

ВИЗНАЧЕННЯ ЄМНОСТІ ТЯГОВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ НЕКОМЕРЦІЙНИХ АВТОМОБІЛІВ З ГІБРИДНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ

Сітовський О.П., кандидат технічних наук, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна.

Яновський В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

Кашуба А.М., Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна.

DETERMINATION OF THE CAPACITY TRACTION BATTERIES FOR NON-COMMERCIAL CARS WITH HYBRID POWER PLANT

Sitovskyi O. P., Ph.D. of Technical Sciences, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

Yanovskyi V. V., Ph.D. of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Kashuba A., Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ ТЯГОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ НЕКОММЕРЧЕСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ

Ситовский О.Ф., кандидат технических наук, Луцкий национальный технический университет г. Луцк, Украина.

Яновский В.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина

Кашуба А.Н., Луцкий национальный технический университет, г. Луцк, Украина.

Постановка проблеми. На сьогодні людство стоїть на порозі енергетичної кризи. Близько 50% видобутої нафти споживається транспортом. Зростаючий характер споживання вуглеводневого палива на транспорті, головним чином, пов'язаний з наступними факторами:

- високий рівень і темпи автомобілізації;
- експлуатація автотранспортних засобів з низьким показником паливної економічності;
- велика частка режимів руху, які відзначаються роботою силової установки транспортного засобу з низькою енергетичною ефективністю.

Одним з найбільш оптимальних і раціональних способів для створення екологічно чистішого автомобіля, на сьогоднішній день, є обладнання автомобілів силовими установками із двома джерелами енергії – гібридними силовими установками. Дана конструкція носить назву, відповідно до Правил №83 ЄЕК ООН, «Hybrid Electric Vehicle» (HEV) – АТЗ з ГСУ.

Завдяки такому сполученню двигунів різного виду, за споживанням енергії, можна виключити не ефективні, в плані економії палива і токсичності відпрацьованих газів, періоди роботи двигуна внутрішнього згорання, в режимах руху, замінивши їх роботою електричного двигуна.

В даний час автомобілі з гібридними силовими установками і електромобілі набувають все більшої популярності. Електрифікація транспортних засобів шляхом переходу до гібридів і електромобілів безумовно покращить екологічну ситуацію. Переходу до електромобілів і гібридних транспортних засобів також сприяє відчутний ріст цін на нафти в світі, які в свою чергу призводять до збільшення вартості автомобільного палива.

На даний час уже серійно випускаються автомобілі з ГСУ практично усіма потужними автовиробниками, проте навіть при значному ступені вивченості даних енергоустановок ще не розкриті всі можливості даних систем.

На сьогодні, на чолі рейтингу найбільш економічних автомобілів стоїть Toyota Prius, з витратою 4,7 л/100 км., Ford Fusion Hybrid – 5 л/100 км, Honda Accord Plug-in Hybrid – 5,11 л/100 км. Повний діапазон пробігу даних автомобілів становить 862, 918, 917 кілометрів відповідно, але і діапазон цін на дані автомобілі починається з \$24 тис. [1]. Основна вартість автомобіля складає вартість накопичувачів енергії – акумуляторних батарей. Для здешевлення даних транспортних засобів необхідно найбільш оптимально і раціонально підібрати ємність акумуляторних батарей для забезпечення необхідного пробігу.

Взявши до уваги те, що середньодобовий пробіг в міських умовах становить 30...40 км [2], та термін експлуатації літій-іонних акумуляторних батарей, які використовуються на автомобілях з ГСУ, становить 6-8 років [3], можна припустити, що немає необхідності встановлювати акумулятори такої надмірної ємності.

