

## **СУЧАСНІ СТАН ТА НАПРЯМИ РОЗРОБОК ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ДВИГУНІВ**

*Проведено огляд існуючих принципових рішень зі створення екологічно безпечних приводів для мобільного транспорту, що не прив'язаний безпосередньо до локального джерела живлення: електричний привід на акумуляторах, водневий двигун, гібридний привід, двигун на стиснутому повітрі, двигун Стірлінга та робота на біологічному паливі.*

*Existing basic approaches to creation of ecologically carees engines for the mobile transport which has been not adhered directly to local energy sources are considered: electric motors on chemical battery, hydrogen engines, hybrid motors, engine on compressed air, Stirling engine and biofuel application.*

### **Постановка проблеми**

Економія енергоресурсів та проблеми екологічної безпеки життєвого середовища поступово стають основною турботою технічної цивілізації. Єдиного рішення такої складної комплексної проблеми не існує. Ми розглянемо лише одну складову проблеми, що пов'язана з використанням двигунів на рухомому транспорті.

Одним із можливих поліпшень у напрямі підвищення рівня екологічної безпеки двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) з бензиновим паливом є використання збіднених паливноповітряних сумішей. Однак просте зменшення проценту бензинового палива в суміші супроводжується зниженням його коефіцієнта корисної дії (ККД). Тому використання збіднених паливноповітряних сумішей стає обрентованим лише при збільшенні повноти згоряння палива відносно типового складу паливної суміші. Як показує досвід, це можливо при збільшенні потужності іскрового розрядження від електричної свічки запалення, що досягається, відповідно, при збільшенні підведеної потужності (напруги) на свічку. Однак при таких режимах роботи термін експлуатації типової свічки значно скорочується. Які рішення можливі при вибраному підході? У праці [1] були розглянуті запропоновані рішення замінити стандартну електричну систему запалення на лазерну, яка дає змогу збільшити повноту згоряння збіднених паливних сумішей.

Автори показали, що для ефективного ініціювання запалення немає необхідності створювати високу температуру (200÷300 °С — для запалення бензиновоповітряної суміші), а достатньо використовувати лазерне випромінювання на довжині хвилі, на якій має місце іонізація молекул бензинових сумішей.

Більш революційні рішення проблеми знайдені сьогодні на шляху використання двигунів на альтернативних джерелах паливної енергії.

До найперспективніших варіантів екологічно безпечних двигунів можна віднести електричні приводи, гібридні автомобілі, водневий привід, повітряні двигуни та роботу на біопаливі.

Частково екологічно безпечні двигуни вже досить давно ввійшли в наше життя. Електрична тяга використовується в трамваях, тролейбусах та електричних потягах. У наведених прикладах елект-ричний привід тісно прив'язаний до стаціонарного джерела електричної енергії.

Транспорт на нафтовому паливі (типові автомобілі) такої залежності немає і характеризується великою довжиною вільного пробігу (запасу ходу). Тому великі автомобільні корпорації вже приступили до розробок екологічно безпечних двигунів для автомобілів з забезпеченням такої самої великої довжини вільного пробігу (від заправлення до заправлення), як у найбільш поширеного виду транспорту на бензинових та дизельних двигунах. Розглянемо найбільш перспективні рішення в цьому напрямі.

### **Електричний привід**

Транспортний засіб приводиться в рух одним або кількома електричними двигунами з живленням від акумуляторів або від паливних елементів. Крутний момент передається на колеса автомобіля традиційно. Одним із варіантів електромобіля може бути використання сонячної батареї для зарядження акумулятора. Екологічні переваги електромобіля пов'язані з відсутністю викидів, але недоліком є виробництво та утилізація акумуляторів, які містять отруйні компоненти на основі свинцю чи літію.

Сучасні свинцево-кислотні акумулятори за півтора століття вдосконалень так і не досягли характеристик, які б дали змогу електромобілю на рівних правах конкурувати з ДВЗ щодо запасу ходу та вартості, незважаючи на високий ККД — близько 70 %. Відношення ємність/маса для них досить низьке. Перспективними є нікель-метал-гідридні акумулятори [2], але їх масове виробництво стримується високою ціною на нікель. Більш перспективними є літій-іонні акумулятори, однак розвідані запаси літію недостатні. У 2004 році світове виробництво літію

становило  $2,54 \cdot 10^5$  тонни, що недостатньо для масового переведення на них усього існуючого автомобільного транспорту. Недоліками акумуляторного приводу є невеликий робочий діапазон температур для акумуляторів, їх саморозрядження та необхідність утилізації старих акумуляторів.

