УДК 629.113
В.М. Дембіцький
Луцький національний технічний університет

ВИБІР КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ГІБРИДНОГО АВТОМОБІЛЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ЙОГО РУХУ

Здійснено вибір компонувальної схеми гібридного автомобіля. Визначено режими руху автомобіля повною масою до 3,5 т у міському їздовому циклі та проведено їх аналіз.

Ключові слова: *гібридний автомобіль, рекуперація енергії, гальмування, їздовий цикл, суперконденсатори.*

На даний момент зважаючи на поступове зменшення запасів нафти, газу, постійне підвищення вартості паливних матеріалів значна кількість виробників транспортних засобів досить стрімко нарощують темпи створення та виробництва гібридних автомобілів.

Як відомо основними перевагами гібридного автомобіля є:

- суттєве зменшення витрати палива;
- зменшення об'єму та потужності двигуна внутрішнього згоряння;
- зменшення токсичних викидів в атмосферу;
- зниження рівня шуму;
- зменшення витрат на експлуатацію автомобіля.

В той же час існують також певні недоліки:

- відносно висока складність конструкції;
- збільшення ваги транспортного засобу;
- певні проблеми із заряджанням акумуляторів в дорозі;
- дещо вища вартість порівняно зі звичайним автомобілем такого ж класу.

Однак виробництво гібридних автомобілів продовжує стрімко розвиватись і виробники намагаються усунути недоліки.

Аналіз попередніх досліджень. На сьогодні в світі є чимало компаній та підприємств, які займаються розробкою та виробництвом гібридних автомобілів:

легкові - Toyota Motor Corporation, Nissan Motor Co., Ltd, Honda Motor Co., Ltd. (Японія), Ford Motor Company, концерн PSA Peugeot Citroën, General Motors (США).

автобуси – New Flyer Industries (Канада), Daimler Chrysler, Optima Bus Corporation (США), First Automotive Works (FAW) (Китай), Solaris Bus & Coach (Польща), APTS (Нідерланди), Optare Group (Великобританія), Nova Bus (Канада), DesignLine International Holdings (Нова Зеландія), Beiqi Foton Bus (Китай), ЛиАЗ, ТролЗа (Росія), Volvo, Blue-City Hybrid (Hyundai Motor Company)

вантажні автомобілі - Azure Dynamics (США), Nissan спільно з ZF Friedrichshafen AG (Німеччина), Alcoa спільно з Altair Nanotechnologies (США), Odyne Corporation (США), Peterbilt 386 hybrid (США) спільно з Eaton, Oshkosh Truck Corp, Volvo Cars та MAC, Hino Motors (Япония), Caterpillar Inc. (США).

В основному дослідження гібридних автомобілів пов'язані з моделюванням компонувальних схем, визначенням тягово-швидкісних властивостей, запасу енергії. Питання дослідження гальмівних властивостей гібридних транспортних засобів, на яких застосовано рекуперацію енергії та системи її накопичення залишається відкритим, оскільки подібні дослідження в Україні ще практично не проводилися, певні дослідження проведені Бажановим О.В. та Смирновим О.П. [1]. Інформація щодо здійснення фундаментальних досліджень зазначеного питання іноземними науковцями також відсутня, оскільки компанії, які випускають гібридні автомобілі, ще не готові до розкриття таємниць.

Мета роботи: Визначення оптимальної схеми накопичення енергії з подальшим аналізування режимів руху автомобілів. Робота спрямована на встановлення вихідних даних для можливості подальшого дослідження гальмівних властивостей гібридних транспортних засобів, з тим, щоб забезпечити оптимальну схему накопичення електричної енергії.

Вибір компонувальної схеми гібридного автомобіля. Можливим є де кілька варіантів компонувальних схем гібридних автомобілів: послідовна, паралельна, паралельно-послідовна [1, 2]. Кожна з цих схем має свої переваги та недоліки, однак постійно відкритим залишається питання поповнення запасу електричної енергії та мінімізація застосування двигуна внутрішнього

©В.М. Дембіцький

згоряння. Вирішення цього питання дозволить максимально зменшити витрати палива, і як наслідок підвищити екологічний клас автомобіля, і в той же час забезпечить максимальне використання електричної частини транспортного засобу.

Електрична енергія може виробляється електродвигуном під час гальмування автомобіля – рекуперація електроенергії та віддаватися у електричну систему автомобіля. В подальшому отриману електроенергію можна накопичувати у акумуляторах або суперконденсаторах.