Метою даної роботи є визначення необхідної ємності акумуляторних батарей для автомобілів з гібридною силовою установкою з врахуванням габаритно-масових характеристик та величин разових пробігів.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідити ринок автотранспортних засобів України;
- сформуванати математичний апарат для проведення теоретичних розрахунків;
- встановити величини масово-габаритних характеристик та коефіцієнтів, необхідних для проведення розрахунку для всіх транспортних засобів, що наповнюють ринок України;
- за результатами досліджень встановити відповідні залежності.

Основна частина. Аналіз ринку легкових автомобілів свідчить про те, що основна маса транспортних засобів, що експлуатуються на території України – це автомобілі особливо малого, малого і середнього класу. За даними автомобільного сайту AUTO.gia.ua ринок автомобілів має такий розподіл (таблиця 1). Як видно, значну частину ринку транспортних засобів України складають автомобілі малого класу. Дані транспортні засоби відзначаються відносно низькою паливною економічністю, що веде за собою високу токсичність. Тому існує необхідність переобладнання даних транспортних засобів, а саме використання для руху електричної тяги. Є думка, що парк транспортних засобів приватного користування при переході на гібридні силові установки буде мати приблизно такі самі пропорції.

Таблиця 1- Розподіл ринку транспортних засобів в Україні

Виробник	BA3	VW	Mercedes-Benz	Opel	Renault	Daewoo	Ford	BMW	Toyota	Chevrolet
% автомобілів на ринку	15.1	8.4	7.0	5.8	4.7	4.2	3.8	3.1	3.0	2.9

Для можливості порівняльних випробувань паливної економічності колісних транспортних засобів встановлені стандартні їздові цикли [4, 5]. Один з таких циклів встановлюється стандартами Росії для вимірювання енергетичних характеристик електромобілів та гібридних автомобілів [6, 7]. Схема цього міського випробувального циклу зображена на рисунку 1.

Швидкість, км/год.

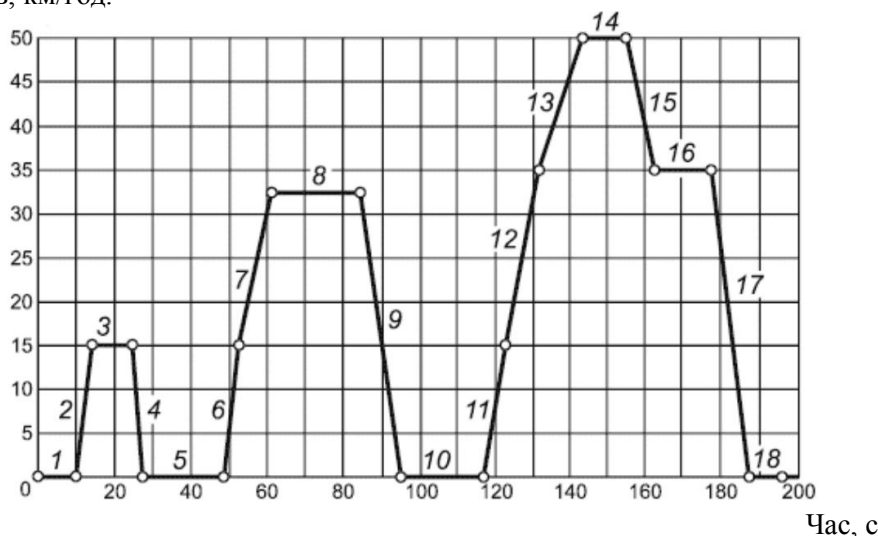


Рисунок 1. Міський випробувальний цикл

В даному стандарті вказані режими руху транспортного засобу при виконанні європейського міського циклу при визначенні споживання енергії для подолання опору руху. З загальної

характеристики циклу відомо, що загальний час становить 195 с., теоретична середня швидкість – 18,8 км/год. Час зупинок становить 60 с або 31%. Транспортний засіб рухається з прискоренням 42 с (22%), з постійною швидкістю 59 с (30%) та зі сповільненням 34 с. (17%). Теоретична довжина міського циклу дорівнює 1017 м. Так по пробігу в міському їздовому циклі режим розгону становить 255 м (25%). На ділянці 559 м (55%) автомобіль рухається з постійною швидкістю. Шлях, на якому транспортний засіб сповільнюється дорівнює 203м (20%).