### Гібридний привід

У цьому випадку автомобіль рухається за допомогою системи «електродвигун — ДВЗ», яка живиться як паливом, так і зарядом електричного акумулятора, що значно зменшує шкідливі викиди та витрати палива (рис. 1).

Під час запуску двигуна, розгону та повільної їзди енергія від акумулятора через інвертор подається на електричний двигун [3] та далі, через редукційний механізм, на колеса. На цих режимах витрачається тільки енергія від акумулятора і ДВЗ не запускається.

Коли автомобіль набрав швидкість, запускається ДВЗ та відключається електричний двигун. Обертальний момент, отриманий від його роботи, надходить до механізму розчеплення потужності. У механізмі розчеплення одна частина потужності йде на колеса, а друга — на генератор електричного струму. Від генератора електрична енергія через інвертор надходить на електричний двигун і далі також на колеса. Під час переходу на режим повного прискорення працюють одночасно ДВЗ та електричний двигун.

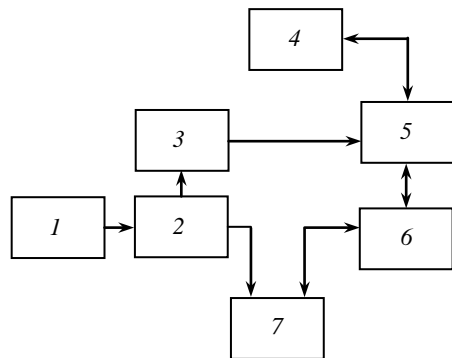


Рис. 1. Схема роботи гібридного приводу: 1 — двигун внутрішнього згоряння; 2 — механізм розчеплення потужності; 3 — генератор електричного струму; 4 — акумулятор; 5 — інвертор; 6 —

При гальмуванні проходить процес, неможливий при використанні одного ДВЗ, — збереження та повторне використання кінетичної енергії, яка утворюється під час гальмування: обертальний момент від колес надходить через редукційний механізм до електродвигуна. Енергія від електродвигуна через інвертор надходить до акумуляторів, заряджаючи їх.

Основні переваги гібридного приводу: екологічна чистота; гарні ходові характеристики; збереження та повторне використання енергії; можливість зарядження звичайним паливом.

Недоліки цього рішення — складність гібридного приводу, та всі зазначені вище недоліки експлуатації акумуляторних батарей.

Електричний та гібридний приводи можна віднести до одного класу приводів.

Основна перевага цього класу — це екологічна чистота, а головним недоліком є проблема виробництва й утилізації акумуляторів, які часто містять отруйні компоненти.

### Приводи на водневому ДВЗ та паливних елементах

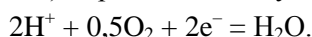
Особливістю водневого палива є те, що його можна використовувати як для безпосереднього впорскування в циліндр ДВЗ, так і як воднево-кисневі паливні елементи [2].

Безпосереднє спалювання водню дає змогу збільшити потужність ДВЗ приблизно на 17 %. При цьому єдиним прямим продуктом реакції є водяна пара, бо навіть оксидів азоту (вони утворюються при високій температурі з азоту повітря) викидається в атмосферу в 4—5 разів менше ніж при використанні бензину. Є можливість отримання  $H_2$  безпосередньо в автомобілі. Найбільш перспективним вважається засіб, при якому як сировину використовують метанол. Спочатку бак автомобіля заповнюють метанолом. Звідти він потрапляє до хімічного реактора, випаровується та за наявності каталізатора реагує з водяною парою, виділяючи водень та двоокис вуглецю. До переваг водню як палива належить його висока детонаційна стійкість, завдяки чому можна значно збільшити ступінь його стиснення.

