

УДК 629.3+504

А. О. БОРИСЕНКО, асп. ХНАДУ, Харків**РОЗРАХУНОК ПРОБІГУ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ НА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯЗІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

В роботі проведено розрахунок пробігу гібридного автомобіля на електричній тязі в залежності від умов експлуатації. Проведено обґрунтування необхідності підвищення паливної економічності та екологічної чистоти гібридних автомобілів за рахунок використання електричної енергії, що накопичується у блоку акумуляторних батарей. В результаті виконання розрахунку проведений вибір та обґрунтування кількості акумуляторних батарей у накопичувачі електричної енергії. Зроблені висновки.

Ключові слова: екологічність, електромобіль, гібридний автомобіль, умови експлуатації, акумуляторна батарея

Вступ. На сьогоднішній час конкурентоспроможний і порівняно екологічно чистий автотранспортний засіб можна зробити за рахунок розроблення гібридної силової установки, що включає двигун внутрішнього згоряння, тяговий електричний двигун і накопичувач електричної енергії. В якості накопичувача енергії доцільно застосовувати літій-іонні акумуляторні батареї. Найбільш зручними в експлуатації є гібридні автомобілі, які мають режим електромобіля, та які здатні накопичувати енергію у блоці тягових акумуляторних батарей безпосередньо від стаціонарних джерел електричної енергії. Це обумовлено суттєво нижчою вартістю кВт·год. з електричної мережі, в порівнянні з вартістю кВт·год. одержаних з генераторних установок, які отримують енергію від бензину, дизпалива або газу. Такий підхід до створення силової установки дозволяє суттєво знизити витрати моторного палива, підвищити екологічність та поліпшити тягово-швидкісні характеристики автомобіля.

Аналіз основних досягнень і літератури. Вже більше 10 р. у ХНАДУ проводять дослідження в галузі розробки енергоефективних та екологічно чистих технологій автотранспортних засобів, що використовують різноманітні джерела енергії та виконавчі пристрої. Розроблено декілька модифікацій автомобілів з нетрадиційними силовими установками (електричними, пневматичними, мехатронними) з проведенням їх натурних випробувань в реальних умовах експлуатації [1-5].

Остання модифікація гібридного автомобіля створена на базі автомобіля ЗАЗ Ланос Пікап. При цьому сам автомобіль та його існуюча силова установка залишається без змін, лише доповнюється тяговим вентильним електричним двигуном, який отримує живлення через перетворювач напруги від блоку літій-іонних акумуляторних батарей [6-8].

Мета дослідження, постановка задачі. Метою роботи є підвищення паливної економічності та екологічної чистоти гібридних автомобілів за рахунок використання електричної енергії, що накопичується у блоку акумуляторних батарей. Для визначення кількості акумуляторних батарей у складі гібридної силової установки необхідно провести розрахунок пробігу гібридного автомобіля на електричній тязі в залежності від умов експлуатації. Основною задачею є вибір та обґрунтування кількості акумуляторних батарей у накопичувачі електричної енергії гібридного автомобіля.

Матеріали дослідження. Аналіз вартості основних компонентів гібридної силової установки показав, що вартість літій-іонних акумуляторних батарей є визначальною. Але кількість застосованих акумуляторних батарей визначає дальність пробігу автомобіля на електричній тязі. В теперішній час висока вартість літій-іонної

технології створення акумуляторів стримує розвиток електромобілів. Наприклад, для пробігу електромобіля масою 1000 кг на відстань до 200 км необхідна акумуляторна батарея ємністю 20...25 кВт·год. Ціна такої акумуляторної батареї складає більш 200 тис. грн., що перевищує вартість базового автомобіля.

