

УДК 629.025

DOI: 10.37000/abbsl.2019.95.29

**ВПЛИВ КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ
НА ЗАПАС ХОДА ЕЛЕКТРОАВТОМОБІЛІВ**

С. Чабан, О. Ковра

Одеський Національний політехнічний університет

У статті приводиться аналіз розвитку електроавтомобілів в Україні, використання яких збільшується і в агропромисловому комплексі, що обумовлено можливістю зарядки акумуляторів в міжзмінний час та використання нетрадиційних джерел енергії. Використання електроавтомобілів обумовлено їх економічністю порівняно з традиційним автомобілями та меншими затратами на технічне обслуговування. Технічна досконалість електроавтомобілів проявляється в подальшому покращенні конструкції та технології їх виготовлення. Конструктивна досконалість проявляється в зменшенні деталей, вузлів та агрегатів, так як у електроавтомобіля відсутній двигун внутрішнього згорання, система охолодження з радіатором, коробка передач, зчеплення та механічна трансмісія, компактність за рахунок спрощення конструкції тримальної системи, трансмісії, форми кузова та рівномірним розподілом навантаження. Важливою конструктивною технічною характеристикою електроавтомобілів являється їх економічність, яка оцінюється питомою витратою електроенергії та запасом ходу. В статі розрахунковим шляхом досліджується вплив експлуатаційних факторів на питому витрату електроенергії та запас ходу. Показано вплив швидкості руху, прискорення, коефіцієнта опору коченню, величини підйому, наявності вітру та температури навколишнього середовища на показники економічності. Приведені розрахунки показують кількісні величини впливу експлуатаційних факторів на економічність електроавтомобілів. Дані розрахунків можуть бути використанні при виборі режимів руху в експлуатації, а також в учбовому процесі при проектуванні електроавтомобілів.

Ключові слова: *питома енергоємність, питома витрата електроенергії, запас ходу, швидкість, прискорення, коефіцієнт опору коченню, величина підйому, ємність акумулятора.*

Вступ. Аналіз бурхливого розвитку електроавтомобілів за останні 10 років свідчать про те, що електроавтомобілі інтенсивно заповнюють ринок транспорту, поступово витісняючи автомобілі з двигунами внутрішнього згорання. Автомобілі з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ) є серйозними забруднювачами повітря у великих містах. Так, тільки в Києві концентрація оксидів азоту NO_x в чотири рази перевищує допустимі норми. У столиці України кількість хворих на рак через погане повітря збільшилася на 1000 осіб. Дві третини всіх автомобілів з ДВЗ, які ДП "ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ" перевіряв на екологічність, не пройшли тесту. Тому потрібно стимулювання з боку держави для переходу на електромобілі. Так Україна є одним із світових лідерів за темпами поширення електроавтомобілів. На початку 2019 року, за

