

УДК 629.113

**А.М.Кашуба**

**Луцький національний технічний університет**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ АВТОМОБІЛЯ З ГІБРИДНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ**

*В роботі наведено результати теоретичного розрахунку руху автомобіля малого класу з гібридною силовою установкою по випробувальному їздовому циклу. В основу розрахунків покладено рівняння теорії руху автомобіля. Проведено розрахунок часу роботи акумуляторної батареї по циклу. Пропонуються рекомендації по вибору режиму руху.*

**Ключові слова.** ГСУ, випробувальний цикл, затрати, потужність, акумуляторна батарея, час роботи батареї  
*Рис 7. Табл 1. Форм 7. Літ 6.*

**А.М.Кашуба**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ С ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ**

*В работе приведены результаты теоретического расчета движения автомобиля малого класса с гибридной силовой установкой по испытательному ездовому циклу. В основу расчетов положены уравнения теории движения автомобиля. Проведен расчет времени работы акумуляторной батареи. Предлагаются рекомендации по выбору режима движения.*

**Ключевые слова:** ГСУ, испытательный цикл, затраты, мощность, акумуляторная батарея, время работы батареи

**A. Kashuba**

## **INVESTIGATION OF THE MOTION CAR WITH HYBRID POWER PLANT**

*This paper presents the results of theoretical calculation of motion of small class car with a hybrid power plant in test driving cycle. The basis of calculation laid equation theory driving. Was conducted the calculation operating time battery. Proposed recommendations on the choice of mode of motion.*

**Keywords:** HPS, test cycle, cost, power, battery, operating time battery

**Постановка проблеми.** Одним з найбільш ефективних способів визначення технічного стану автомобіля і всіх його складових частин є дослідження, пов'язані з експериментальними випробуваннями. Проте, проведенню даних досліджень передують менш трудомісткі методи дослідження, а саме теоретичні методи дослідження з використанням математичних моделей, що описують рух транспортних засобів на різних режимах руху.

Для того, щоб провести дослідження даного роду необхідно провести імітацію руху в міському або заміському циклі з використанням випробувального їздового циклу.

На даний час існує декілька варіантів випробувальних їздових циклів, за допомогою яких можна оцінити величини необхідних параметрів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для проведення досліджень можна користуватись:

Американським їздовим циклом - це складний для виконання їздовий цикл (рисунок1). Довжина шляху в якому становить 17,8 км., час на виконання 1877 с., максимальна швидкість 91,2 км/год., середня швидкість 34,1 км./год.;[1]

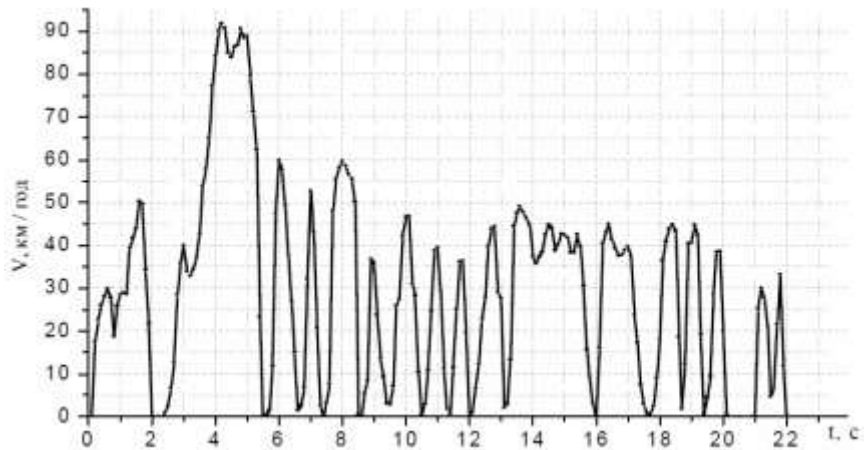


Рис. 1. Міський федеральний випробувальний цикл США

Японським 11-ти режимним (рисунок 2), для холодних випробувань, та 10-15 режимним (Рисунок 3) для гарячих випробувань.