Паливний елемент — електрохімічний прилад, який виробляє струм у процесі електрохімічної реакції і відрізняється від акумуляторів тим, що речовини для електрохімічної реакції подаються до нього ззовні, на відміну від обмеженої кількості енергії, яка запасена в гальванічному елементі в акумуляторі. Принцип дії водневокисневого паливного елемента з протоннообмінною мембраною полягає в такому. Протоннообмінна полімерна мембрана розділяє два електроди — анод і катод. Кожний електрод, як правило, являє собою кутову пластину (матрицю) з нанесеним каталізатором — платиною чи сплавом платиноїдів та інші композиції. На каталізаторі анода молекула  $H_2$  втрачає електрони і дисоціює:



Протони проводяться крізь мембрану до катода, а електрони віддаються у зовнішній ланцюг, оскільки мембрана їх не пропускає. На каталізаторі катода молекула  $O_2$  з'єднується з електроном (який приходить із зовнішнього ланцюга) і протоном  $H^+$  й утворює  $H_2O$  (рис. 2):



Таким чином, вода виступає єдиним продуктом реакції.

Паливні елементи не можуть зберігати електричну енергію, однак разом із електричними лізерами та ємкостями для зберігання палива вони утворюють пристрій для зберігання енергії.

Загальний ККД такого приладу (перетворення електричної енергії у водень і знову в електричну енергію) — 30—45 %.

Переваги автомобіля на водневому паливі: в атмосферу викидається тільки водяна пара; його можна використовувати як паливо в звичайному ДВЗ; ККД водневого паливного елемента — близько 45 %, у той час як ККД бензинового ДВЗ не перевищує 35%. До тимчасових недоліків водневого палива слід віднести недосконалу технологію зберігання, відсутність стандартів.

### Привід на стиснутому повітрі

Названий привід як енергоносіє використовує стиснуте повітря. На малих швидкостях [4] (до 56 км/год) автомобіль працює лише за рахунок цієї енергії. При швидкості понад 56 км/год разом із стиснутим повітрям використовується незначна кількість звичайного палива: бензину, дизельного пального, метану або спирту. В першому випадку стиснуте повітря з балона подається в циліндри звичайного ДВЗ і приводить в рух автомобіль. У цьому разі викидом є чисте повітря. Пальне використовується для підвищення температури (тиску) стиснутого повітря. При цьому викиди  $CO_2$  становлять лише  $39,7 \cdot 10^{-3}$  кг/км, що в 4 рази менше за викиди середнього автомобіля. Заправлення стиснутим повітрям можна робити двома способами: на сервісній станції із магістральних повітропроводів високого тиску або від бортового компресора, при підключенні його до стандартної електричної мережі 220 В. Переваги очевидні, до недоліків можна віднести всі недоліки тимчасового типу.

### Двигун Стірлінга

Особливістю цього двигуна є здатність перетворювати в роботу будь-яку різницю температур. Принцип роботи двигуна Стірлінга полягає в циклах нагрівання й охолодження газу, що постійно чергується в закритому циліндрі [5]. При нагріванні газ розширюється і рухає робочий поршень. Цей поршень опускається, штовхає шатун і повертає маховик. Одночасно змінюється положення так званого виштовхувального поршня, який переміщує газ із нагрітої в холодну зону. Газ охолоджується і створює зворотне зусилля на робочий поршень. Потім виштовхувач переміщує газ у гарячу зону, і весь цикл повторюється. В ролі газу може використовуватися звичайне повітря, водень або гелій.

Інженери поділяють двигуни Стірлінга на три різні типи [6]: альфа-Стерлінг; бета-Стерлінг; гамма-Стерлінг.

Альфа-Стерлінг містить два роздільні силові поршні в роздільних циліндрах. Один поршень — гарячий, інший — холодний. Циліндр з гарячим поршнем знаходиться в теплообміннику з вищою температурою, тоді як циліндр з холодним поршнем — в холоднішому теплообміннику.

У двигуна типу бета-Стерлінг циліндр усього один, гарячий з одного кінця і холодний з іншого. В середині циліндра рухаються поршень (з якого знімається потужність) і «витіснювач», що змінює об'єм гарячої порожнини. Газ перекачується з холодної частини циліндра в гарячу через регенератор.

У двигуна типу гамма-Стерлінг теж є поршень і «витіснювач», але при цьому два циліндри — один холодний (там рухається поршень, з якого знімається потужність), а другий — гарячий з одного кінця і холодний з іншого (там рухається «витіснювач»). Регенератор сполучає гарячу частину другого циліндра з холодною і одночасно з першим (холодним) циліндром.

