УДК 629.025

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ЗАПАСУ ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ**

**IMPROVING THE METHODOLOGY FOR CALCULATING THE RANGE OF ELECTRIC VEHICLES**

Науковий керівник – кафедра автомобільного транспорту та логістики; доцент, кандидат технічних наук – Чабан Сергій Григорович, магістр Флоря Георгій Валерійович.

Scientific advisor – Department of Road Transport and Logistics; Associate Professor, Candidate of Technical Sciences – Chaban Serhiy, Master Florya Heorhiy

**Анотація**. Впровадження електромобілів в транспортну інфраструктуру являється актуальним питанням розвитку світової транспортної системи. Незважаючи на ряд переваг електромобілів серед недоліків слід відзначити невеликий запас хода на одній зарядці акумуляторів, велику протяжність зарядки батарей,недостатню інфраструктуру зарядних станцій, особливо потужних заправок для бистрої зарядки акумуляторів.

Одним із оцінних критеріїв досконалості електромобілів являється запас хода. Дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних чинників чинників, які впивають на запас хода, присвячена дана робота .

***Ключові слова*:** акумуляторна батарея, запас хода, коефіцієнт опору коченню, коефіцієнт обтічності, електричний привід коліс, гібридні автомобілі, ємність батареї, енергетичний баланс.

**Abstract**. The introduction of electric vehicles into the transport infrastructure is a pressing issue in the development of the global transport system. Despite a number of advantages of electric vehicles, among the disadvantages it is worth noting a small range on a single battery charge, a long battery charging distance, insufficient infrastructure of charging stations, especially powerful gas stations for fast battery charging.

One of the evaluation criteria for the perfection of electric vehicles is the range. This work is devoted to the study of the influence of design and operational factors on the range.

**Keywords:** battery, range, rolling resistance coefficient, aerodynamic coefficient, electric wheel drive, hybrid cars, battery capacity, energy balance

**Вступ**

Аналіз сучасного стану розвитку ринку електрокарів в світі та Україні показав, що в найближчій час автомобілі з електричним приводом займуть значну долю випуску та продажу в загальній кількості автомобілів.

Значне погіршення світового екологічного становища і скорочення природних джерел палива для автомобілів, сприяє більшому розвитку розробки екологічно чистих транспортних засобів, які використовують альтернативні джерела енергії. Цьому сприяє законодавча база а також стимули і бонуси покупцям електромобілів. Так Англія та Франція мають намір заборонити продаж автомобілів, що працюють на двигунах внутрішнього згоряння до 2040 р. Китай, що має найбільший у світі автомобільний ринок, в серпні 2024 р.продавпонад 1 млн. нових електромобілів [1] – це повністю електричні або гібридні автомобілі. Щоб сприяти впровадженню електромобілів, уряд Китаю пропонує щедрі субсидії, які в середньому становлять 15 тис. доларів США.

Незважаючи на ряд переваг електромобілі мають недоліки.Враховуючи недоліки впровадження електромобілів та перспективу їх впровадження в автотранспортну інфраструктуру України в роботі поставлені наступні задачі досліджень:

* провести аналіз стандартів для визначення запасу хода електромобілів
* провести аналіз впливу конструктивних параметрів та експлуатаційних чинників на запас ходу електромобілів;
* провести коригування математичних залежностей для об`єктививного розрахунку запасу ходу з урахуванням умов експлуатації електромобілів.

**Аналіз стандартів для визначення запас хода**

В теперішній час для визначення запасу ходу використовуються: Японський випробувальний цикл, випробувальний цикл NEDC, Американський або оцінний цикл EPA FTP-75, Загальносвітовий цикл вимірів WLTP та нові стандарти для галузі. Кожний з вимірювальних циклів відрізняється протяжністю випробувань, максимальною швидкістю руху інтенсивністю розгону та режимами руху.

Порівняння 11 моделей електромобілів [2], які були сертифіковані за трьома стандартами виявили наступне:

* для того, щоб перерахувати запас хода по NEDC в EPA, потрібнойого поділити 1,43. Саме на цю величину NEDC завищує показники. При цьому похибки данного метода складають 11%;
* WLTP близький до EPA, але і тут необхідно поділити на 1,12. При цьому похибки данного метода складають8%;

Приведені дані свідчать про те, що якщо в США для автомобиля заявлений виробниками запас ходу складає 100 кілометрів на одній зарядці, то в Европівін буде складати приблизно 112 км, а в Китаї – 143 километра.

**Вплив конструктивних та експлуатаційних чинників на запас хода**

Аналіз розрахунків та графіки показали [3], що коефіцієнт обтічності являється суттєвим конструктивним параметром, який в значній мірі впливає на запас хода. Дослідження проводились на прикладі автомобіля Тесла 3.

Так збільшення коефіцієнта обтічності з 0,11 до 0,18 Нс2/м4 збільшує питому витрату палива при максимальній швидкості з 117 Вт-г/км до 137 Вт-г/км та зменшує запас хода з 389 км до 305 км. А при коефіцієнті обтічності 0,3 Нс2/м4 запас хода зменшується до 255 км. Отже одним із шляхів покращення запасу хода являється зменшення коефіцієнта обтічності, наприклад, розробники електроавтомобіля Мерседес [4],довели коефіцієнт обтічності електромобіля який дорівнює 0,11 Нс2/м4, автомобіль ТЕСЛА 3 характеризується коефіцієнтом обтічності рівним 0,132 Нс2/м4.