даними Міністерства інфраструктури, в Україні було 12333 таких авто. Наразі в Україні електрокарів утричі більше, ніж у РФ, та в шість разів більше, ніж у Польщі. Загалом лише у 2018 році українці придбали 5,3 тисяч електромобілів, що майже вдвічі більше, ніж роком раніше. Звісно, тут і законодавчі преференції, низька вартість електроенергії в Україні - з електромобілем можна значно зменшити затрати на експлуатацію порівняно з автомобілями що використовують ДВЗ. Саме ці чинники стали визначальними для збільшення автопарку електромобілів у країні. Саме велике число електромобілів в Києві - 5000, ще 1000 - у Київській області. Далі йде Одеса - 3000, Харків - 2000, і Дніпропетровськ і Львів - по 1000 одиниць в кожному. Процентне співвідношення електромобілів на ринку України по брендам: Nissan Leaf - 70,0 %; Tesla - 6,5 %; Ford - 3,6 %; Citroen - 3,2 %; Renault Fluence - 2,9 %; BІO - 2,7 %; Renault Twizy - 1,2 %; Mitsubishi - 0,9 % ; Peugeot - 0,7 %; BMW і3 - 0,4 %; Renault ZOE - 0,1 %, інші - 6,9 % [1]. Ряд передових країн вже в 2025...2030 роках запланували припинити виробництво, а деякі країни експлуатацію автомобілів з ДВЗ. Так в Китаї до 2030 р. заплановано припинити виробництво автомобілів з ДВЗ, уряд Південної Кореї зобов'язав автомобілебудівні компанії до 2020 р. виробити 1 млн. електроавтомобілів, уряд Норвегії планує до 2025 р. повністю перевести на електроавтомобілі весь автотранспорт. Збільшується кількість електроавтомобілів і в агропромисловому комплексі. Ступінь досконалості конструкції електромобілів оцінюється їх економічністю від якої залежить запас ходу. Крім конструктивних факторів в значній мірі на запас ходу впливають експлуатаційні чинники. Тому в роботі приводяться розрахунки, які демонструють вплив експлуатаційних чинників на запас ходу та питому витрату електроенергії. Дані розрахунків показують як змінюється дійсний запас ходу та питомі витрати енергії залежності від конкретних умов експлуатації порівняно з заявленим заводом виробником технічними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням економічності та запасу ходу електроавтомобілів в останній час присвячено багато публікацій [2, 3, 4]. В роботі [2] приводяться перелік факторів, які впливають на запас ходу, але відсутні конкретні дані з впливу швидкості, прискорення, дорожніх умов (коефіцієнту опору коченню, величини підйому), наявності вітру, температури навколишнього середовища та інших. В інших джерелах [3, 4] приводяться аналітичні залежності щодо розрахунків запасу ходу та тягово-динамічних розрахунків без конкретних величин впливу експлуатаційних факторів на запас ходу. Більш детально представлено дослідження Американської автомобільної асоціації [5], яка досліджувала запас ходу електроавтомобілів при температурі навколишнього середовища - 6⁰ С. Результати досліджень показали, що пробіг електроавтомобілів при температурі - 6⁰ С порівняно з температурними умовами літом скоротився у ModelS 75D на 35 %, Chevrolet Volt – на 47 %, BMW і3 на 50,5 %. Запас ходу, який задається виробником залежить від вимірювального циклу, за яким проводились визначення. Розходження величини може складати до 20...25 %

запасу ходу одного і того ж електромобіля. Наприклад запас ходу електромобіля Nissan Leaf заявлений на рівні 160 км (американський вимірювальний цикл), 175 км (європейський вимірювальний цикл), 200 км (японський вимірювальний цикл). Але в компанії Tesla прокоментували для видання Jalopnik що результати досліджень не відповідають дійсності.

Мета роботи. Темпи інтенсивного розвитку електромобілів в Україні обумовлені реалізацією вимог технічного, екологічного психологічного та естетичного характерів. Технічні фактори обумовлені досконалістю електромобілів, які проявляються в покращені конструкції та технології їх виготовлення. Технічні переваги електромобіля в більшості обумовлені перевагами електричного приводу. Підвищення екологічності автомобільного транспорту, який являється основним забруднювачем повітряного середовища обумовлено рішенням наступних задач: раціонального використання природних ресурсів та комплексної утилізації відходів; забезпечення природної рівноваги; захисту атмосфери, біо-, гідро- та геосфери від забруднення відходами виробництва; управління відтворенням та еволюцією природи як умовами життя і розвитку людства. В агропромисловому комплексі використання електромобілів дає ряд переваг перед традиційними конструкціями автомобілів. До цих переваг слід віднести можливість проводити зарядку від звичайної мережі, якщо запас ходу забезпечить необхідний пробіг електромобіля за робочий день. Можливість використання нетрадиційних джерел електроенергії (сонячної, вітрової). Важливим фактором, який стримує впровадження електромобілів в агропромисловому комплексі являється його більша, порівняно з автомобілями з ДВЗ, початкова вартість та менший 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: за допомогою теоретичної оцінки техніко експлуатаційних параметрів електромобілів, на прикладі автомобіля Tesla Моделі 3 LR 19, провести розрахунки запасу ходу при заданих значеннях основних технічних характеристик без врахування електромеханічних характеристик двигуна і розрядних характеристик акумуляторної батареї.