Для визначення затрат енергії, необхідної для виконання міського їздового циклу, необхідно встановити сили, які діють на кожній ділянці циклу. З теорії автомобіля [8] сила сумарного опору дорівнює:

$$P_{\psi} = P_f + P_h,$$

де $P_f = f \cdot G_a$ – сила опору кочення;

$P_h = G_a \cdot \sin \alpha$ – сила опору підйому;

G_a – вага автомобіля, Н;

f – коефіцієнт опору кочення;

α – кут нахилу дороги. Для міського їздового циклу приймається $\alpha = 0$.

Сила опору повітря дорівнює:

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a^2,$$

де k – коефіцієнт опору повітря;

F – площа лобового опору автомобіля, м²;

V_a – швидкість руху автомобіля, м/с.

Сила опору розгону дорівнює:

$$P_j = \frac{G_a}{g} \cdot j \cdot \delta_{об},$$

де j – прискорення автомобіля, м/с²;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт врахування обертових мас. Приймається для легкових автомобілів для даного дослідження $\delta_{об} = 1.35$.

Робота, яка затрачається автомобілем по ділянці їздового циклу дорівнює:

$$A = \sum_{i=1}^n P_i \cdot S_i$$

де P_i, S_i – сили опору руху i відповідний шлях, на якому діє вказана сила.

З урахуванням режиму руху колісного транспортного засобу можна визначити час, шлях і енергію, яка може бути спожита на вказаній ділянці.

Так після теоретичних досліджень було встановлено, що для автомобіля масою 1000 кг для подолання міського їздового циклу протяжністю 1017 м необхідно 352 кДж або 98 Вт·год. Дані розрахунки проводились без врахування можливості рекуперації енергії.

Так як під час експериментальних досліджень автомобілі експлуатувались в міських умовах, то вважається, що відсоток розподілу по пробігу є таким самим, як для міського циклу [6] і відповідно дорівнює: розгін 25%, рух з постійною швидкістю 55% і сповільнення - 20%. З урахуванням проценту розподілу поїздок приватних транспортних засобів [9] видно, що до 90% всіх разових поїздок мають довжину до 40 км (рисунок 3).

Для дослідження було вибрано найбільш розповсюджені в Україні і світі автомобілі масою від 600 до 2000 кг. З урахуванням габаритно-масових показників легкових автомобілів були зроблені розрахунки затрат енергії, яка витрачається автомобілем для подолання опорів руху по вказаній ділянці міського їздового циклу (табл. 2). Результати розрахунків з визначення енергії необхідної для

подолання шляху довжиною від 5 до 50 км (з урахуванням проценту розподілу разових поїздок), залежно від маси автомобіля наведені в таблиці 1.

