

Д.П. Ковтун

**ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДОМОБІЛІВ
І АВТОМОБІЛІВ З АЛЬТЕРНАТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

Дана стаття являє собою дайджест зібраної інформації з наукових джерел з проблем використання нетрадиційних силових агрегатів на автотранспорті і проблем впровадження гібридомобілів у виробництво.

В даний час кількість автомобілів у світі складає величину у 500 млн. штук. Більшість з них оснащена двигунами, що працюють за циклами Отто і Дизеля. Таке одноманіття конструктивних схем зумовлено певними тенденціями розвитку, що, у свою чергу, диктуються адміністративними, виробничими і споживацькими вимогами.

Адміністративні вимоги базуються на законодавчих актах, що нормують екологічні і, в деяких випадках, економічні параметри автомобільного транспорту. Іноді ці акти мають міжнародний характер.

Виробничі вимоги диктуються технологічністю і наявною кількістю та якістю виробничих потужностей.

Споживацькі вимоги диктуються сподіванням покупців щодо деяких специфічних характеристик, яким повинні відповідати транспортні засоби. Це такі характеристики, як економічність, довговічність, керованість, пристосованість до зміни зовнішніх навантажень тощо.

До недавнього часу всім цим вимогам відповідали двигуни внутрішнього згоряння, що працюють за циклами Отто і Дизеля. Але у зв'язку з різким підвищенням адміністративних вимог, що очікуються у наступному столітті, виробники автомобілів змушені шукати інші шляхи підвищення економічних і екологічних характеристик своєї продукції, вміло балансує на перехресті інтересів законодавства, споживачів і своїх власних.

Серед вдалих спроб вирішити цю проблему слід назвати двигун Miller Cycle, що встановлюється на автомобілі Mazda Xedos 9. Цей двигун працює на циклі Аткинсона, що забезпечує менші насосні втрати за рахунок зміни моменту закривання впускного клапана, що проходить за 15 градусів після проходження поршнем НМТ.

В останній час дуже збільшився інтерес до акумуляторних автомобілів.

Основні сучасні розробки акумуляторних агрегатів для автомобілів базуються на електрохімічних батареях, що працюють з електродвигунами. За останні роки було серійно випущено декілька автомобілів з подібною схемою силового агрегату. З 1990 року серійно випускається "FIAT-Panda-Eletra". Це компактний двомісний автомобіль зпорядженою масою 1050 кг, оснащений двигуном постійного струму потужністю 9,2 кВт при 2650 об/хв, може розвинути швидкість до 70 км/год. При швидкості 50 км/год запас ходу складає 100 км (при заміні свинцево-кислотних батарей на більш дорогі нікель-кадмієві – 180 км). Запас ходу у місті складає відповідно 70 і 100 км.

У цьому році на виставці у Детройті (США) було показано електромобіль від корпорації General Motors (GM), який базується на 14-річних розробках GM. Це найбільш досконалий (але й дорогий) електромобіль на сьогоднішній день. Запас ходу – 380 км, максимальна швидкість – 172 км/год. Комфорт на рівні звичайних автомобілів середнього класу. Єдина відмінність цього електромобіля від звичайного авто – специфічні характеристики керованості. На шляху до покупця цей електромобіль, а також його майбутні конкуренти, буде мати "зелену вулицю" – законодавчі органи США затвердили положення, згідно з яким людині, що купить електромобіль, буде сплачена компенсація втрат, пов'язаних з більш високою ціною на електромобілі. Такі далекоглядні дії законодавців стимулюють ріст продажу екологічно чистого автотранспорту. Таким чином, виникає економічне підґрунтя для розвитку електромобілебудування.

Але, не дивлячись на величезні зусилля і кошти, що витрачаються на створення ефективних електромобілів, конкурентноздатної конструкції, порівняно з автомобілем з ДВЗ, ще не створено. Електричні акумулятори не можуть у повному обсязі забезпечити автомобіль необхідною питомою потужністю, а тривалість зарядки їх дуже велика.

Основні характеристики існуючих акумуляторних батарей і електромобілів наведені у таблицях 1, 2 і 3.

Таблиця 1

Характеристики тягових акумуляторних батарей для електромобілів,
які плануються .