При 11-режимному циклу випробування проводиться без попереднього прогріву двигуна. Кожна фаза циклу триває 120 с., дистанція 1021 м., середня швидкість 30,6км./год.[1]

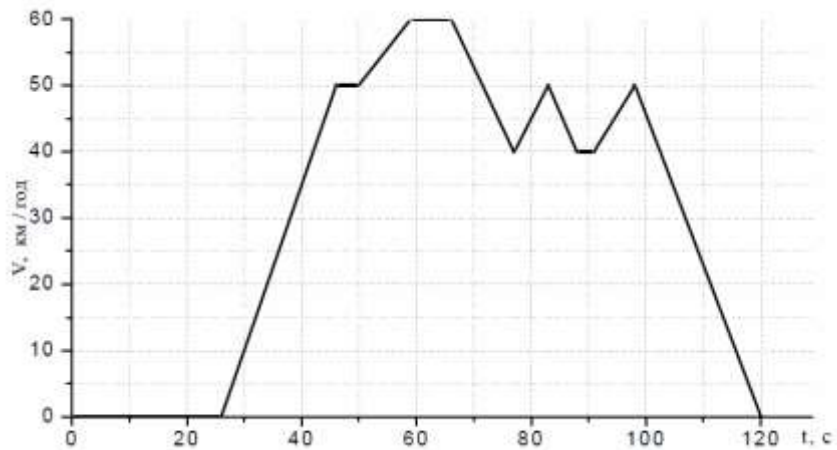


Рис. 2.. Одинадцятирежимний їздовий цикл (Японія)

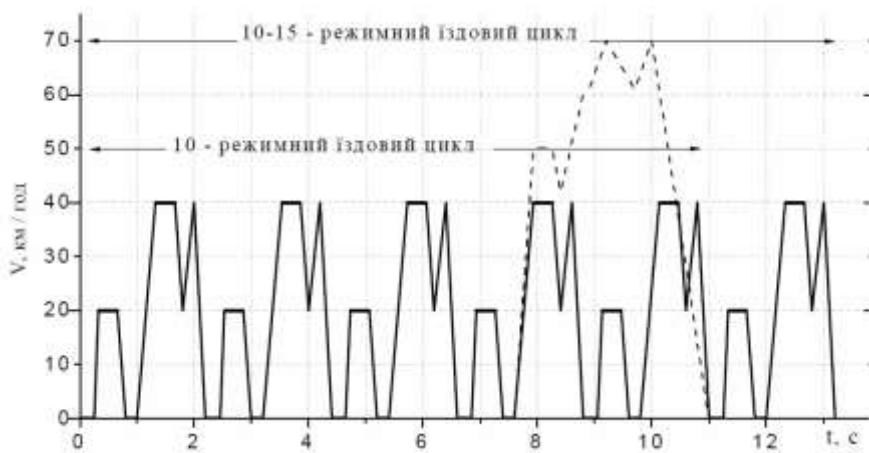


Рис. 3. 10-15 режимний їздовий цикл (Японія)

При даному циклі випробування проводиться з попереднім прогрівом двигуна, довжина циклу 4,16 км., час на виконання 660 с., максимальна швидкість 70 км./год., середня швидкість 22,7 км/год.[1]

Європейський міський випробувальний цикл (Рисунок 4)(ГОСТ 20306-90). Довжина даного циклу складає 4,052 км., тривалість 780 с., максимальна швидкість 50 км/год.[2]



Рис. 4. Європейський міський випробувальний цикл

Російський випробувальний цикл (Рисунок 5) для випробування автомобілів з електричною тягою (ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011) [3]

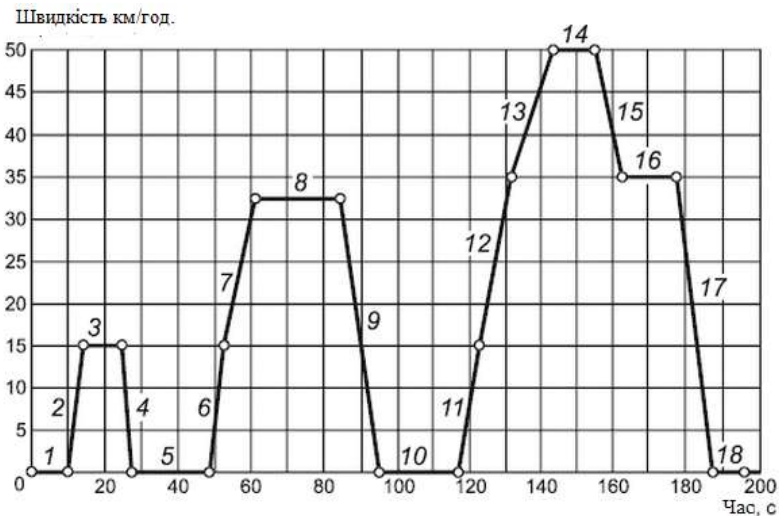


Рис. 5. Російський випробувальний цикл для автомобілів з електричною тягою

Цикл складається з чотирьох елементарних міських циклів тривалістю 195 с. кожен, загальна тривалість 780 с. Максимальна швидкість 50 км./год.