Виклад основного матеріалу. В основу методу покладено аналітичний вираз, що встановлює зв'язок між конструктивними і техніко-експлуатаційними параметрами електромобіля і тягової акумуляторної батареї. До цих параметрів відносяться: повна маса електромобіля m_e , коефіцієнт маси батареї

$k_{\sigma} = \frac{m_e}{m_{\sigma}}$, який дорівнює відношенню маси батареї m_{σ} до повної маси

електромобіля, середня питома енергоємність акумуляторів ΔW , максимальна швидкість руху електромобіля V_{\max} . Для отримання аналітичного виразу використовуємо співвідношення [3, 6]

$$W = \Delta A \cdot S \quad (1)$$

$$W = W_{\sigma} \cdot \eta_{en} \cdot \beta_{\text{дон}} \cdot \gamma = m_e \cdot k_{\sigma} \cdot \Delta W \cdot \eta_{en} \cdot \beta_{\text{дон}} \cdot \gamma \quad (2)$$

де W - енергія акумуляторів, яка витрачається на рух електромобіля, в

Вт·г; ΔA - питома витрата електроенергії на рух електроавтомобіля, Вт·г/км; S - запас ходу електромобіля в км; W_0 - кількість накопиченої електроенергії в акумуляторній батареї в Вт·ч; η_{en} - середній ККД системи електроприводу електромобіля; $\beta_{дон}$ - 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 $\beta_{дон}$ не враховується); γ - коефіцієнт, що враховує припустимий рівень розряду батареї, який обумовлюється типом і експлуатаційними якостями акумуляторів (при повному розряді $\gamma = 1$, при частковому - $\gamma < 1$).

Середній ККД електроприводу можна виразити як

$$\eta_{en} = \eta_a \cdot \eta_p \cdot \eta_d \cdot \eta_m$$

де η_a - середній ККД акумуляторів в режимі розряду; η_p - середній ККД системи регулювання; η_d - середній ККД тягового електродвигуна; η_m - середній ККД механічної передачі (головної передачі і коробки передач при її наявності).

Прирівнявши праві частини рівнянь (1) і (2), отримаємо:

$$\Delta A \cdot S = m_e \cdot k_0 \cdot \Delta W \cdot \eta_{en} \cdot \beta_{дон} \cdot \gamma = W, \text{ Вт·г}$$

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

$$S = \frac{m_e \cdot k_0 \cdot \Delta W \cdot \eta_{en} \cdot \beta_{дон} \cdot \gamma}{\Delta A}, \text{ км}$$

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

$$\Delta A = 0,277 \cdot \left\{ m_e \cdot \left[g(f_V + i_e) \cdot \left(1 - \frac{V_T^2}{26 \cdot a_T \cdot L_u} \right) + \frac{V_T^2}{26 \cdot L_u} \right] + 0,0492 \cdot k_\omega \cdot F_L \cdot V_{\max}^2 \cdot \left(1 - \frac{V_T^2}{26 \cdot a_T \cdot L_u} \right) \right\}, \text{ Вт·г/км}$$

де 0,277 – коефіцієнт переводу Дж в Вт·г; m_e - видання – приведена маса електромобіля в кг; f_V - коефіцієнт опору коченню коліс, при розрахунковій швидкості руху; i_e - величина еквівалентного ухилу на розрахунковому циклі, ($i_e = \text{tg} \alpha \approx \sin \alpha$, α – еквівалентний кут підйому в град); k_ω - коефіцієнт обтічності електромобіля в Н·с²/м⁴; F_L - площа лобового опору, м².

При розрахунках запасу ходу прийняті наступні величини:

$$m_0 = 540 \text{ кг}; m_e = 1607 \text{ кг}; \Delta W = 148,148 \text{ Вт·г/кг};$$

Вплив швидкості руху на запас ходу. На дальність пробігу електромобіля на одній зарядці акумулятора можуть впливати цілий ряд факторів. Виробник електромобілів Tesla в технічних параметрах кожної моделі авто завжди вказує