Показник	Середньостроковий	Довгостроковий
Питома потужність, Вт/л (Вт/кг)	250 (150)	600 (400)
Питома енерговіддача, Вт·ч/л (Вт·ч/кг)	135 (80)	300 (200)
Строк служби, циклів заряд-розряд (років)	600 (5)	1000 (10)
Діапазон робочих температур, °С	30 ... +65	- 40 ... +85
Час заряду, годин	Не більше 6	3 – 6
Енергетична ефективність, %	75	80
Саморозряд, % не більше	15 за 48 годин	15 за місяць
Питома ціна, \$/кВт·ч	До 150	До100

Таблиця 2

Характеристики перспективних тягових акумуляторних батарей
для електромобілів

Батареї	Питома енерговіддача, Вт·ч/кг	Енергетична ефективність, %	Строк служби, цикли заряд-розряд	Саморозряд за 18 годин, %	Ціна, \$ /кВт
Кислотні:					
Свинцево-кислотна	30 – 50	Більше 80	50 - 1500	0,6	70 – 130
Цинк-бромні	70 – 80	75	200 - 2000	40	150 – 300
Лужні:					
Нікель-залізна	40 – 60	60	500 - 2000	3	200 – 1400
Нікель-цинкова	55 – 85	70	500	1,2	200 – 500
Алюміній-повітря	220 – 300	До 50	Дані відсутні	Дані відсутні	Дані відсутні
Цинк-повітря	120 – 200	60	600	Дані відсутні	110
Розплавлені елементи:					
Натрій-сірка	100 – 140	85	800	0	110
Літій-сульфід заліза	60 – 130	80	1000	Дані відсутні	110
Твердий електрод:					
Літій-композит	85 – 130	80 - 85	100	0,03	100

Таблиця 3

Основні характеристики сучасних електромобілів

Виробник	Модель	Тип батареї	Максимальна швидкість, км/год	Пробіг без підзарядки, км
BMW	E1	Натрій-сірка	120	250
General Motors	Impact	Свинцево-кислотна	160	195
General Motors	Storm	Свинцево-кислотна	120	165
Chrysler	TEVan	Нікель-залізо	105	195
Mazda	323EV	Свинцево-кислотна	40	105
Mercedes-Benz	190E	Натрій-сірка	120	150
Nissan	FEV	Нікель-кадмій	130	100
Peugeot	205E	Нікель-залізо	96	112
Renault	Electro-Clio	Свинцево-кислотна	120	80
Citroen	Citella	Нікель-кадмій	110	200
Citroen	C15	Нікель-залізо	80	112
FIAT	Panda Elettra	Свинцево-кислотна	70	70
FIAT	Downtown	Натрій-сірка	100	250
Ford	Ecostar	Натрій-сірка	160	160
VW		Свинцево-кислотна	50	80
VW		Натрій-сірка	105	120

Більше 100 років тому інженер В.І. Шуберський запропонував використовувати

інерційний акумулятор – маховик. Маховик здатен виділяти величезну, практично необмежену питому потужність, а строк розкрутки маховика може бути скільки завгодно малим. Маховик накопичує і виділяє енергію у вигляді механічної, тобто вона не втрачається при перетвореннях. Строк консервації цієї енергії у сучасних маховиках досить великий – більше тижня. Здатність до ефективної рекуперації енергії при спусках і гальмуванні дозволяє економично використовувати накопичену в маховику енергію. Маховик довговічний, зовсім не виділяє ніяких продуктів, може стабілізувати автомобіль під час різкого маневру. Інерційний акумулятор у гібридній установці – це економія палива, підвищення динамічності автомобіля. На жаль, на сьогоднішньому рівні розвитку технології інерційні накопичувачі мають ряд серйозних недоліків, що стримують їх впровадження до масового виробництва. Слід відмітити найбільш вагомий – низька питома енергоємність і величезна небезпека розриву. Ці недоліки з часом будуть зменшуватись, тим самим відкриваючи величезні перспективи розвитку подібних схем.