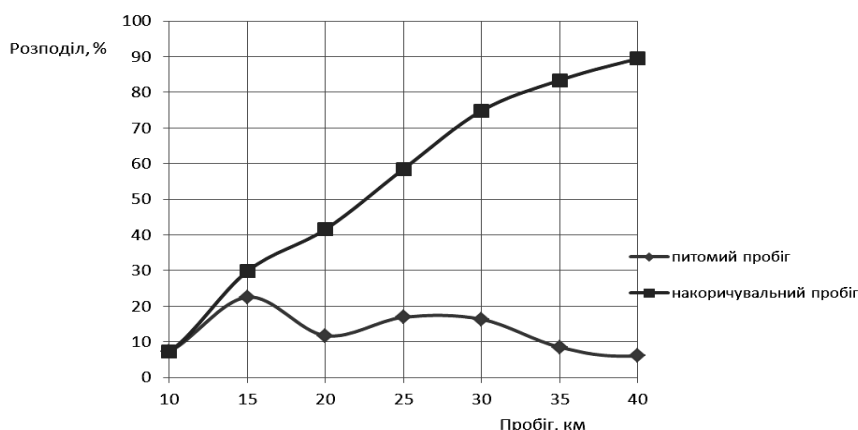


Рисунок 3. Загальний розподіл довжини разового пробігу по експерименту

Таблиця 2.- Необхідна енергія для подолання заданих пробігів в міських умовах

Пробіг S, км	Цикл	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
		Затрати енергії, МДж										
Маса, кг	600	0,22	1,08	2,17	3,25	4,33	5,41	6,50	7,58	8,66	9,74	10,83
	1000	0,35	1,73	3,47	5,20	6,93	8,67	10,40	12,13	13,87	15,60	17,33
	1500	0,50	2,48	4,95	7,43	9,90	12,38	14,86	17,33	19,81	22,29	24,76
	2000	0,65	3,20	6,40	9,60	12,80	16,00	19,20	22,40	25,60	28,80	32,00

На даний момент найбільш ефективними є батареї LiFePO₄ при застосуванні до 80 % глибини розряду (80% DOD). Число циклів заряд-розряд при такій глибині розряду може становити 1000-2000 в залежності від умов експлуатації. Тому з урахуванням цієї властивості LiFePO₄ батареї була визначена необхідна ємність (табл. 3).

Таблиця 3 – Ємність батарей, необхідна для разових пробігів автомобілів в міських умовах

Пробіг S, км	Цикл	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
		Ємність батарей, МДж									
Маса, кг	600	1,35	2,71	4,06	5,41	6,77	8,12	9,47	10,83	12,18	13,53
	1000	2,17	4,33	6,50	8,67	10,83	13,00	15,17	17,33	19,50	21,67
	1500	3,10	6,19	9,29	12,38	15,48	18,57	21,67	24,76	27,86	30,95
	2000	4,00	8,00	12,00	16,00	20,00	24,00	28,00	32,00	36,00	40,00

Так для легкового автомобіля масою 1000 кг для таких поїздок достатньо блоку батарей з накопиченою енергією 15,17 МДж. Таку енергію може накопичувати LiFePO₄ батарея ємністю 90 А·год і напругою 48 В. Якщо дальність разових поїздок автомобіля може бути більшою, то власник АТЗ може придбати та встановити на автомобіль батарею більшої ємності.

Висновки. Проведено дослідження і встановлено, що в Україні переважають автомобілі особливо малого, малого і середнього класу.

В результаті теоретичних розрахунків були визначені сили опору та необхідні затрати енергії для їх подолання при виконанні стандартного міського їздового циклу (табл.2)..

На основі виконаних розрахунків з урахуванням питомих разових пробігів легкових автомобілів були визначені ємності тягових LiFePO₄ батарей для автомобілів з різними масами.

При аналізі режимів руху легкових автомобілів в міських умовах встановлено, що для 90% пробігів з використанням електричної тяги необхідно, щоб ємність батарей забезпечувала пробіг 35-40 км (табл. 3).

З такою LiFePO₄ батареєю легковий автомобіль за весь термін служби батареї може мати пробіг на електричному приводі 35000-70000 км, в залежності від глибини розряду та режимів

