

УДК 621.314

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.54.119>

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ТА МІЖЗАРЯДНОГО ПРОБІГУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

В.Б. Павлов^{1*}, докт. техн. наук, **В.І. Будько**^{2**}, канд. техн. наук, **Д.О. Малахатка**³, канд. техн. наук, **В.С. Павленко**⁴, **В.Ю. Іванчук**⁵

1, 3, 4 – Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна

2, 5 – Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
вул. Гната Хоткевича, 20-а, Київ, 02094, Україна

e-mail: mobil99@ied.org.ua

Розглянуто питання енергетичної ефективності тягових акумуляторних батарей електромобілів під час їх експлуатації в міжміському циклі руху для оцінки економічності застосування електротранспортних засобів і визначення оптимальної відстані між станціями «швидкої зарядки» тягових акумуляторних батарей, що встановлюються на міжміських дорогах загального користування. Бібл. 12, рис. 3, таблиця.

Ключові слова: електромобіль, тягова акумуляторна батарея, енергоємність, енергоефективність.

Що більше електромобілів (ЕМ) у даний час з'являється на ринку і експлуатується в різних сферах світового господарства, то більше розмов ведеться про можливість зарядки тягових акумуляторних батарей (ТАБ) у будь-якому місці знаходження такого електротранспорту, включаючи як міські райони, так і міжміські шосе для забезпечення надійного руху електромобілів між містами.

На сьогодні практично всі випущені електромобілі мають заявлений міжзарядний пробіг понад 100 км, що цілком задовольняє споживачів під час експлуатації електромобілів у міських умовах або в невеликій віддаленості від міста (наприклад, у разі поїздки на дачу). У цьому випадку також не виникає проблем із зарядкою ТАБ електромобіля, яку можна здійснити як від домашньої розетки, так і від зарядних станцій, інфраструктура яких у світі (в т.ч. і в Україні) з кожним роком все більше розширюється.

Інша ситуація складається під час експлуатації ЕМ на міжміських трасах, де, незважаючи на деякі «екзотичні» проекти (наприклад, безконтактна «швидка зарядка» типу «Supercharger» на окремих ділянках дороги під час руху електромобіля), на цей час єдиним реальним способом забезпечити ефективну зарядку електромобілів є установка станцій «швидкої зарядки» ТАБ за шляхом проходження ЕМ.

Метою роботи є аналіз факторів, що впливають на практичний міжзарядний пробіг електромобіля та визначення оптимальної відстані між станціями швидкої зарядки, що встановлюються на міжміських дорогах загального користування.

Здебільшого виробники електромобілів вказують «рекламний» міжзарядний пробіг ЕМ, не акцентуючи уваги на цілій низці факторів, що впливають на цей показник. До них можна віднести такі: швидкість руху ЕМ; ступінь зарядки ТАБ; ККД зарядки і розрядки ТАБ; температуру навколишнього середовища; деградацію ТАБ у міру зношення; масу вантажу та екіпажу ЕМ.

Оскільки одним з найбільш істотних факторів є швидкість руху ЕМ, розглянемо вплив швидкості руху на величину питомої витрати енергії (кВт·год/км) для декількох типів електромобілів.

Опір руху ЕМ (і відповідно витрати питомої енергії) залежить від кількох складових, основна з яких – сила P_k опору коченню, $P_k = fG\cos\alpha$, де f – коефіцієнт опору коченню, G – маса ЕМ, α – кут підйому. У результаті потужність N_k , яка витрачається на подолання сили опору коченню для горизонтальної дороги ($\cos\alpha = 1$), має вигляд

$$N_k = \frac{Vfg}{1000}$$

де V – швидкість руху.

Якісні експериментальні залежності зміни коефіцієнта опору коченню від швидкості руху (a), тиску повітря в шині (b) і моменту, що передається через колесо ($в$), показано у вигляді відповідних графіків на рис. 1.