Застосування акумуляторів має певні обмеження пов'язані з їх вагою та відносною недовговічністю, в то й же час застосування суперконденсаторів обмежується їх досить високою вартістю. Тому оптимальним є застосування комбінованої схеми, зображеної на Рис. 1: використання суперконденсаторів для збору, накопичення електроенергії та акумуляторів для накопичення резерву енергії.

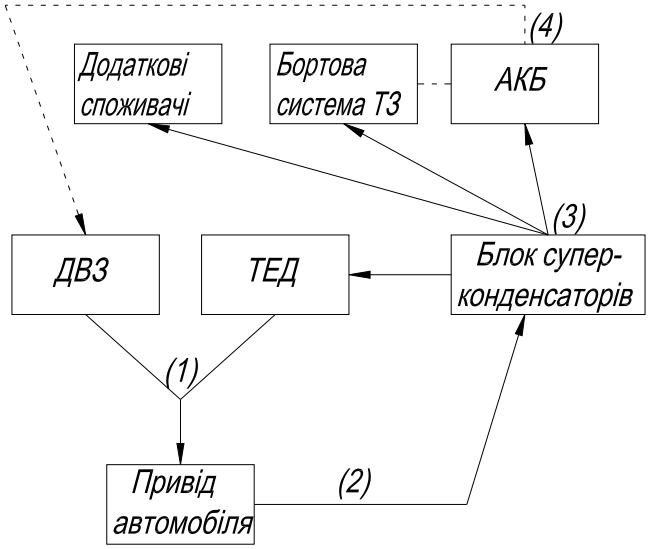

Рис. 1 – Комбінована компонувальна схема гібридного автомобіля.

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

ТЕД – тяговий електричний двигун;

АКБ – акумуляторна батарея;

1 – розподілюючий пристрій, який забезпечуватиме роботу автомобіля від ДВЗ, ТЕД або обох двигунів;

2 – рекуперація електричної енергії під час гальмування;

3 – розподіл енергії для живлення систем автомобіля;

4 – використання АКБ за відсутності енергії у суперконденсаторах.

Комбінована компонувальна схема гібридного автомобіля складається з двигуна внутрішнього згоряння, який використовується за відсутності запасу електроенергії у суперконденсаторах. При здійснення гальмувань під час руху у блоці суперконденсаторів, за рахунок рекуперації, накопичується електроенергія, яка використовується: для руху транспортного засобу за рахунок тягового електричного двигуна, для підзарядки акумуляторів, направляється у бортову систему автомобіля для забезпечення роботи світлових пристроїв, запалення та інших пристроїв, для живлення додаткових споживачів автомобіля таких як кондиціонер, аудіо пристрої і т.п. Запас енергії акумуляторної батареї застосовується для живлення бортової системи автомобіля: системи запалювання ДВЗ, пристроїв освітлення, сигналізації і т.д., тобто працездатність систем транспортного засобу, які гарантують безпечну участь автомобіля у дорожньому русі. Таким чином дана схема повинна забезпечити роботу транспортного засобу лише за рахунок енергії накопиченої у суперконденсаторах, акумуляторна батарея застосовується в даному випадку, як резервне джерело живлення.

Використання рекуперації енергії в свою чергу має тісний взаємозв'язок з гальмівними властивостями транспортного засобу. Так, на електричному транспорті – тролейбусах, трамвайних вагонах, які обладнані системою рекуперації енергії, під час гальмування водії практично не використовують механічних гальм, тобто величина сповільнення, необхідного для зменшення швидкості транспортного засобу досягається лише за рахунок електродинамічного гальмування. В даному випадку електроенергія повертається у контактну мережу, а за відсутності контактної

мережі необхідно створити таку систему гібридного автомобіля, щоб мінімізувати втрати енергії (механічної, електричної, теплової) та забезпечити її накопичення і подальше ефективне використання.

Визначення режимів руху автомобіля. З метою встановлення режимів руху транспортних засобів доцільно використати дані стандартів, які встановлюють методи визначення паливної економічності ГОСТ 20306 та Правила ЄЕК ООН № 84.

Результати аналізування режимів руху автомобілів з повною масою до 3,5 т, згідно ГОСТ 20306 наведені у таблиці.