запас ходу – відстань, яку машина проїде на одному заряді акумулятора. У США запас ходу електромобілів розраховують за допомогою вимірювального циклу FTP-75 (Federal Test Procedure 75). Найчастіше його називають EPA – від назви організації, яка його створила (Environmental Protection Agency). Це багатогранний і великий тест, який включає рух автомобіля на різній швидкості, а також 22 зупинки з подальшим розгоном. Середня швидкість під час циклу EPA досягає майже 35 км/год, максимальна – 91,2 км/год. Запас ходу електромобіля Tesla 3 згідно паспортних даних складає 500 км. Розрахунки питомої витрати електроенергії та запасу ходу представлені на графіках, рисунок 1. З графіків видно, що запас ходу, визначений аналітично, електромобіль досягає при швидкості 80 км/г. Зменшення швидкості руху збільшує запас ходу. Так при швидкості 40 км/г запас ходу складає 627,5 км, а питома витрата електроенергії складає 242,21 Вт·г/км. При швидкості 200 км/г питома витрата електроенергії складає 627,5 Вт·г/км, а запас ходу зменшується до 242 км. Збільшення питомої витрати енергії та зменшення запасу ходу при збільшенні швидкості руху обумовлене головним чином збільшенням роботи на опір повітряного середовища та опору коченню. Так при вихідному значенню коефіцієнта опору коченню $f_v=0,007$ при швидкості руху 100 км/г його величина становить 0,0106, а при швидкості 200 км/г – 0,0214. Отже економічно експлуатувати електромобіль в межах заявленого виробником запасу ходу можливо при швидкостях руху до 80...90 км/г.

Вплив величини прискорення. Результати розрахунків впливу прискорення на запас ходу та питому витрату електроенергії представлено на графіку рисунок 2. Розрахунки запасу ходу показали, що особливо інтенсивно збільшується питома витрата електроенергії та зменшення запасу ходу спостерігається при розгонах з прискоренням до 2 м/с². Так при прискоренні 0,5 м/с² запас ходу становить 562,5 км, а при прискоренні 2 м/с² – 498 км. Подальше збільшення прискорення в меншій мірі впливає на запас ходу. Так при прискоренні 5 м/с² запас ходу зменшується до 481,8 км.

Вплив дорожніх умов. Дорожні умови розраховувались при різних значеннях коефіцієнта опору коченню та величини підйому. Вплив величини коефіцієнта опору руху на запас ходу (рисунок 3) показав що збільшення коефіцієнта опору коченню з 0,0076 до 0,0214 при однакових інших параметрах збільшує питому витрату енергії з 264,8 до 322,6 Вт·г/км і відповідно зменшує запас ходу з 503,4 до 413,4 км. Зі збільшенням величини підйому з 1⁰ до 7⁰ (рисунок 4) збільшується питома витрата енергії з 178,3 до 513,3, Вт·г/км і відповідно зменшується запас ходу з 530,5 до 184,2 км. Це обумовлено збільшенням роботи опору коченню та опору підйому.

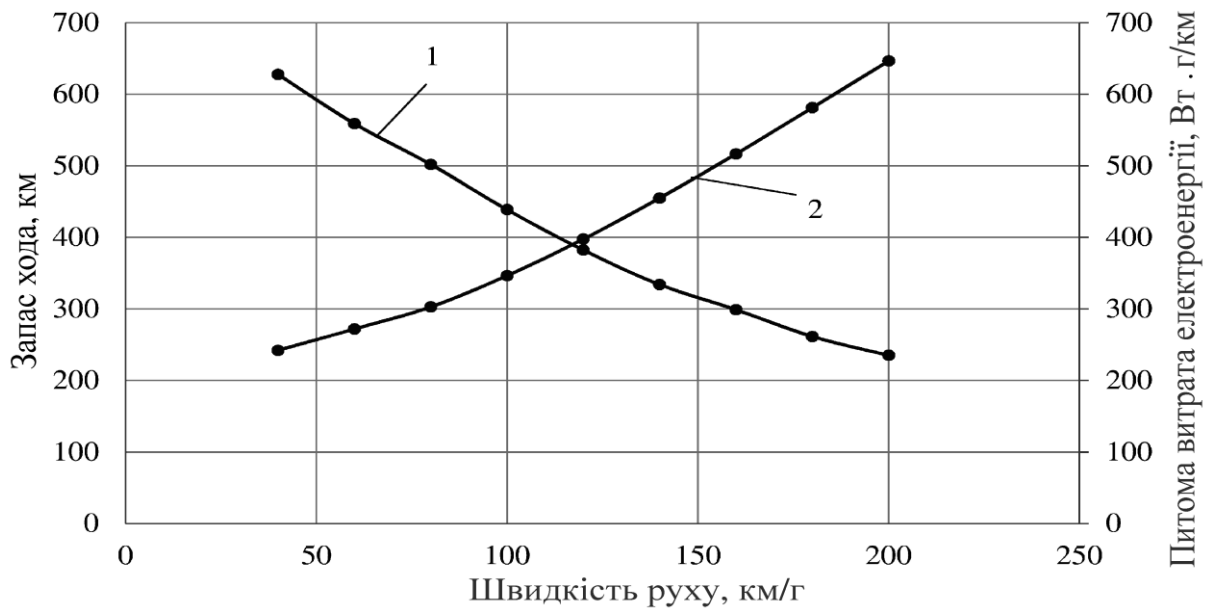


Рис. 1. Вплив швидкості руху на запас ходу: 1 – запас ходу; 2 – питома витрата електроенергії.