Для рішення даної проблеми необхідно проведемо розрахунок дальності пробігу гібридного автомобіля на електричній тязі спорядженою масою 1000 кг з різною кількістю акумуляторних батарей LFP90АНА 3.2V/90Ah, котрі призначені спеціально для застосування в гібридних автомобілях, електромобілях, електроавтобусах та інших електричних транспортних засобах. Основні експлуатаційні характеристики акумулятора TS-LFP90АНА наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики акумулятора TS-LFP90АНА

| Тип | Акумулятор літій-залізо-фосфатний |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Ємність C, А·год | 90 |
| Струм заряду, А | 0,5·C |
| Макс струм розряду, А | 3·C |
| Робоча напруга, В | 2,5...4,25 |
| Кількість циклів заряд-розряд | 3000...5000 |
| Діапазон робочих температур, °С | - 45...+ 85 |
| Вага, кг | 3,2 |

Для визначення дальності пробігу гібридного автомобіля на електричній тязі проведемо розрахунок питомої енергоємності акумулятора TS-LFP90АНА, який застосовується для живлення тягового електропривода гібридного автомобіля, створеного на базі ЗАЗ Ланос Пікап, Вт·год./кг.

$$E_n = \frac{U_{el} \cdot I \cdot t}{m_{AKB}}, \quad (1)$$

де E_n – питома енергоємність акумулятора, Вт·год./кг;

U_{el} – середня напруга на елементі, В;

I – розрядний струм, А;

t – час розряду, год.;

m_{AKB} – маса акумуляторної батареї, кг.

Ємність акумулятора визначає розрядний струм за час розряду t , год.

$$C = I \cdot t, \quad (2)$$

Тому формула 1 приймає вигляд

$$E_n = \frac{U_{el} \cdot C}{m_{AKB}}, \quad (3)$$

Споживання електричної енергії автомобілем, рух якого відбувається за рахунок електричного двигуна, залежить від умов експлуатації та може відрізнятись майже у три рази (табл. 2).

Таблиця 2 – Залежність питомого споживання енергії від режиму експлуатації автомобіля на електричній тязі

| Питоме споживання енергії K_E , Вт·год./кг·км) | Режим експлуатації |
|---|--|
| 0,10...0,15 | Легкі умови, рух на невеликій швидкості |
| 0,15...0,20 | Середні умови, нормальний міський рух |
| 0,20...0,25 | Складні умови, при багаторазових динамічних прискореннях, різкому гальмуванні до повної зупинки або рух на високих швидкостях. |

Пробіг автомобіля на електричній тязі залежить від режиму руху, маси автомобіля, вантажу та пасажирів, швидкості автомобіля, дорожніх умов, стилю водіння та складності руху: інтенсивності та кількості циклів гальмування-зупинка-розгін, динамічності зрушення з міста, інтенсивності натискання на електрону педаль акселератора та педаль гальмування, стану покриття, наявності підйомів або спусків та від багатьох інших факторів.

Дальність пробігу автомобіля S_e на електричній тязі, км

$$S_e = \frac{E_n \cdot n \cdot m_{AKB}}{K_E \cdot (m_{El} + n \cdot m_{AKB})}, \quad (4)$$

де E_n – питома енергоємність акумулятора, Вт·год./кг;

n – кількість акумуляторних батарей, шт.;

K_E – питоме споживання енергії автомобіля, що рухається на електричній тязі, в різних режимах руху, Вт·год./кг·км;

m_{El} – споряджена маса автомобіля, кг.