Таблиця 1

Моделювання міського їздового циклу, згідно вимог ГОСТ 20306, для автомобілів з повною масою до 3,5 т

№ з/п	Вимоги ГОСТ 20306		
	Режим руху	Швидкість руху або її зміна, км/год	Пройдена відстань, м
1	Розгін на першій передачі	0…20	(1)
2	Включення другої передачі і продовження руху	20	200 – (1)
3	Гальмування до повної зупинки	20…0	15
4	Розгін на другій передачі до швидкості	0…25	(2)
5	Включення третьої передачі і продовження руху з постійною швидкістю	25	200 – 15 – (2)
6	Розгін на третій передачі	25…30	(3)
7	Продовження руху на третій передачі з постійною швидкістю	30	200 – (3)
8	Гальмування до повної зупинки	30…0	36
9	Розгін до швидкості 35 км/год. Перемикання з першої на другу передачу при швидкості 20 км/год, а з другої на третю – при швидкості 30 км/год.	0…35	(4)
10	Продовження руху на третій передачі з постійною швидкістю	35	200 – 36 – (4)
11	Гальмування до швидкості 20 км/год	35…20	30
12	Розгін до швидкості 40 км/год. Перемикання з другої на третю передачу при швидкості 35 км/год.	20…40	(5)
13	Продовження руху на четвертій передачі з постійною швидкістю	40	300 – 30 – (5)
14	Гальмування до повної зупинки	40…0	60
15	Розгін до швидкості 45 км/год. Перемикання з другої на третю передачу при швидкості 40 км/год.	0…45	(6)
16	Продовження руху на четвертій передачі з постійною швидкістю	45	300 – 60 – (6)
17	Гальмування до швидкості 30 км/год	45…30	45
18	Розгін на третій передачі до швидкості 45 км/год.	30…45	(7)
19	Продовження руху на четвертій передачі з постійною швидкістю	45	300 – 45 – (7)
20	Гальмування до повної зупинки	45…0	80
21	Розгін до швидкості 50 км/год. Перемикання з другої на третю передачу при швидкості 40 км/год.	0…50	(8)

№ з/п	Вимоги ГОСТ 20306		
	Режим руху	Швидкість руху або її зміна, км/год	Пройдена відстань, м
22	Продовження руху на четвертій передачі з постійною швидкістю	50	500 – 80 – (8)
23	Гальмування до повної зупинки	50…0	96
24	Розгін до швидкості 55 км/год. Перемикання з другої на третю передачу при швидкості 40 км/год.	0…55	(9)
25	Продовження руху на вищій передачі із постійною швидкістю	55	800 – 96 – (9)
26	Гальмування до повної зупинки	55…0	110
27	Розгін до швидкості 60 км/год. Перемикання з другої на третю передачу при швидкості 40 км/год	0…60	(10)
28	Продовження руху на вищій передачі з постійною швидкістю 60 км/год.	60	1000 – 110 – 138 – (10)
29	Початок гальмування з таким розрахунком, щоб здійснити зупинку у відмітки 4000 м	60…0	138
Примітка 1: у даній таблиці не враховані випадки роботи транспортного засобу на холостому ходу.			

Результати аналізування режимів руху автомобілів, згідно Правил ЄЕК ООН № 84 наведені у таблиці.

Таблиця 2

Моделювання міського їздового циклу, згідно вимог Правил ЄЕК ООН № 84

№ з/п	Вимоги Правил ЄЕК ООН № 84			
	Режим руху	Швидкість руху або її зміна, км/год	Прискорення, сповільнення, м/с^2	Тривалість режиму, с
1	Прискорення	0…15	1,04	4
2	Постійна швидкість	15	0	8
3	Сповільнення	15…10	- 0,69	2
4	Сповільнення з відключеним зчепленням	10…0	- 0,92	3
5	Прискорення	0…15	0,83	5
6	Зміна швидкості, прискорення	15…32	0,94	7
7	Постійна швидкість	32	0	24
8	Сповільнення	32…10	- 0,75	8
9	Сповільнення з відключеним зчепленням	10…0	- 0,92	3
10	Прискорення	0…15	0,83	5
11	Зміна швидкості, прискорення	15…35	0,62	11
12	Зміна швидкості, прискорення	35…50	0,52	10
13	Постійна швидкість	50	0	12
14	Сповільнення	50…35	- 0,52	8
15	Постійна швидкість	35	0	15
16	Сповільнення	35…10	- 0,86	7
17	Сповільнення з відключеним зчепленням	10…0	- 0,92	3
Примітка 1: у даній таблиці не враховані випадки роботи транспортного засобу на холостому ходу.				

Протяжність випробувальної ділянки дороги по ГОСТ 20306 – 4000 м, випробування, згідно вимог Правил ЄЕК ООН № 84 складаються з 4 циклів, кожен з яких еквівалентний ділянці дороги, протяжністю 1000 м. Таким чином, з метою обрахунків величини часу, необхідного для проходження кожного етапу циклу за ГОСТ 20306, допустимо скористатися даними прискорень/сповільнень, зазначених у таблиці 2, в близьких межах швидкостей.

