір швидкості без ривків і різких стартів з прискоренням 0,37 м/с2.

При русі в поза міському циклі запас ходу зменшується з 421 до 303 км. Зменшення запасу ходу відбувається головним чином рахунок збільшення витрати енергії на опір коченню та повітряного середовища при збільшені швидкостей руху.

Розрахунок запасу ходу в поза міському режимі представлений на рисунку 1,2



Рисунок 1.2 - Залежність питомої витрати палива та запасу хода від швидкоcті руху в позаміському циклі NEDC

**1.3 Розрахунок запасу ходу в відповідності з циклами WLTP**

Всесвітній випробувальний цикл для гібридних автомобілів та електромобілів передбачає чотири цикла – низький, середній, високий та надзвичайно високий. Єдність циклу забезпечується його жорсткими оцінними критеріями, які передбачають розрахункову дистанцію в 23 кілометри протягом 30 хвилин часу, динаміка набору швидкості буде найвищою серед усіх описаних стандартів. Крім того, WLTP передбачає 4-етапну оцінку, за двома циклами для міста та траси. Діапазон швидкостей для пари міських вимірів становить 56,5 км/год та 76,6 км/год, для автомагістральних вимірів це 97,4 км/год та 131,3 км/год. Тобто цикл розрахований на швидку їзду, яка притаманна сучасним водіям. Особлива цінність циклу у тому, що автомобілі оцінюються виходячи з їх класу моделі, в такий спосіб, враховується залежність витрати енергії з співвідношення потужність-маса. Графіки витрати питомої електроенергії та запасу ходу наведені на рисунках 1.3 – 1.6



Рисунок 1.3 - Низький тестовий цикл WLTC – Vmax=15,41 м/с; Jmax= 1,611 м/: lц = 3095 м; доля зупинок в циклі – 26,5%



Рисунок 1.4 - Середній тестовий цикл WLTP - – Vmax=21,27 м/с; Jmax= 1,611 м/: lц = 4756 м; доля зупинок в циклі – 11,1%



Рисунок 1.5 - Високий тестовий цикл WLTP - Vmax=27,05 м/с; Jmax= 1,666 м/: lц = 7162 м; доля зупинок в циклі – 6,8 %



Рисунок 1.6 - Надзвичайно високий тестовий цикл WLTP - Vmax=36,47 м/с; Jmax= 1,056 м/с2: lц = 8254 м; доля зупинок в циклі – 2,2 %

З розрахунків видно, що запас ходу згідно циклам WLTP як в міських, так і позаміських циклах в 1,12 – 1,4 рази менше ніж в циклі WLTP Єдність циклу забезпечується його жорсткими оцінними критеріями, які передбачають розрахункову дистанцію в 23 кілометри протягом 30 хвилин часу, динаміка набору швидкості буде найвищою серед усіх описаних стандартів. Також у розрахунок беруться «еко-режими» транспортних засобів, які активно впроваджуються автовиробниками.

Зменшення запасу ходу обумовлено більш високими швидкостями руху в циклах та більшою величиною прискорень.

**2 Удосконалення аналітичних залежностей для конкретних умов експлуатації**

Аналіз розрхункових залежностей, які наведені в [3,6] не завжди відповідає дійсним умовам експлутації , а залежить від строку служби батарей, конструкції батарей, температури навколишнього середовища, та інших. Тому нами було запропоновано ввести в розрахункові формули корегуючі коефіцієнти;

 К1 –коефіцієнт, який враховує втрату емності батареї в залежності від «віку» акумуляторної батареї.

 К2 – коефіцієнт, який враховує втрату емності з підвищенням або пониженням темпертури;

К3 – коефіцієнт, який враховує витрату заряду на обігрів салону в зимовий час;

К4 - коефіцієнт, який враховує ступінь використання потужності при русі в заданих умовах згідно розрядних характеристик батареї.

Тоді формула для розрахунку запасу хода буде мати наступний вигляд:

![](data:application/x-msmetafile;base64...) (2.1)

За запропонованою залежністю проведені розрахунки та побудовані графіки в залежності від строку служби, рисунок 2.1 , та температури, рисунок 2.2 для літій – іонної акумуляторної батареї. При розрахунках використовувались наступні дані втрати емності: перші два роки батарея втрачає 15 – 20% ,за наступні три роки 5 – 10%, за наступні роки 3 – 6 %. Коефіцієнт К1 приймали відповідно рокам наступним : 1,0; 0,9; 0,84; 0,8; 0,77; 0,74; 0,71; 0,68; 0,66. Запас хода при цьому зменшися з 397 км при новому акумуляторі до 263 км при 9ти річному строку служби. Аналогічні залежності отримані при підвищені температури. Так як при зниженні температури навколишнього середовища витрата енергії на обігрів салону може становити до 30% відсотків емності батареї, то можна за допомогою коректуючого коефіцієнта визначити запас хода при забезпеченні оптимальних температур в салоні електромобіля.