експлуатації. Такої ємкості може бути цілком достатньо для вказаних пробігів з урахуванням того, що термін служби LiFePO₄ тягових акумуляторних батарей становить 6-8 років.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Самые экономичные машины 2013-2014 [Электронный ресурс] <http://autospynews.net/5156-samy-e-e-konomichny-e-mashiny-2013-2014/> (Дата звернення: 26.04.2014).
2. Основы технической эксплуатации автомобилей. Транспортные условия эксплуатации и требования к конструкции автомобилей – Перевозки легковыми автомобилями личного пользования : [Электронный ресурс] // <http://www.usecar.ru/page40.htm> (Дата звернення: 16.04.2014).
3. Е.Звонарев. До 2000 циклов «заряд-разряд»: литий-железофосфатные аккумуляторы EEMV. Новости электроники №2, 2012 г. [Электронный ресурс] // http://compeljournal.ru/images/articles/2012_2_10.pdf (Дата звернення: 16.02.2014).
4. ДСТУ UN/ECE R 83-03-2002 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів, обладнаних двигуном внутрішнього згорання стосовно споживання палива.
5. ГОСТ-20306-90 - Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний
6. ГОСТ Р EN 1986-1-2011 Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Часть 1. Электромобили
7. ГОСТ Р EN 1986-2-2011 Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Часть 2. Гибридные транспортные средства
8. Туревский И.С. Теория автомобиля: Учебное пособие/ И.С. Туревский.- М.:Высшая школа, 2005.-240 с.
9. О.П.Сітовський, А.М.Кашуба, Визначення розподілу питомих пробігів приватних автомобілів для оптимізації ємності батарей гібридних транспортних засобів// Вісник НТУ «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування»,- Харків: НТУ «ХПІ»,-2014- №9 (1051), стор.33-36.

REFERENCES

1. Most economical car 2013-2014. <http://autospynews.net/5156-samy-e-e-konomichny-e-mashiny-2013-2014/>
2. Basics of technical operation of automobiles. Transport operating conditions and requirements for the construction of vehicles - Transportation of cars for personal use: <http://www.usecar.ru/page40.htm>.
3. Zvonarev, E. (2012). Up to 2000 cycles "charge-discharge": lithium batteries EEMV. Electronics № 2 2012. http://compeljournal.ru/images/articles/2012_2_10.pdf.
4. DSTU UN / ECE R 83-03-2002. Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements.
5. GOST-20306-90 - Road vehicles. Fuel economy. Methods of testing.
6. GOST R EN 1986-1-2011 Cars with electric traction. Measurement of the energy characteristics. Part 1. EVs.
7. GOST R EN 1986-2-2011 Cars with electric traction. Measurement of the energy characteristics. Part 2. Hybrid vehicles.
8. Turevski, I.S. Theory of a vehicle: Textbook / - Moscow: Higher school, 2005.-240 p.
9. Sitovskiy, O., Kashuba, A. (2014). Determination of distribution the share mileage of private cars for optimization capacity battery hybrid vehicles. Bulletin of the national technical university "KhPI". №9 (1051), 33-36.

РЕФЕРАТ

Сітовський О.П. Визначення ємності тягових акумуляторних батарей для некомерційних автомобілів з гібридною силовою установкою. / О.П.Сітовський, В.В.Яновський, А.М. Кашуба // Вісник НТУ. — К.: НТУ, 2014. — Вип. 29.

Метою даної роботи є визначення необхідної ємності акумуляторних батарей для автомобілів з гібридною силовою установкою з врахуванням габаритно-масових характеристик та величин разових пробігів.

Проведені теоретичні дослідження затрат енергії для виконання автомобілем з електричним або гібридним приводом міського їздового циклу. З врахуванням цих затрат енергії і проценту

розподілу довжини разових поїздок автомобілів визначені необхідні ємності тягових LiFePO_4 батарей. Встановлені залежності ємності тягових батарей від маси автомобілів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГІЯ, БАТАРЕЯ, СИЛА ОПОРУ, РАЗОВА ПОЇЗДКА, ШЛЯХ, ШВИДКІСТЬ, ПРИСКОРЕННЯ.

ABSTRACT

Sitovskyi O. Determination of the capacity traction batteries for non-commercial cars with hybrid power plant. O. Sitovskyi, V. Yanovskyi, A., Kashuba. Kyiv. National Transport University. 2014. Vol. 29.

The purpose of this of work is determination needed capacity of batteries for vehicles with hybrid power plant taking into account-mass characteristics and values of single runs.