Для визначення часу руху транспортного засобу, в цілях попереднього обрахунку можна скористатися наступними залежностями:

$$t = \frac{3{,}6 \cdot S}{v} \tag{1}$$

$$t = \frac{(v_x - v_{ox})}{3{,}6 \cdot a_x} \tag{2}$$

$$S = \frac{(v_x^2 - v_{ox}^2)}{7{,}2 \cdot a} \tag{3}$$

де, t – час, затрачений на проходження певного етапу, с;

S – відстань етапу, м

v – постійна швидкість руху, при проходженні етапу, км/год;

v_x – швидкість руху в кінці етапу, км/год;

v_{0x} - швидкість руху на початку етапу, км/год;

a_x – прискорення кожного етапу, м/с^2.

Залежність (1) застосовується при постійній швидкості, залежність (2) під час руху з прискоренням/сповільненням, залежність (3) застосовується для визначення відстані руху.

Оскільки на цьому етапі стоїть завдання лише визначення режимів руху, нижче у таблиці наведено орієнтовні розрахункові параметри руху автомобіля у міському циклі.

Таблиця 3

Зведена таблиця режимів руху автомобілів з повною масою до 3,5 т за міським їздовим циклом

Режим руху	НД на методи випробувань					
	ГОСТ 20306				Правила ЄЕК ООН № 84	
	Затрачений час		Пройдена відстань		Затрачений час	
	с	%	м	%	с	%
Рух з прискоренням	80,00	38,23	1900,03	51,87	168,00	37,84
Рух з постійною швидкістю	117,56	56,18	1189,97	32,48	140,00	31,53
Рух зі сповільненням	11,68	5,58	610,00	16,49	136,00	30,63
Загалом	209,24	100	3700,00	101	444,00	100,00

Під час розрахунків, згідно ГОСТ 20306 не врахований час:

- реакції водія при зміні швидкостей;
- реакції водія під час гальмування;
- спрацювання гальмівної системи.

Однак, відсоткове значення відстані, пройденої під час гальмування, за ГОСТ 20306 є достовірним, оскільки відстані, які повинен пройти автомобіль зазначені у документі. Час гальмування з достатньою точністю визначено згідно вимог Правил ЄЕК ООН № 84, при цьому слід зазначити, що даний цикл випробувань передбачено проводити на динамометричному стенді. Таким чином загалом можна констатувати, що у відповідності до вищевказаних документів, під час руху транспортного засобу з повною масою до 3,5 т, в умовах міста режими руху розподіляються наступним чином:

- рух з прискоренням (розгін автомобіля) – 35 – 45 %;
- рух з постійною швидкістю (усталений рух) – 30 – 40 %;
- рух зі сповільненням – 20 – 30 %.

Тривалість руху транспортного засобу зі сповільненням є досить значною у циклі випробувань, що дає можливість, використовуючи ці дані, як вихідні, спробувати застосувати

схему накопичення енергії, зображену на Рис. 1, з тим, щоб звести до мінімуму використання двигуна внутрішнього згоряння.

Висновки:

1) визначено загальну компонувальну схему автомобіля з використанням різних джерел накопичення енергії;

2) проведено аналізування режимів руху автомобілів масою до 3,5 т у міському циклі, згідно методів визначення паливної економічності, встановлених стандартами;

3) встановлено вихідні дані для проведення робіт по дослідженню гальмівних властивостей гібридних автомобілів, які обладнані системою рекуперації енергії із застосуванням суперконденсаторів.

1. Разработка и обоснование выбора компоновочной схемы гибридной силовой установки городского автобуса / [Дитковский Р.С., Шевчук В.П.]. – Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия, 2011 г., Материалы III общероссийской студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум».
2. Гібридні автомобілі/ [Бажинов О.В., Смирнов О.П., Сєріков С.А. та ін.]. – Харків, ХНАДУ, 2008. – 327 с.
3. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний: ГОСТ 20306-90. - [Введён в действие 01.01.1992]. – М.: Государственны й кометет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. – 34 с.
4. Єдині технічні приписи щодо офіційного схвалення типу дорожніх транспортних засобів, обладнаних двигунами внутрішнього згоряння, стосовно визначення витрати палива: Правила ЄЕК ООН № 84. - [Чинний від 15.07.1990]. – Женева.: Європейська Економічна Комісія Організації Об'єднаних націй, 1990. – 68 с.
5. Основы теории автомобиля и трактора: учебное пособие для механических спеціальностей вузов / [В. В. Иванов, В. А. Иларионов, М. М. Морин]. — М. : «Высшая школа», 1970. — 224 с.

©В.М. Дембіцький