Зустрічний вітер. При дії зустрічного вітру сила опору зростає пропорційно квадрату приведеної швидкості. Так при русі електроавтомобіля зі швидкістю 16,6 м/с (60 км/г) і наявності зустрічного вітру швидкість якого становить 24 м/с рівнозначно швидкості електроавтомобіля 40,6 м/с (146,16 км/г).

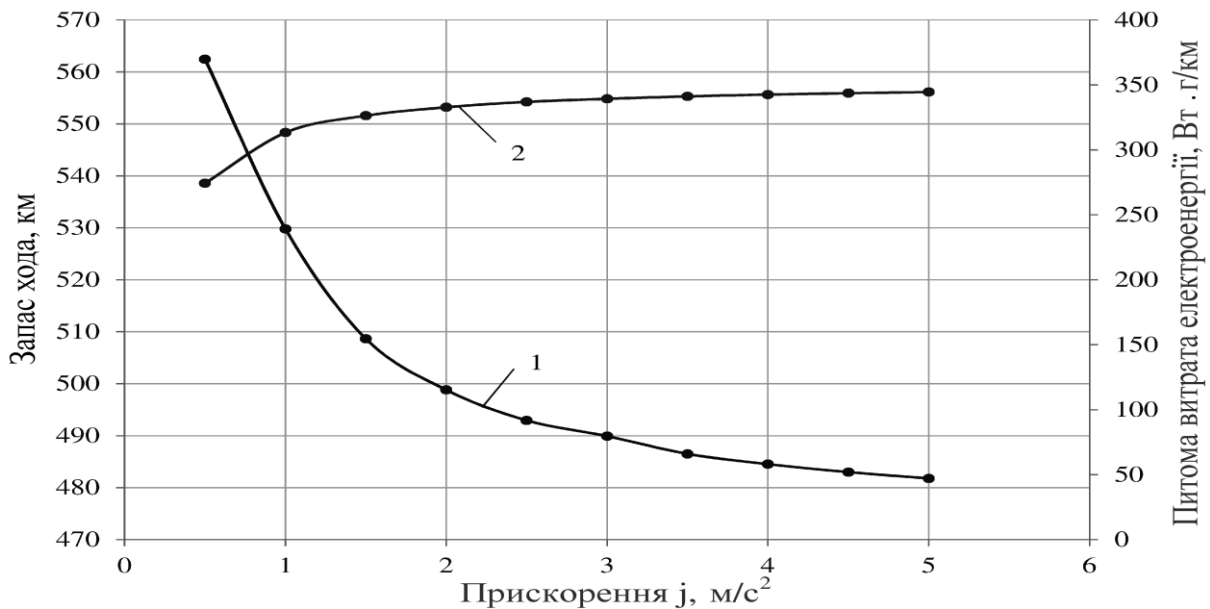


Рис. 2. Вплив прискорення на запас ходу: 1 – запас ходу; 2 – питома витрата електроенергії.

При цьому значно збільшуються питомі витрати електроенергії на подолання аеродинамічного опору що приводить до зменшення запасу ходу, рис. 5.