 Рисунок 2.1 – Залежність запасу ходу від терміну служби акумулятора



Рисунок 2.2 – залежність запасу ходу від температури батареї

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

Запас хода електромобіля визначається стандартними циклами при стендових випробуваннях, при цьому більш об'єктивними являються стандарти WLTP- всесвітній випробувальний цикл, та американський або оцінний цикл EPA FTP-75.

Запас хода залежить від випробувального стандарту і для одного і того ж електромобіля різниця може складати в 1,12 до 1.4 рази.

Більш об’єктивними аналітичними розрахунковими залежностями для визначення запасу хода електромобілів враховуються; максимальна швидкість, середня швидкість в циклі, довжина випробувального циклу, максимальне прискорення в циклі; шлях, який проходить автомобіль з прискоренням; шлях, який проходить електромобіль в режимі гальмування та накатом; часка шляху, яка приходиться на розгін та рівномірний рух; частка шляху, яка приходиться на прискорений рух та інші. Але в реальних умовах запас ходу може значно відрізнятись від стандартних умов. Тому нами запропоновано ввести в розрахункові залежності корегуючі коефіцієнти для більш об’єктивної оцінки запасу хода електромобілів:

К1 –коефіцієнт, який враховує втрату емності батареї в залежності від «віку» акумуляторної батареї.

К2 – коефіцієнт, який враховує втрату емності з підвищенням або пониженням темпертури;

К3 – коефіцієнт, який враховує витрату заряду на обігрів салону в зимовий час;

К4 - коефіцієнт, який враховує ступінь використання потужності при русі в заданих умовах згідно розрядних характеристик батареї.

Розрахунок запасу хода з запропонованими коефіцієнтами показав доцільність такого корегування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. http://ats-expo.com.ua › uk-UA

 Матеріали конференції «АвтоТех Сервіс 2019» Київ 2019

2. https:// nikolacars/com.ua/ factory-kotorue-snizayut-zapas-hoda-telektroavtomobiley.htlm?sef\_revrite=1/16.05.2019

3 Чабан С. Г., Ковра О. В. Перспективні напрямки розвитку автомобілів для агропромислового компплексу / Аграрний вісник Причорномор’я / Dbgecr 90. Одеса. 2018.
с 164 – 171.

[4 https://abbsl.osau.edu.ua › view](4%20%20%20%20%20%20https%3A//abbsl.osau.edu.ua%C2%A0%E2%80%BA%20view)

автор: S Chaban · 2019 — 1. Матеріали конференції «АвтоТех Сервіс 2019» Київ 2019. . **https**://**nikolacars/com.ua**/ **factory**-**kotorue**-**snizayut**-**zapas**-**hoda**-**telektroavtomobiley**.**htlm**

5. <http://www.elektro-machines.ru/content/faktoru-zapasa-khod...09/09/2019>

6. https:/helpiks.org/1-116501.html/2014-2019

7. [WWW.Icmedia/com/ua/nevs/auto/34937 - Batarei-elektrokarov-beistro-razryazhayutsya-v-holoda-issledovanie/ 08/02.2019](http://WWW.Icmedia/com/ua/nevs/auto/34937%20-%20Batarei-elektrokarov-beistro-razryazhayutsya-v-holoda-issledovanie/%2008/02.2019)

8 https://www.electro-machines.ru › content › faktory-za.

###  Факторы запаса хода (продолжение)

9 https://prosto.energy › blogs › news › degradatsiya-bata...

 Деградация аккумуляторов електромобилей и как ее отсрочить

10 https://infuture.ru › art

 Наноматериалы преображают аккумуляторы - InFuture.ru

 11 https://fastmb.ru › auto\_shem › 2146-standarty-dlya-zame..

 Стандарты для замера запаса хода электромобилей

 [12 https://ecotechnica.com.ua](12%20%20%20%20%20https%3A//ecotechnica.com.ua)

развитие альтернативной энергетики, популяризация и продвижение электромобилей, хай-тек и смарт технологии, энергосбережение, новости экологии, ...