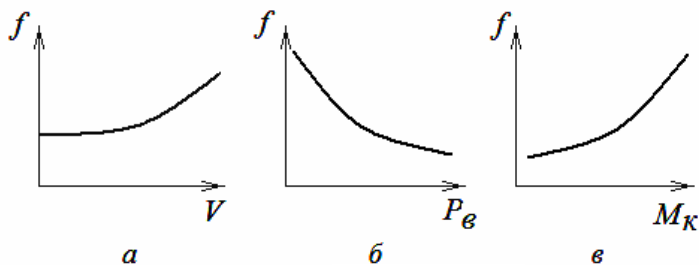


Рис. 1

лена виробником ЕМ) за швидкості 40 км/год, то до швидкості 120 км/год питома витрата енергії буде нелінійно змінюватися в бік значного збільшення [1].

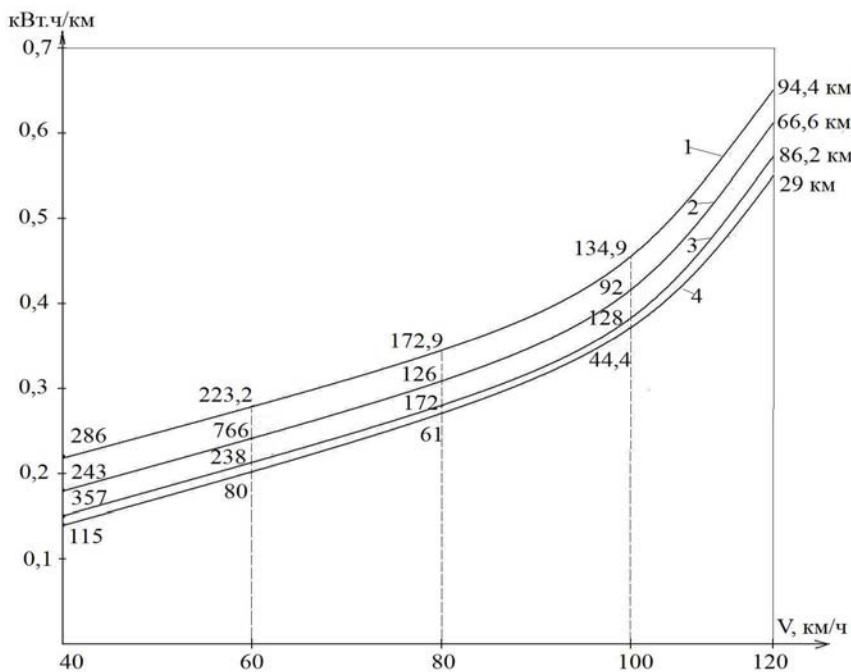


Рис. 2

№ за/п	Електромобіль	Маса ЕМ, кг	Маса АБ у % маси ЕМ	Питома витрата енергії за швидкості 40 км/г	Енергоємність ТАБ, кВт·год
1	Byd E6	2200	27,9	0,314	61,4
2	Nissan Leaf 2018	1557	25,7	0,165	40
3	Tesla Model 3	2000	25	0,145	50
4	Peugeot iOn5	1195	13,9	0,139	16

Іншим важливим фактором, що впливає на величину енергоємності ТАБ і відповідно на пробіг ЕМ, є температура навколишнього середовища [8, 9]. За високої температури необхідно витратити енергію ТАБ на кондиціонування салону і охолодження відсіку акумуляторної батареї. За низької температури енергія витрачається на обігрів салону і, якщо не передбачено термостатування відсіку ТАБ, тобто підтримання середньої температури ~ 25 °С, тоді може відбуватися природне зниження енергоємності ТАБ, причому воно різне для різ-

Слід зазначити, що сила опору, споживана потужність і питома витрата енергії ЕМ нелінійно залежать від швидкості руху, причому вони значно збільшуються з ростом швидкості. У реальних умовах руху ЕМ за містом його швидкість середньостатистично коливається в інтервалі 60–120 км/год. Якщо за початковий відлік береться витрата енергії (заяв-

На рис. 2 показано графіки зміни питомої витрати енергії в зв'язку зі збільшенням швидкості ЕМ для кількох електромобілів з різною енергоємністю ТАБ.

У таблиці наведено основні технічні дані сучасних ЕМ [2–7].

З графіків на рис. 2 видно, що в міру збільшення швидкості витрати енергії значно зростають і відповідно пробіг ЕМ на максимальній швидкості знижується в кілька разів порівняно з пробігом за швидкості в 40 км/год.