Вирішити проблему живлення двигунів електромобілів можливо не лише за допомогою акумуляторних батарей різних типів. Вже давно розроблені пристрої, які перетворюють хімічну енергію палива в електричну. Вони були названі паливними елементами і, хоча за своєю будовою нагадують акумуляторні батареї, електроенергію лише виробляють, не запасаючи її. Їх довговічність рахується десятками тисяч годин роботи, вони мають високу надійність, а питома потужність досягає 220 Вт/кг, тобто у 3 рази більше, ніж у кращих акумуляторних батарей.

Ефективність роботи паливних елементів, у тому числі як джерела струму для транспортних засобів, набагато вища, ніж у найкращого ДВЗ. Вони можуть працювати на метанолі, етанолі, водні, газі.

Паливні елементи складаються з двох активізованих каталізаторами електродів – одного для палива і другого для окислювача, а також з електроліту для обміну зарядженими частинками (іонами). Найбільш відомі – паливні елементи з водяним розчином лугу КОН як електроліт. Вони так і називаються – лужні. Ці елементи з 1965 року постійно використовує в космічних дослідженнях американське НАСА: вони працюють на кораблях – “човниках” програми “Спейс Шаттл”. Але для наземного використання, а тим більше для транспортних цілей, вони непридатні, оскільки не витримують ударів та вібрацій і не можуть швидко реагувати на зміну навантаження і т. п. Тому для електромобілів вишукують можливість застосування паливних елементів з електролітом на основі фосфорної кислоти, розплавленого карбонату, твердих окислів чи протонно-обмінної мембрани. Принцип їх дії (за виключенням елементів з розплавленим карбонатом) оснований на з’єднанні іонів водню з іонами кисню і утворенні молекул води і вільних електронів. При кислотному електроліті водень, що надходить до паливного елемента, розкладається позитивним електродом на іони і відповідну кількість електронів. Останні через зовнішнє навантаження (у нашому випадку це електродвигун і система його управління) проходять до негативного електрода, де реагують з киснем і водою з електроліту, утворюючи іони гідроксилу, а потім, з’єднуючись з іонами водню, воду. Загальна ефективність такого електрохімічного перетворення дуже висока і теоретично досягає 83 %, хоча в даний час подолати величину в 60 % ще не вдалося. Ефективність ДВЗ вдвічі нижча.

На транспортних засобах з електроприводом, які використовують як джерело струму паливні елементи, кисень може надходити прямо з атмосфери, а водень або запасають у чистому вигляді, або перетворюють з вуглеводневого палива.

Основна проблема створення транспортного засобу на паливних елементах – громіздкість установки. Цю перешкоду можна здолати, застосовуючи більш довершені та дорогі матеріали, і досягти її питомої маси для легкових автомобілів приблизно 1 кг/кВт. Але є ще одне обмеження – недостатній видобуток благородних металів. На думку спеціалістів, якщо у наступному столітті виробництво таких транспортних засобів досягне хоча б 5 млн. в рік, то добування благородних металів повинне зрости у 2,5–5 разів.

Багато надій автомобільні інженери покладають на альтернативне паливо – водень. Питома теплотворна здатність водню в 3 рази перевищує бензинову. Відпрацьовані гази двигуна, що працює на водні, складаються з окислів азоту і пари води.

Але на шляху впровадження водню як палива є багато проблем.

Перша – одержання водню. Він утворюється, в основному, як побічний продукт у процесі електролізу, при крекінгу нафти і одержанні коксу. Також можна його одержати шляхом

термічної дисоціації води на водень і кисень.

Друга проблема – вибухонебезпечність водню.

Але основна проблема – складність зберігання водню: у стисненому стані погребується тиск порядку 140 атмосфер, відповідно – громіздкий важкий балон, а у зрідженому стані при атмосферному тиску – дуже низька температура (-253 °C). Для зберігання рідкого водню потрібна ємкість типу “банка Дьюара” – свого роду термос.

Водень на автомобілі може зберігатися у вигляді рідких чи твердих гідридів. Останні – це гідриди металів, самий дешевий з яких на основі магнію. Використовуються вони у вигляді гранул, які засипаються у паливний бак на 60 % його об’єму. Для добування водню бак нагрівається за допомогою пристрою попереднього розігріву, а під час руху використовується тепло відпрацьованих газів.

Установка для одержання на автомобілі водню з рідких гідридів більш громіздка і придатна лише для вантажних автомобілів. Як вихідна речовина використовується метилциклогексан. Він стабільний при нормальній температурі та атмосферному тиску і для його розкладу потрібен каталітичний реактор. Толуол, який утворюється під час реакції, видаляється у спеціальний бак.