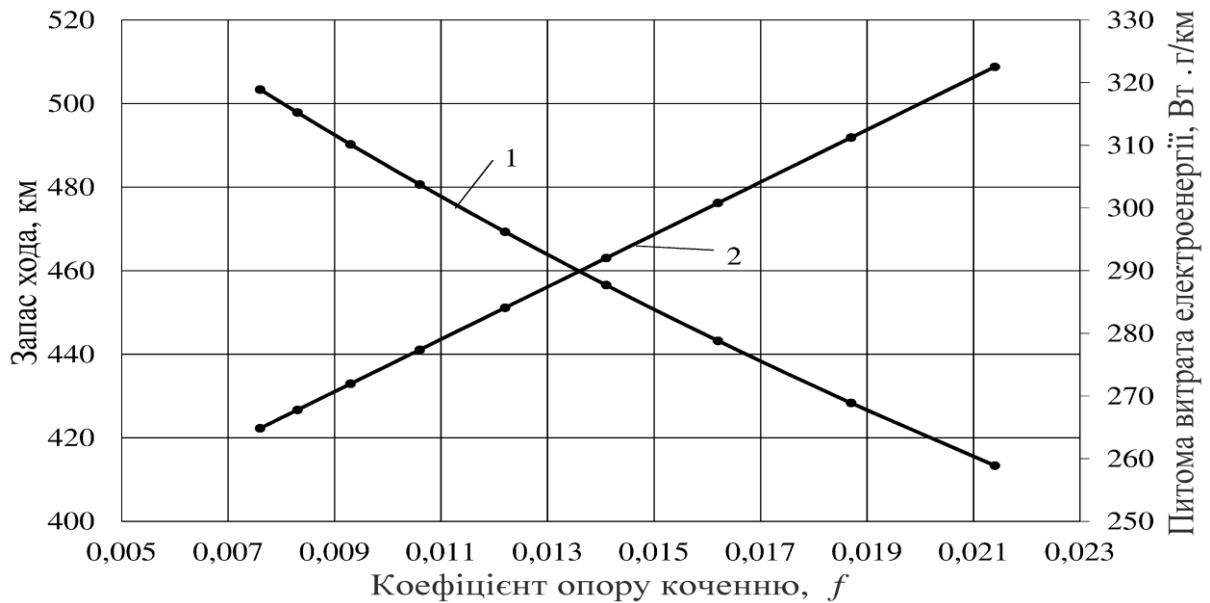


Рис. 3. Вплив коефіцієнта опору коченню на запас ходу:1- запас ходу; 2- питома витрата електроенергії.

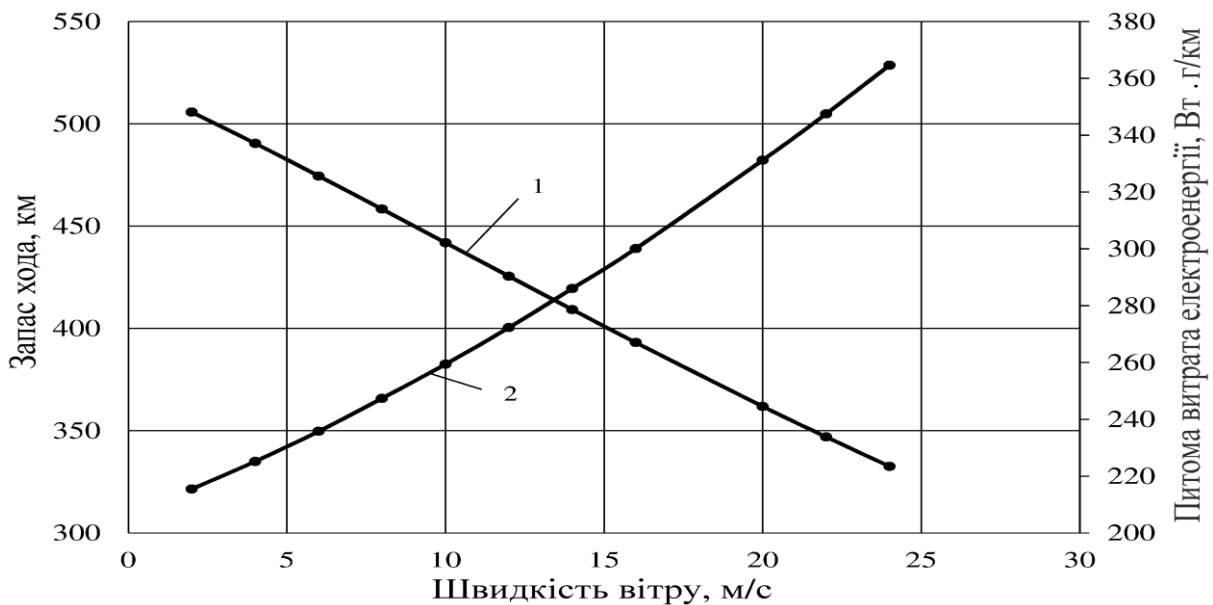


Рис. 4. Вплив кута поздовжнього підйому запас ходу:1 – запас ходу; 2 – питома витрата електроенергії.