них типів ТАБ. Як показала практика експлуатації електромобіля, наприклад, марки «Nissan Leaf 2018», у зимовий час його пробіг не перевищував 80 км.

Звернемося тепер до питання ступеня зарядженості ТАБ електромобіля на станціях «швидкої зарядки» і ступеня зарядженості АБ, за якої електромобіль має стати на зарядку. Відомо, що ідеологія «швидкої зарядки» передбачає обмежений час стоянки ЕМ на зарядній станції, встановленій на міжміській трасі. Отже, ТАБ електромобіля заряджається до 80 % максимальної енергоємності, а подальша його дозарядка до 100 % передбачає зниження зарядного струму і значне збільшення часу пробігу електромобіля, що неприйнятно під час руху за містом. Разом з тим користувачам електромобілів рекомендується підключатися до станції з ТАБ, що розряджена не менш ніж на 10 %.

Згідно з даними роботи [10] тягова акумуляторна батарея ЕМ має такі показники, як ККД зарядки і розрядки. Якщо перший показник впливає на економічну складову (необхідно «закачати» більше енергії від зарядної станції в ТАБ, ніж накопичиться її в батареї), то в другому випадку ККД розряду безпосередньо впливає на міжзарядний пробіг машини в бік його зменшення. Зазвичай виробники ТАБ не публікують таких даних, і користувач ЕМ може визначити значення цих ККД тільки експериментальним шляхом, враховуючи цей фактор у подальшому під час експлуатації машини.

Ще одним чинником, що впливає на міжзарядний пробіг, є маса вантажу, що перевозиться, та екіпажу ЕМ. Показники пробігу між зарядками не уточнюються виробником ані за умови повного завантаження машини, ані в разі, коли в ЕМ будуть знаходитися, наприклад, 2–3 людини та багаж або один водій і таке інше.

За даними робіт [10–12] питома витрата енергії ТАБ електромобіля на кілометр шляху прямо залежить від його маси. Інтерполюючи наведені в цих роботах дані, отримаємо графіки залежності витрати енергії в кВт·год/км від маси ЕМ, що показані на рис. 3, в діапазоні до 3,0 тонн. Очевидно, що питомі витрати енергії значно зростають зі збільшенням маси ЕМ, тобто цей фактор також необхідно враховувати під час визначення середнього міжзарядного пробігу ЕМ.

Крім того, деградація ТАБ у процесі її експлуатації в електромобілі також впливає на зниження її ємності, тим більше під час здійснення «швидкої зарядки», і, за даними виробників, через 2–3 роки експлуатації ЕМ вже має місце 80 % ємності ТАБ.

Таким чином, аналіз впливу на енергоємність тягової акумуляторної батареї електромобіля перерахованих вище факторів засвідчує, що показник практичного міжзарядного пробігу в середньому може знижуватися на 20–50 % порівняно з тим, який зазначено виробником ЕМ. Через цей чинник сучасний рівень розвитку автономних джерел живлення для зарядки ТАБ електромобілів передбачає, що середня відстань між станціями «швидкої зарядки» на міжміських трасах не має перевищувати 75–80 км практично для всіх випущених на сьогодні у світі електромобілів.

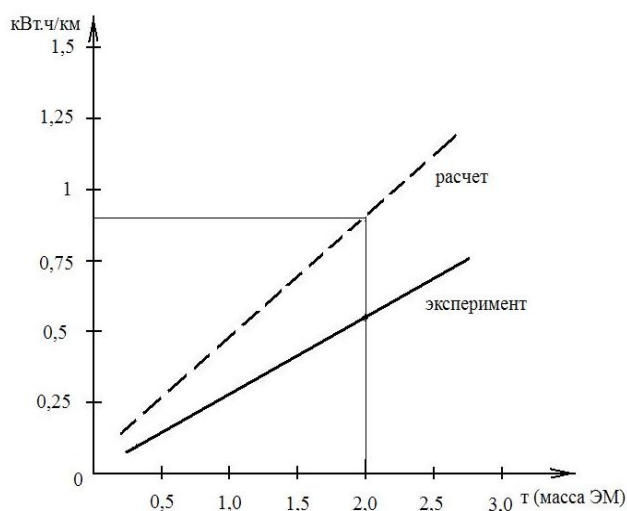


Рис. 3

Фінансується за держбюджетною темою «Розвиток теоретичних засад і розроблення рекомендацій по створенню високоефективних систем заряду накопичувачів енергії електромобільного транспорту з урахуванням вимог забезпечення електромагнітної сумісності з системою електроживлення» (шифр «Параметр-5»), що виконується за Постановою Бюро ВФТПЕ 05.07.2016 р., протокол № 11. Державний реєстраційний номер роботи 0116U008455.