**Метою даної роботи** є проведення теоретичних досліджень по визначенні затрат потужності, на подолання сумарного опору руху на різних режимах при випробуванні автомобілів з гібридною силовою установкою та визначення часу роботи акумуляторної батареї на ділянках випробувального циклу в залежності від затрачених потужностей.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

- вибрати випробувальний їздовий цикл для проведення дослідження;
- розрахувати затрати на подолання опорів руху та величини тривалості роботи батарей у відповідності до програми випробувань вибраного їздового циклу;
- за результатами досліджень побудувати графічні залежності.

**Основні результати дослідження.** Оскільки автомобілі з гібридною силовою установкою є дещо специфічним видом транспорту, потенціал якого ще повною мірою не розкрито, тому для найбільш ефективної оцінки його параметрів будемо користуватись відповідним їздовим випробувальним циклом для випробування автомобілів з електричною тягою (Рисунок 5).[3]

Таблиця 1.

Програма випробування за циклом ГОСТ Р ЕН 1986-1-2011

№ Операції	Тип операції	№ режиму руху	Прискорення м/с <sup>2</sup>	Швидкість Км/год.	Тривалість операції, с	Тривалість режиму руху, с.	Загальна тривалість, с.
1	зупинка	1	0,00	0	11	11	11
2	прискорення	2	1,04	0-15	4	4	15
3	усталений рух	3	0,00	15	8	8	23
4	сповільнення	4	-0,83	15-0	5	5	28
5	зупинка	5	0,00	0	21	21	49
6	прискорення	6	0,69	0-15	6	12	55
7	прискорення		0,79	15-32	6		61
8	усталений рух	7	0,00	32	24	24	85
9	сповільнення	8	-0,81	32-0	11	11	96
10	зупинка	9	0,00	0	21	21	117
11	прискорення	10	0,69	0-15	6	26	123
12	прискорення		0,51	15-35	11		134
13	прискорення		0,46	35-50	9		143
14	усталений рух	11	0,00	50	12	12	155
15	сповільнення	12	-0,52	50-35	8	8	163
16	усталений рух	13	0,00	35	15	15	178
17	сповільнення	14	-0,97	35-0	10	10	188
18	зупинка	15	0,00	0	7	7	195

У відповідності до даної програми випробування, врахувавши величини прискорень та швидкостей, визначимо сумарні опори руху на різних ділянках випробувального циклу.

Розглядаючи дану програму випробувань можна прийти до висновку, що на різних ділянках потрібно затратити різну потужність для забезпечення руху, так ділянки 3, 8, 14 і 16 характеризуються рівномірним рухом зі сталою швидкістю, тому на цих ділянках, при обрахунках, не буде враховано силу опору розгону. Натомість ділянки 2, 6, 7, 11,12, 13 характеризуються прискореним рухом причому ділянки 6 і 11 будуть описуватись при рівних умовах.

На ділянках циклу 4, 9, 15, 17 не буде затратитися енергія від силової установки, так як ці ділянки характеризуються сповільненням, а тому, при використанні системи рекуперації, їх можна вважати корисними, тому що під час їх здійснення можна повернути частину енергії в акумуляторні батареї.

Розрахунки по визначенні сил на подолання опорів руху будемо виконувати згідно рівнянь класичної теорії руху автомобіля. [4 ]

При русі по даному випробувальному циклу на автомобіль діють наступні сили:

Сили сумарного опору дорівнюють:

$$P_{\psi} = P_f + P_h, \quad (1)$$

де  $P_f = f + G_a$  – опір кочення, (2)

$$P_h = G_a \cdot \sin \alpha - \text{опір підйому}, \quad (3)$$

$G_a$  – вага автомобіля, Н.

$f$  – коефіцієнт опору кочення,

$\alpha$  – кут нахилу дороги, для міського їздового циклу приймається  $\alpha = 0$ .