Результати дослідження. Проведемо розрахунок дальності пробігу електромобіля та гібридного автомобіля на електричній тязі в залежності від кількості використаних акумуляторних батарей та умов експлуатації. Пробіг електромобіля, на відміну від пробігу гібридного автомобіля, може складати до 150 км у легких умовах руху, тому для електромобіля достатньо застосовувати 50 акумуляторних батарей типу LFP090AHА 3.2V/90Ah. З отриманих розрахунків випливає, що блок з 50 акумуляторних батарей TS-LFP90AHА може запасати енергію 14,4 кВт·год., якої вистачить на подолання автомобілем спорядженою масою до 1000 кг відстані до 145 км у легких умовах руху. Для прикладу, блок акумуляторних батарей серійного електромобіля Mitsubishi i-MiEV запасє 16 кВт·год. За даними виробника пробіг Mitsubishi i-MiEV складає 160 км, що практично співпадає з проведеними розрахунками. Але Mitsubishi i-MiEV – це електромобіль, ми же розробляємо гібридний автомобіль, тому дальність пробігу на електричній тязі будемо визначати з щоденного середньостатистичного пробігу автомобіля. Світова статистика пробігу міського легкового автомобіля показує, що 80 % легкових автомобілів в Європі проїжджають на день не більше 40 км, а близько 50 % – до 20 км. Для автомобіля це фактично означає, як мінімум 2 поїздки, по 10...20 км в кожную сторону, як правило, у міському режимі руху. Для задовольняють потреби більшості автовласників запас ходу на електричній тязі гібридного автомобіля може складати 30...40 км у середніх міських умовах експлуатації (див. рис. 1).

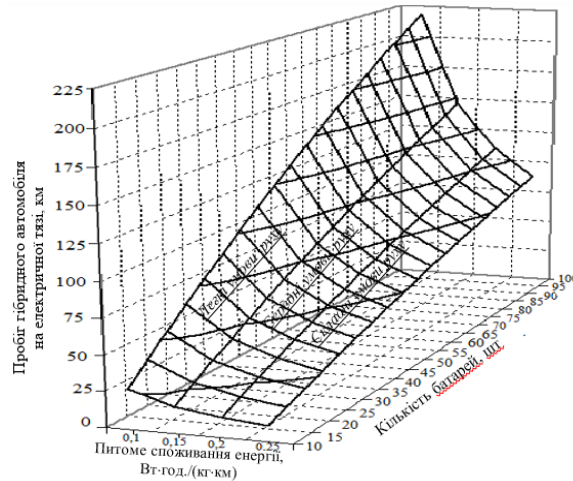


Рисунок 1 – Результати розрахунку пробігу електромобіля в залежності від кількості використаних акумуляторних батарей

Висновки. Результати розрахунку дальності пробігу гібридного автомобіля спорядженою масою 1000 кг на електричній тязі в залежності від умов експлуатації та кількості використаних акумуляторних батарей у блоку живлення показують, що для подолання 30...40 км у середніх умовах руху достатньо застосовувати 20 акумуляторних батарей типу LFP090АНА 3.2V/90Ah. Максимальний пробіг при цьому буде складати до 60 км.

Список літератури: 1. Смирнов О.П. Розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах / О.П. Смирнов, О.Б. Богаєвський, А.О. Смирнова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 29 (1002). – С. 114-119. 2. Бажинов А.В. Пути снижения стоимости подзаряжаемого гибридного автомобиля / А.В. Бажинов, В.Я. Двадненко, С.А. Сериков, Е.А. Серикова, О.П. Смирнов // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2012. – № 134/2012. – С. 36-39. 3. Бажинов А.В. Разработка экологически чистых автотранспортных средств / А.В. Бажинов, О.П. Смирнов, В.Я. Двадненко, М. Хаким // – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2012. – № 128 – С. 138-142. 4. Борисенко А.О. Впровадження класів економічності автомобілів на Україні / А.О. Борисенко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 10 (1053). – С. 95-99. включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA). 5. Smyrnov O. Experimental research of power characteristics car TOYOTA Prius in the mode electromobile [Електронний ресурс] / O. Smyrnov, S. Klymenko // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2014. – № 6. с. 94-96. – ISSN 2226-9266 – Режим доступу к джерелу: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/14soptme.pdf. 6. Смирнова А.О. Порівняльний аналіз паливної економічності гібридних автомобілів / А.О. Смирнова // Вісник СНТУ серія «Машиноприладобудування і транспорт»– 2013. – №142 – С. 173-176. 7. Борисенко А.О. Аналіз методів оцінки паливної економічності автомобілів [Електронний ресурс] / А.О. Борисенко // Автомобіль і електроніка. Сучасні

технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – 2013. – № 5. с. 17-21.
8. Смирнов О.П. Гибридная силовая установка для транспортных средств / *О.П. Смирнов, А.Б. Богаевский, А.О. Смирнова* // – Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – № 139 – С. 207-211. **9. Смирнов О.П.** Вибір та розрахунок джерела живлення для електромобіля / *О.П. Смирнов* // Наукові нотатки. – 2012. – № 36. – С. 260-263.
10. Смирнов О.П. Перспективні напрями розвитку сучасного автомобілебудування / *О.П. Смирнов* // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014. – № 9 (1052). – С. 61-65.

Bibliography (transliterated): **1. Smyrnov O.P.** Rozrakhunok ekvivalentnoyi vytraty palyva elektromobilyamy u riznykh krainakh / *O.P. Smyrnov, O.B. Bohayevs'kyu, A.O. Smyrnova* . Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. – Kharkov: NTU «KhPI». – 2013. – # 29 (1002). – P. 114-119. **2. Bazhynov A.V.** Puty snyzhenyya stoymosty podzaryazhaemoho hybrydnoho avtomobylya / *A.V. Bazhynov, V.Ya. Dvadnenko, S.A. Serykov, E.A. Serykova, O.P. Smyrnov* . Visnyk SevNTU. Seriya: Mashynopryladobuduvannya ta transport. – 2012. – # 134/2012. – P. 36-39. **3. Bazhynov A.V.** Razrabotka ekolohychesky chystykh avtotransportnykh sredstv / *A.V. Bazhynov, O.P. Smyrnov, V.Ya. Dvadnenko, M. Khakym* . – Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. – 2012. – # 128 – P. 138-142. **4. Borysenko A.O.** Vprovadzhennya klasiv ekonomichnosti avtomobiliv na Ukraini / *A.O. Borysenko* . Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. – Kharkov: NTU «KhPI». – 2014. – # 10 (1053). – P. 95-99. vklyuchenyy u dovidnyk periodychnykh vydan' bazy danykh Ulrich"s Periodicals Directory (New Jersey, USA). **5. Smyrnov O.** Experimental research of power characteristics car TOYOTA Prius in the mode electromobile [Elektronnyy resurs] / *O. Smyrnov, S. Klymenko* . Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnolohiyi: elektronne nauкове spetsializovane vydannya. – 2014. – # 6. p. 94-96. – ISSN 2226-9266 – Rezhym dostupu k dzherelu: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/14soptme.pdf. **6. Smyrnova A.O.** Porivnyal'nyu analiz palyvnoyi ekonomichnosti hibrydnykh avtomobiliv / *A.O. Smyrnova* . Visnyk SNTU seriya «Mashynopryborobuduvannya i transport»- 2013. – #142 – P. 173-176. **7. Borysenko A.O.** Analiz metodiv otsinky palyvnoyi ekonomichnosti avtomobiliv [Elektronnyy resurs] / *A.O. Borysenko* . Avtomobil' i elektronika. Suchasni tekhnolohiyi: elektronne nauкове spetsializovane vydannya. – 2013. – # 5. p. 17-21. **8. Smyrnov O.P.** Hybrydnaya sylovaya ustanovka dlya transportnykh sredstv / *O.P. Smyrnov, A.B. Bohayevskyy, A.O. Smyrnova* . – Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. – 2013. – # 139 – P. 207-211. **9. Smyrnov O.P.** Vybir ta rozrakhunok dzherela zhyvlennya dlya elektromobilya / *O.P. Smyrnov* . Naukovі нотатки. – 2012. – # 36. – P. 260-263. **10. Smyrnov O.P.** Perspektyvni napryamy rozvytku suchasnoho avtomobilebuduvannya / *O.P. Smyrnov* . Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. – Kharkov: NTU «KhPI». – 2014. – # 9 (1052). – P. 61-65.

Надійшла (received) 06.02.2015