1. Forces of resistance to movement and power necessary to overcome them. URL: <https://studfiles.net › preview › page:10> (accessed 12.02.2019) (Rus)
2. <https://www.smart.com/en/en/index/smart-eq-fortwo-453/technical-data.html> (accessed 12.02.2019)
3. <https://www.vw.com/> (accessed 12.02.2019)
4. <https://hevcars.com.ua/toyota/rav4-ev/> (accessed 28.01.2019)
5. <https://www.tesla.com/models> (accessed 14.02.2019)
6. <https://www.peugeot.co.uk/> (accessed 28.01.2019)
7. <https://www-europe.nissan-cdn.net/> (accessed 25.02.2019)
8. <https://electricrevs.com/2018/04/21/audi-e-tron-vs-jaguar-i-pace-battery-pack-comparison/> (accessed 12.02.2019)
9. Keller A. S., Whitehead G. Thermal characteristics of electric vehicle batteries. *SAE Techn. Pap. Ser.* 1991. No 911916. Pp. 37–47.
10. DeLuca W.H., Gillie K.R., Kulaga J.E., Smaga J.A., Tummillo A.F., Webster C.E. Performance and life evaluation of advanced battery technologies for electric vehicle applications. *SAE Techn. Pap. Ser.* 1991. No 911634. Pp. 25–34.
11. Bolger John G. The significance of inductive roadway power systems to dual mode transit. *Hybrid Dual Mode and Track. Syst. Elec. Veh. Dev. Group 4 th Int. Conf.*, London, Sept., 1981. Stevenage, 1981. Pp. 167–171.
12. Stavarache Paul, Mincinopschi Gheorghe. Experimentari privind intro decerea electronicii in actionarea vehiculelor electrice de transport uzinal. *Electrotehn., electron. Si autom. electro tehn.* 1986. Vol. 34. No 8. Pp. 317–320.

УДК 621.314

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ТЯГОВОЙ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ И МЕЖЗАРЯДНОГО ПРОБЕГА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В.Б. Павлов¹, докт. техн. наук, **В.И. Будько**², канд. техн. наук, **Д.А. Малахатка**³, канд. техн. наук, **В.Е. Павленко**⁴, **В.Ю. Иванчук**⁵

1, 3, 4 – Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина

2, 5 – Институт возобновляемой энергетики НАН Украины,

ул. Гната Хоткевича, 20а, Киев, 02094, Украина

Рассмотрены вопросы энергетической эффективности тяговых аккумуляторных батарей электромобилей при их эксплуатации в междугороднем цикле движения для оценки экономичности применения электротранспортных средств и определения оптимального расстояния между станциями «быстрой зарядки» тяговых аккумуляторных батарей, устанавливаемыми на междугородних дорогах общего пользования. Библи. 12, рис. 3, таблица.

Ключевые слова: электромобиль, тяговая аккумуляторная батарея, энергоёмкость, энергоэффективность.

ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING REDUCED ENERGY CAPACITY BATTERY AND INTER-CHARGING ELECTRIC CARS

V.B. Pavlov¹, **V.I. Budko**², **D.O. Malakhatka**³, **V.E. Pavlenko**⁴, **V.U. Ivanchuk**⁵

1, 3, 4 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine

2, 5 – Renewable Energy Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Hnat Hotkevych str., 20 a, Kyiv, 02094, Ukraine

The issues of energy efficiency of traction batteries of electric vehicles during their operation in the long-distance traffic cycle were considered to assess the efficiency of using electric vehicles and determine the optimal distance between the “fast charging” stations of traction batteries installed on long-distance public roads. References 12, figures 3, table.

Key words: electric vehicle, traction battery, energy intensity, energy efficiency.

Надійшла 25.03.2019

Received 25.03.2019