Сила опору повітря дорівнює:

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a^2, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт опору повітря,  
 $F$  – площа лобового опору автомобіля, (м<sup>2</sup>)  
 $V_a$  – швидкість руху автомобіля, (м/с)  
 Сила опору розгону дорівнює:

$$P_j = \frac{G_a}{g} \cdot j \cdot \delta_{об}, \quad (5)$$

де  $j$  – прискорення автомобіля, (м/с<sup>2</sup>)

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

Розрахунки будемо проводити для автомобіля малого класу Geely СК.

За результатами розрахунків побудуємо графічну залежність величини сил опору по циклу

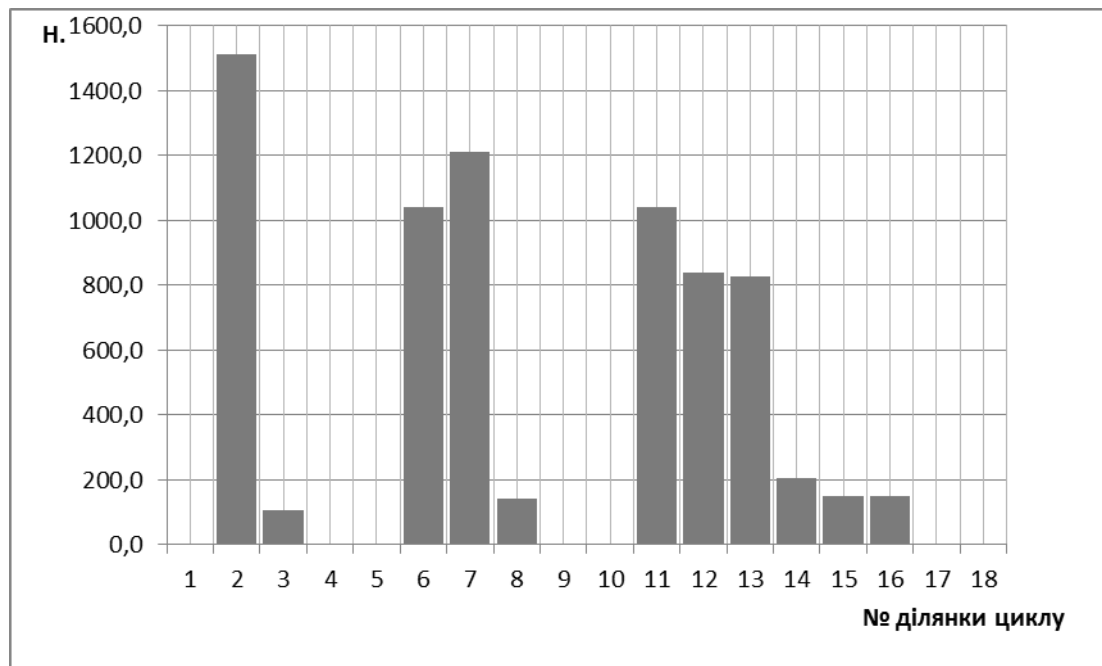


Рис. 6. Сумарні сили опору по їздовому циклу

Виходячи з графіка (рисунок 6.) визначимо час роботи акумуляторної батареї в залежності від потужності, необхідної для подолання сумарного опору руху, врахувавши результати попередніх досліджень, щодо оптимальної ємності LiFePO<sub>4</sub> акумуляторних батарей, яка для даного транспортного засобу становить  $c=90$  Агод при  $U=48$ В. Робота, виконана даною акумуляторною батареєю буде становити 15.17 МДж., і величина міжзарядного пробігу становить 30 км. [5]

виходячи з умови:

$$N \geq N_{\Sigma \text{опору}} \quad (6)$$

Величина тривалості роботи акумуляторних батарей буде описуватись наступним рівнянням: [6]

$$T = \int_0^{T_y} \frac{1}{N(t)} \cdot W'(t) dt, \quad t \in [0, T_y], \quad (7)$$

де  $N$  – потужність, необхідна для руху,

$W'(t)$  – енергія, яку віддає акумуляторна батарея.

Продиференціювавши дане рівняння, отримаємо наступну графічну залежність: (рисунок 7.)