Made theoretical research energy consumption for performing the electric or hybrid car with urban driving cycle. In view of these energy consumption and percentage distribution of the length single vehicles trips defines the necessary capacity traction batteries LiFePO_4 . Were determined capacity traction batteries depending on the mass of cars.

KEYWORDS: ENERGY, BATTERY, RESISTANCE FORCE, A SINGLE TRIP, THE PATH, VELOCITY, ACCELERATION.

РЕФЕРАТ

Ситовский О.Ф. Определение емкости тяговых аккумуляторных батарей для некоммерческих автомобилей с гибридной силовой установкой. / О.Ф. Ситовский, В.В. Яновский, А.Н. Кашуба // Вестник НТУ. - К.: НТУ, 2014. - Вып. 29.

Целью данной работы является определение необходимой емкости аккумуляторных батарей для автомобилей с гибридной силовой установкой с учетом габаритно-массовых характеристик и величин разовых пробегов.

Проведены теоретические исследования затрат энергии для выполнения автомобилем с электрическим или гибридным приводом городского ездового цикла. С учетом этих затрат энергии и процента распределения длины разовых поездок автомобилей определены необходимые емкости тяговых LiFePO_4 батарей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭНЕРГИЯ, БАТАРЕЯ, СИЛА СОПРОТИВЛЕНИЯ, РАЗОВАЯ ПОЕЗДКА, ПУТЬ, СКОРОСТЬ, УСКОРЕНИЕ.

АВТОРИ:

Сітовський Олег Пилипович, кандидат технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, e-mail: sitovsky@ukr.net, тел. +38033 2 746 145, Україна, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська 75.

Яновський Василь Васильович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: yanovsky@ukr.net, тел. +38044 280 42 52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1.

Кашуба Андрій Миколайович, Луцький національний технічний університет, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій, e-mail: and-kashuba@yandex.ru, тел.+38(097)1347591, Україна, 43018, м. Луцьк, вул. Львівська 75.

AUTHORS:

Sitovskyi O., Ph.D. of Technical Sciences, associate professor, Lutsk National Technical University, associate professor of department cars and transport technologies, e-mail: sitovsky@ukr.net, тел. +38033 2 746 145, Ukraine, 43018, Lutsk, Lvivska st., 75.

Yanovskyi V.V., Ph.D. of Technical Sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of department cars, e-mail: yanovsky@ukr.net, тел. +38044 280 42 52, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova 1.

Kashuba A., postgraduate, Lutsk National Technical University, associate professor of department cars and transport technologies, e-mail: and-kashuba@yandex.ru, тел.+38(097)1347591, Ukraine, 43018, Lutsk, Lvivska st., 75.

АВТОРЫ:

Ситовский О.Ф., кандидат технических наук, доцент, Луцкий национальный технический университет, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, e-mail: sitovsky@ukr.net, тел. +38033 2 746 145, Украина, 43018, г. Луцк, ул. Львовская 75.

Яновский Василий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры автомобилей, e-mail: yanovsky@ukr.net, тел. +38044 2804252, Украина, 01010, м. Киев, ул. Суворова, 1.

Кашуба А.Н, Луцкий национальный технический университет, аспирант кафедры автомобилей и транспортных технологий, e-mail: and-kashuba@yandex.ru, тел. +38 (097) 1347591, Украина, 43018, г. Луцк, ул. Львовская 75.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, декан автомеханічного факультету Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Козачук І.С., кандидат технічних наук, доцент, заступник декана машинобудівного факультету Луцького НТУ, Луцьк, Україна.

REVIEWERS:

Mateichyk V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Automobile Mechanic Faculty of NTU, Kyiv, Ukraine.

Kozachuk I., Ph.D. of Technical Sciences, assistant professor, associate dean of engineering faculty Lutsk NTU, Lutsk, Ukraine.