Так при збільшенні зустрічного вітру від 2 до 24 м/с запас ходу зменшується з 505 до 313 км на повній зарядці акумуляторної батареї, а питомі витрати зростають з 215 до 365 Вт·г/км. Мінусові температури зменшують енергоефективність електроавтомобіля на 10...40 %, що рівнозначно зменшенню запасу ходу 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 $+25^{\circ}\text{C}$) також зменшує запас ходу, але в меншій мірі, запас ходу зменшується на 10...15%. Це обумовлено затратами на охолодження акумуляторів.

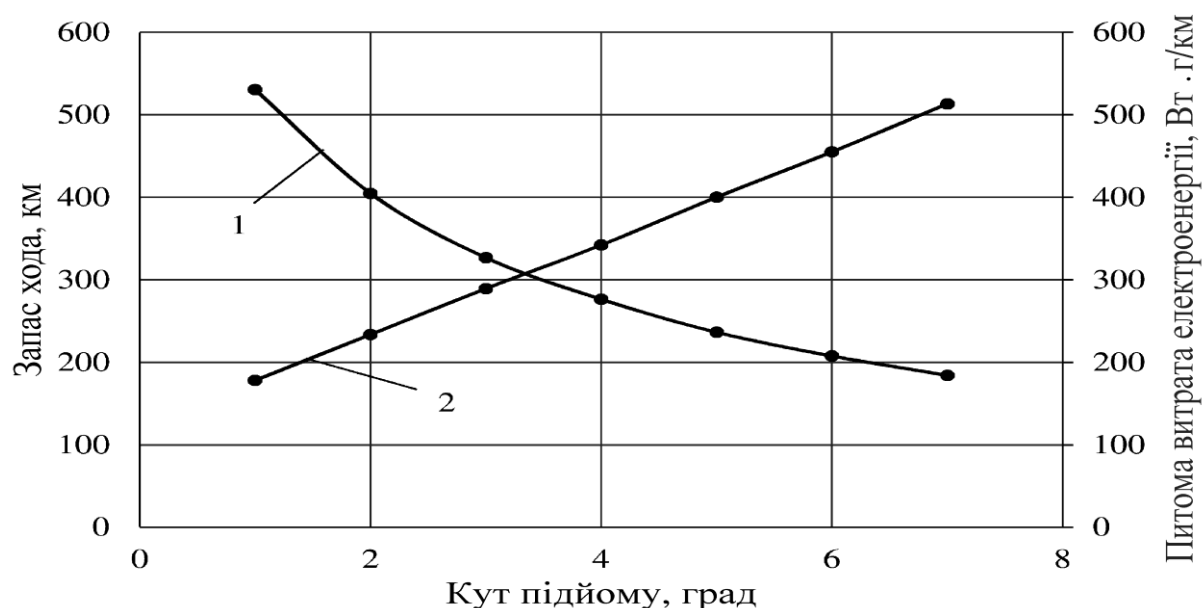


Рис. 5. Залежність запасу ходу від дії зустрічного вітру: 1 – запас ходу; 2 – питома витрата електроенергії.

Висновки. Аналіз розвитку електроавтомобілів в Україні за останні 10 років показав, що Україна по кількості електроавтомобілів випереджає сусідні держави, наприклад, Росію та Польщу. Особливо привабливо використання електроавтомобілів в агропромисловому комплексі з можливостями зарядки акумуляторів в міжзмінний час та використання нетрадиційних джерел електроенергії. Важливим елементом сучасних електроавтомобілів є їх економічність, яка оцінюється запасом ходу. За допомогою теоретичної оцінки техніко експлуатаційних параметрів електроавтомобілів проведено розрахунок запасу ходу при заданих значеннях основних конструктивних параметрів і джерела енергії, але при відсутності електромеханічних характеристик двигуна і розрядних характеристик акумуляторної батареї. В результаті досліджень встановлено, що заявлений запас ходу виробниками електроавтомобілів відповідає певним умовам експлуатації. При дійсних умовах експлуатації заявлений запас ходу може збільшуватися, або зменшуватися. На запас ходу значно впливають такі експлуатаційні чинники: швидкість руху, прискорення, дорожні умови, наявність вітру, температура навколишнього середовища, тиск повітря в шинах та термін експлуатації акумулятора. Приведені розрахунки дозволяють оцінити кількісні показники затрат питомої електроенергії та запасу ходу. Для подальшого, більш точного розрахунку розглянутих показників, необхідно враховувати розрядні характеристики акумуляторних батарей та електромеханічні характеристики двигуна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Матеріали конференції «АвтоТех Сервіс 2019» Київ 2019.
2. https://nikolacars.com.ua/factory-kotorue-snizayut-zapas-hoda-telektroavtomobiley.html?sef_revrite=1/16.05.2019.
3. <http://www.elektro-machines.ru/content/faktoru-zapasa-khod...09/09/2019>
4. <https://helpiks.org/1-116501.html/2014-2019>
5. www.Icmedia.com/ua/nevs/auto/34937-Batarei-elektrokarov-beistro-razryzhayutsya-v-holoda-issledovanie/08/02.2019.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ЗАПАС ХОДА ЭЛЕКТРОАВТОМОБИЛЕЙ