Але всі ці установки дуже громіздкі і для переходу на водень як паливо для автомобілів ще далеко.

Як бачимо, перед кожною альтернативною ідеєю заміни звичайного ДВЗ стоїть маса проблем. І все ж таки основна з них – інерційність серійного виробництва. Неможливо навіть за декілька років налаштувати величезне світове виробництво, яким є сьогодні автомобілебудування, на принципово новий вид силової установки.

Не слід також нехтувати думкою споживачів – чи згодні вони пожертвувати мобільністю, швидкістю, зручністю автомобілів з ДВЗ в обмін на сумнівну, з їхньої точки зору, економичність і екологічність.

Але законодавства деяких країн у наступному тисячолітті настільки підвищують вимоги щодо екологічності, що модернізувати ДВЗ старими методами – застосуванням багатоклапаної головки циліндрів, модернізацією МПС управління запалюванням і впорскування палива, допалювачів у випускному тракті і встановлення каталітичних нейтралізаторів – практично неможливо. Тому автовиробники стоять на порозі нової епохи – “гібридизації” автомобілів.

Гібридомобіль – це автомобіль, який має силову установку, що складається з джерела механічної енергії (переважно ДВЗ), який об’єднаний у систему з альтернативним двигуном. Це може бути як акумуляторні батареї, так і маховик та інше.

Найбільш розвивається напрямок, у якому ДВЗ працює у парі з електродвигуном, що потребує енергію від акумуляторної батареї і генератора.

Перевага таких схем у тому, що у різних режимах руху автомобіля працює лише одна з можливих комбінацій кінематичних схем, що підвищує ККД схеми вцілому. При цьому ДВЗ працює у тому діапазоні навантажень і обертів, при якому у нього мінімальні значення викидів шкідливих газів і зношувальних процесів.

Окрім цього, управління гібридомобілем найбільш наближене до управління звичайним автомобілем, що, звичайно, позитивно відобразилось на його активній безпеці.

У кінці 1997 року Toyota запустила у серійне виробництво свій гібридомобіль Toyota Prius. Це передньоприводний седан масою 1,5 тонни, який оснащений рядним 4-х циліндровим бензиновим двигуном. Цей двигун має “скромну” потужність 58 к. с. при робочому об’ємі 1,5 літра і оснащений двома розподільчими валами, чотирьохклапанною головкою циліндрів, системою зміни фаз газорозподілу VVT і електронним розподілюванням запалювання. Цей двигун має високий ступінь стиску – 13,5 і працює він за циклом Аткинсона. У Prius немає коробки передач і навіть передачі заднього ходу. Колеса через диференціал і просту понижуючу пару шестерен жорстко зв’язані з синхронним мотор-генератором перемінного струму і, одночасно, з зовнішньою шестернею звичайної планетарної передачі. Все це, включаючи двигун, керується потужним контролером.

Планетарна передача виконана таким чином, що поділяє крутний момент бензинового двигуна у відношенні 30:70. Третину – генератору, усе інше – колесам. Генератор передає відібрану енергію безпосередньо на електродвигун і на колеса – додатково до тієї енергії, що направлялась туди напряму. Окрім цього, генератор може дозаряджати батарею з 40 нікельметалгідридних акумуляторів.

Навіщо така складна схема? Мабуть, інженери фірми Toyota намагались максимально на-

близити свій гібрид до автомобіля за основними характеристиками – динамікою, максимальною швидкістю, керованістю, запасом ходу. І, мабуть, їм це вдалося. Toyota Prius дозволяє викидати в атмосферу на 90 % менше вуглеводнів і окислів азоту, що не згоріли, і наполовину знизити викиди вуглекислого газу порівняно з автомобілем з 1,5-літровим двигуном. Середня витрата палива складає 3,8 л /100 км!

Такі показники досягаються завдяки гнучкому керуванню економічним двигуном, електромобілем і батареями. Цей гібридомобіль завоював у Японії почесне звання “Автомобіль року” і масово продається за \$ 18000.