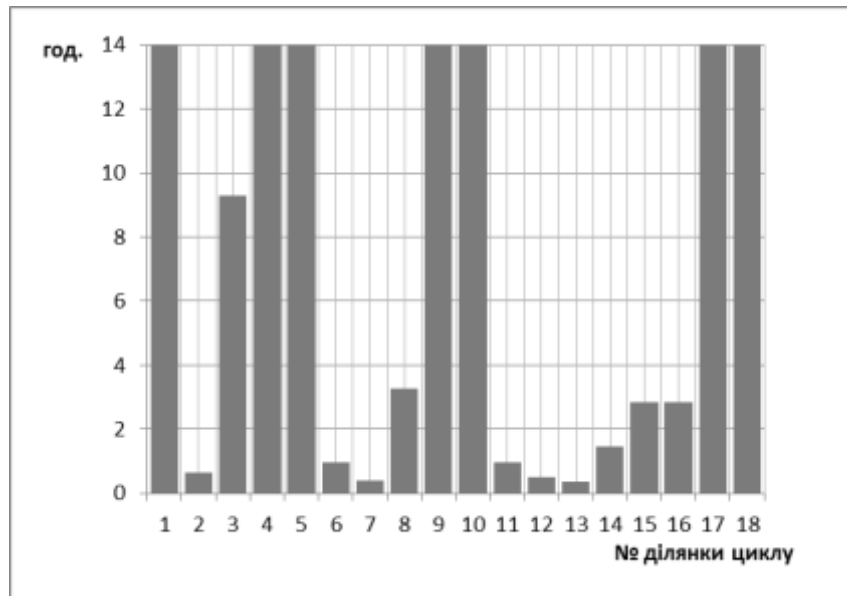


Рис. 7. Теоретичний час розряду тягової батареї по ділянках циклу

З графіка (Рисунок 7.) видно, що величина міжзарядного пробігу, транспортних засобів з гібридною силовою установкою, при експлуатації з рівномірною швидкістю на електричній тязі може бути на, порядку, 150% більша ніж при експлуатації на всьому діапазоні міського циклу, тобто з врахуванням розгонів з певним, встановленим прискоренням. Тому, як видно з теоретичних досліджень, при експлуатації транспортних засобів з використанням електричної тяги необхідно забезпечувати рух з прискоренням не більше  $0,7 \text{ м/с}^2$  при досягненні швидкості  $35 \text{ км/год.}$  і  $0,35 \text{ м/с}^2$  при  $50 \text{ км/год.}$  для збільшення міжзарядного пробігу.

Уточнення, щодо вибору силової установки на ділянках режиму, необхідно, в подальшому, проводити за рахунок проведення експериментальних досліджень.

**Висновки:**

В результаті проведених досліджень було:

- проаналізовано існуючі випробувальні їздові цикли;
- вибрано оптимальний випробувальний міський їздовий цикл для випробування легкових автомобілів з електричною тягою;
- розраховано сумарні опори руху на всіх ділянках випробувального їздового циклу;
- визначено теоретичну тривалість роботи  $\text{LiFePO}_4$  акумуляторних батарей по ділянках їздового циклу, в залежності від величини затраченої на подолання опору руху потужності.
- визначено, що для забезпечення теоретично розрахованого в попередніх роботах міжзарядного пробігу доцільно забезпечувати рух з прискоренням не більшим  $0,7 \text{ м/с}^2$  при русі з швидкістю до  $35 \text{ км/год.}$  та  $0,35 \text{ м/с}^2$  при швидкості  $50 \text{ км/год.}$

1. Грицук І.В., Кривопусков А.В., Гриценко Д.О. До питань вибору і обґрунтування типу випробувального їздового циклу для дослідження показників токсичності відпрацьованих газів двигунів дорожніх транспортних засобів// Збірник наукових праць Дон ІЗТ.- Донецьк, 2009.- №17.-с.107-119
2. ГОСТ-20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний
3. ГОСТ- Р ЕН 1986-1-2011 Автомобили с электрической тягой. Измерение энергетических характеристик. Часть 1. Электромобили
4. Туревский И.С. Теория автомобиля: Учебное пособие/И.С. Туревский.- М.:Высшая школа, 2005.-240с.
5. О.П.Сітовський, А.М.Кашуба, Визначення розподілу питомих пробігів приватних автомобілів для оптимізації ємності батарей гібридних транспортних засобів// Вісник НТУ «ХП» Збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування»,- Харків: НТУ «ХП»,-2014- №9 (1051), стор.33-36.
6. Аносов В. Н. Методы и средства повышения эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств// Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук,- Новосибирск, 2008.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2014