Чабан С., Ковра А.

В статье приводится анализ развития электроавтомобилей в Украине, использование которых увеличивается и в агропромышленном комплексе, что обусловлено возможностью зарядки аккумуляторов в межсменное время и использование нетрадиционных источников энергии. Использование электроавтомобилей обусловлено их экономичностью сравнительно с традиционными автомобилями и меньшими затратами на техническое обслуживание. Техническое совершенство электроавтомобилей проявляется в дальнейшем улучшенные конструкции и технологии их изготовления. Конструктивное совершенство проявляется в уменьшенные детали, узлов и агрегатов, так как у электроавтомобиля отсутствующий двигатель внутреннего сгорания, система охлаждения с радиатором, коробка передач, сцепления и механическая трансмиссия, компактность за счет упрощения конструкции несущей системы, трансмиссии, формы кузова и равномерным распределением нагрузки. Важной конструктивной технической характеристикой электроавтомобилей является их экономичность, которая оценивается удельной затратой электроэнергии и запасом хода. В полу расчетным путем исследуется влияние эксплуатационных факторов на удельную затрату электроэнергии и запас хода. Показано влияние скорости движения, ускорения, коэффициента сопротивления качению, величины подъема, наличия ветра и температуры окружающей среды на показатели экономичности. Приведенные расчеты показывают количественные величины влиянию эксплуатационных факторов на экономичность электроавтомобилей. Данные расчетов могут быть использованы при выборе режимов движения в эксплуатации, а также в учебном процессе при проектировании электроавтомобилей.

Ключевые слова: электроавтомобиль, удельная энергоемкость, удельная затрата электроэнергии, запас хода, скорость, ускорение, коэффициент сопротивления качению, величина подъема, емкость аккумулятора.

INFLUENCE OF CONSTRUCTION AND OPERATING FACTORS ON SUPPLY OF MOTION OF ELECTRO-CARS

Chaban S., Kovra A.

An analysis over of development of electro-cars in Ukraine, the use of that increases and in an agroindustrial complex, is brought in the article, that conditioned by possibility of charging of accumulators in interremovable time and use of unconventional energy sources. Use of electro-cars conditioned by their economy comparatively with traditional cars and less expenses on technical service. Technical perfection of electro-cars shows up the constructions and technologies of their making improved in future. Structural perfection shows up in diminished details, knots and aggregates, because at an electro-car absent combustion engine, system of cooling with a radiator, small box of transmissions, coupling and mechanical transmission, compactness due to simplification of construction of the bearing system, transmission, form of basket and by the even partition of load. Important structural technical description of electro-cars is their economy that is estimated by the specific expense of electric power and supply of motion. In the floor a calculation way is investigate influence of operating factors on the specific expense of electric power and supply of motion. Influence of rate of movement, acceleration, coefficient of resistance to woobling, size of getting up, presence of wind and ambient temperature on the indexes of economy is shown. The brought calculations over show quantitative sizes to influence of operating factors on the economy of electro-cars. Data of calculations can be used for the choice of the modes of motion in exploitation, and also in an educational process at planning of electro-cars.

Key words: *electro-car, specific power-hungryness, specific expense of electric power, supply of motion, speed, acceleration, coefficient of resistance to woobling, size of getting up, capacity of accumulator.*