При старті і руху до швидкості 16 км/год працюють лише електродвигун і батареї. На малих і середніх навантаженнях запускається двигун, причому його крутний момент розділяється – 70 % попадає на колеса напряму, а 30 % відділяється планетарною передачею і через генератор і електромотор також іде на колеса. При інтенсивному розгоні електромотор, окрім третини енергії від двигуна, одержує додаткове живлення від батарей. А під час гальмування двигун зупиняється, а електродвигун працює у рекуперативному режимі – як генератор.

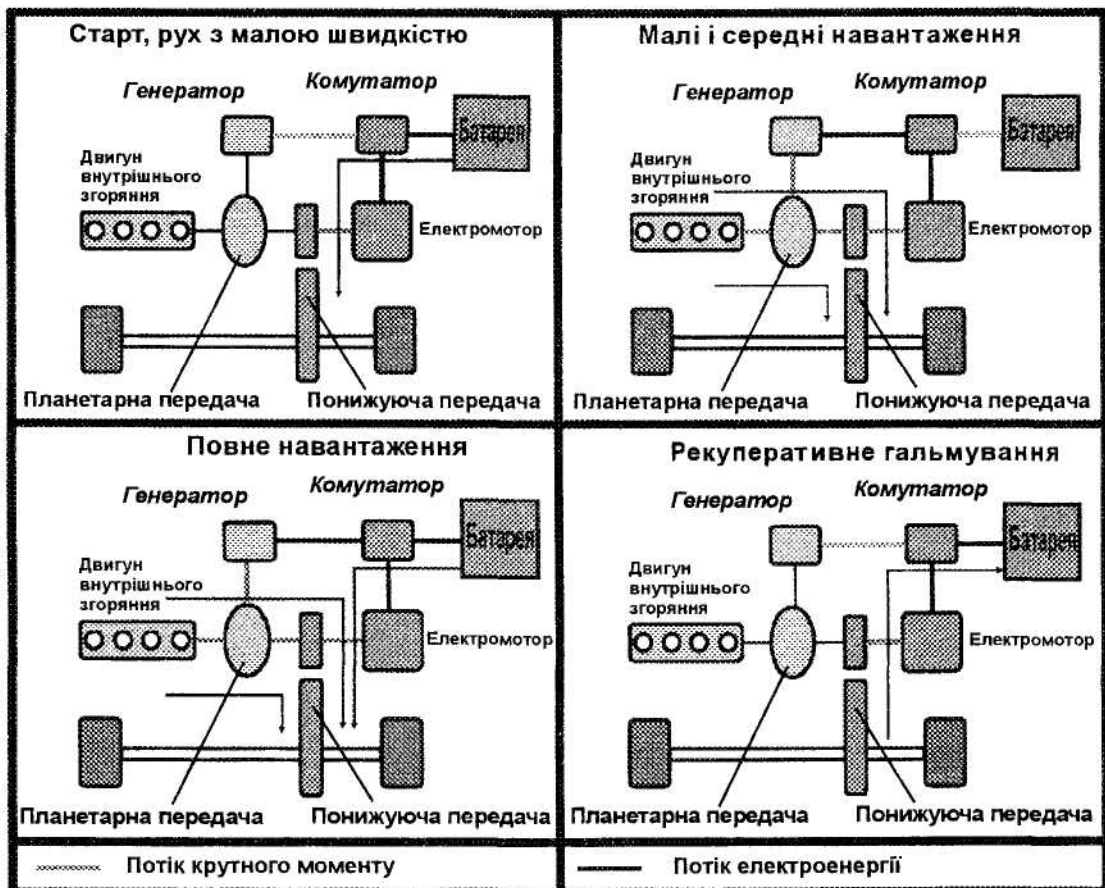


Рис. 1. Схеми роботи силового агрегату на різних режимах руху автомобіля

Спроби інших фірм створити щось подібне залишаються лише на рівні прототипів і проєктів. Приклад Prius показує напрямок, яким рухається автомобілебудування у світі. Такі гібридомобілі дозволяють екології та споживачам відносно легко пережити так званий “перехідний період” від звичайних автомобілів до електричних.

КОВТУН Дмитро Петрович – студент 5-го курсу Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- проблеми взаємодії у системі людина-машина;
- підвищення ефективності силових агрегатів транспортних засобів.