Дорожні умови розраховувались при різних значеннях коефіцієнта опору коченню та величини підйому [3] . Вплив величини коефіцієнта опору руху на запас хода показав що збільшення коефіцієнта опору коченню з 0.0076 до 0,0214 при однакових інших параметрах збільшує питому витрату енергії з 264,8 Втг/кмдо 322,6 Втг/кмі відповідно зменшує запас ходу з 503,4км4 413,4 км. Зі збільшенням величини підйому з 10 до 70 збільшується питома витрата енергії з 178,3 до 513,3, Втг/км і відповідно зменшується запас ходу з 530,5 до 184,2 км. Це обумовлено збільшенням роботи опору коченню та опору підйому. Для зменшення коефіцієнта опору кочення використовують низькопрофільні шини з відношенням висоти профілю шини до її висоти в межах 0,55…045, а необхідний кліренс досягається за рахунок збільшення посадкового діаметра шини.

Мінусові температури зменшують енергоефективність електроавтомобіля на 10…40%, що рівнозначно зменшенню запасу хода до 34…177 км. Підвищена витрата електроенергії обумовлена не тільки витратою на підтримання температури в салоні автомобіля, ай для підтримки оптимальної температури акумуляторів з метою збереження безпечності та довговічності Висока температура навколишнього середовища (більше +250С) також зменшує запас хода, але в меншій мірі, запас хода зменшується на 10…15%. Це обумовлено затратами на охолодження акумуляторів.

Один із способів розрахунку запасу ходу електромобілів, який враховує нестандартні умови руху в різних дорожніх умовах являється використання енергетичного балансу електромобіля:



де – витрата енергії на подолання опору коченню та підйому, Втг;

– витрати енергії на подолання опору повітряного середовища, Втг;

 – витрата енергії на подолання інерції, Втг:

– витрата енергії на подолання опору коченню та підйому в режимі гальмування та руху накатом, Вт г.

Після перетворень отримаємо рівняння для визначення запасу ходу:

**;**

де *Q –*енергія акумуляторної батареї, Вт г;

 – ккд електропривода;

Y – коефіцієнт, який враховує допустимий рівень розряду батареї;

 - вага електромобіля,H;

- коефіцієнт сумарного дорожнього опору;

- коефіцієнт обтічності, Н∙с2/м4;

 - площа лобового опору, м2;

- середня швидкість на ділянці розгону та рівномірного руху, м/с;

 - прискорення електромобіля, м/с2:

 - коефіцієнт врахування обертальних мас;

 - доля шляху руху електромобіля з прискоренням;

- прискорення вільного падіння, м/с2;

 - доля шляху на розгін та рівномірний рух.

Більш об’єктивними аналітичними розрахунковими залежностями для визначення запасу ходу 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:



деК1– коефіцієнт, який враховує втрату ємності батареї в залежності від «віку» акумуляторної батареї.

К2 – коефіцієнт, який враховує втрату ємності з підвищенням або пониженням температури;

К3 – коефіцієнт, який враховує витрату заряду на обігрів салону в зимовий час, та зміну ємності акумулятора при зміні температури;

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

За запропонованою залежністю проведені розрахунки та побудовані графіки залежності від строку служби батареї та температури навколишнього середовища для літій – іонної акумуляторної батареї. При розрахунках використовувались наступні дані втрати ємності: перші два роки батарея втрачає 5 – 10% ,за наступні три роки 15 – 20%, за наступні роки 1 – 5 %. Коефіцієнт К1 приймали відповідно рокам наступним : 0,95; 0,9; 0,85; 0,8; 0,77; 0,74; 0,70; 0,67; 0,65. Запас ходу 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 ємності батареї, то можна за допомогою коефіцієнта корекціївизначити запас хода при забезпеченні оптимальних температур в салоні електромобіля.

Розрахунок запасу хода з запропонованими коефіцієнтами показав можливість розрахунковим шляхом на стадії створення електромобілів розраховувати запас хода з урахуванням конкретних умов експлуатації.

**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 ходу 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; частка 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 коефіцієнти корекції для більш об’єктивної оцінки запасу хода електромобілів:

* К1 –коефіцієнт, який враховує втрату ємності батареї в залежності від «віку» акумуляторної батареї.
* К2 – коефіцієнт, який враховує втрату ємності з підвищенням або пониженням температури;
* К3 – коефіцієнт, який враховує витрату заряду на обігрів салону в зимовий час, та зменшення ємності акумулятора зі зміною температури;
* К4 - коефіцієнт, який враховує ступінь використання потужності при русі в заданих умовах згідно розрядних характеристик батареї.

Розрахунок запасу хода з запропонованими коефіцієнтами показав можливість розрахунковим шляхом на стадії створення електромобілів розраховувати запас хода з урахуванням конкретних умов експлуатації.

**Список використаних джерел**

1. Темпи реалізації **електромобілів** у Китаї: 28 груд. 2024 р.

https://glavcom.ua › Техно › Авто

2. Як дізнатись пробіг електромобіля? https://autogeek.com.ua ›

3. Чабан С.Г. Ковра О.В. Вплив конструкційних та експлуатаційних факторів на запас хода електромобілів. *Аграрний вісник Причорномор’я.* 2029. Випуск 95. с. 210 –218