Основним недоліком двигунів зовнішнього згоряння взагалі і двигуна Стірлінга зокрема є повільне реагування двигуна на зміну теплового потоку, що підводиться до циліндра. Внаслідок цього потужність двигуна неможливо міняти швидко і для того, щоб двигун почав проводити роботу потрібен час на розігрівання. Вказаний недолік робить застосування двигунів зовнішнього згоряння в автомобілях непрактичним, проте в тих випадках, коли від двигуна вимагається

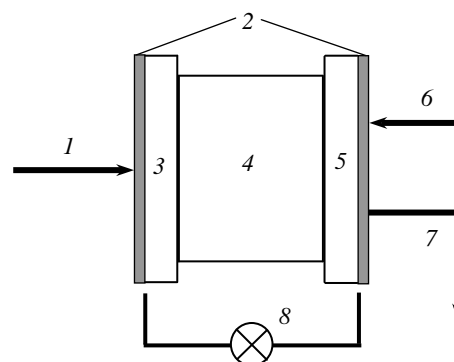


Рис. 2. Схема роботи паливного елемента з протонообмінною мембраною: 1 — водень; 2 — каталізатор; 3 — анод; 4 — протонообмінна мембрана; 5 — катод; 6 — кисень з повітря; 7 — вода; 8 — електричний струм

отримання фіксованої потужності протягом тривалого проміжку часу, двигуни зовнішнього згоряння цілком можуть замінити двигуни внутрішнього згоряння.

### Біологічне паливо

Біологічне паливо слід розглядати як вагому складову вирішення комплексної проблеми створення екологічно безпечних приводів для рухомого транспорту. Біологічне паливо поділяють на рідке (для ДВЗ, наприклад, етанол, метанол, біодизель), тверде (дрова, солома) і газоподібне біопаливо (біогаз, водень) [7]. Біометанол історично перший вид органічного палива, використаний у ДВЗ. Виробництво біомаси здійснюється культивуванням фітопланктону в штучних водоймах. Бродіння біомаси і подальше гідроксилювання метану закінчується отриманням метанолу. Біодизельне паливо виробляється на основі жирів тваринного, рослинного і мікробного походження, а також продуктів їх етерифікації: використовуються рапсова, соєва, пальмова, кокосова олія та відходи харчової промисловості. Розробляються також технології виробництва біодизеля з водоростей. Біогазове паливо отримується «метановим» бродінням біомаси: розкладання біомаси відбувається під впливом бактерій класу метаногенів.

Склад біологічного газу: 55 % — 75 % метану, 25 % — 45 % CO<sub>2</sub>, незначні домішки H<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>S. Сировина для здобуття: трава, гній, фекальні осідання, спиртна барда, буряковий жом, відходи забійного цеху. Біоводень дістають з біомаси термохімічним, біохімічним або іншим методом. При термохімічному методі біомасу нагрівають без доступу кисню до температури 500° — 800 °С (у випадку відходів деревини). У результаті термолізу виділяється H<sub>2</sub>, CO і CH<sub>4</sub>. У біохімічному процесі водень виробляють також різні бактерії, наприклад *Rodobacter speriodes*, *Enterobacter cloacae*. Дослідження виявили, коли водоростям (*Chlamydomonas reinhardtii*) не вистачає кисню і сірки, процеси фотосинтезу у них різко слабшають, а процеси вироблення водню посилюються.

Як відомо, Україна має близько 35 млн га орних земель, що дає гарні перспективи в виробництві біологічного палива. У зв'язку з цим Україна прийняла програму розвитку дизельного біопалива [8].

### Висновки

У праці представлені найбільш перспективні види екологічно безпечних автомобільних двигунів з відповідними джерелами енергії.

Серед цих видів двигун на водневому паливі виділяють як найбільш перспективний.

Слід наголосити також на перспективності приводу на стиснутому повітрі. Функціонування двигуна за рахунок стиснутого повітря цікаве тим, що повітря виконує всю роботу, а його склад на виході ще чистіший, ніж на вході, за рахунок очищення повітря перед заправленням балони.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Тихонов С. О., Логінов Г. С. Аналіз фізичних основ лазерного запалювання паливних сумішей / Вісник НАУ. — К., 2007. — № 2. — С. 90—95.
2. Водородный транспорт [http://ru.wikipedia.org/wiki/Водородный\\_транспорт](http://ru.wikipedia.org/wiki/Водородный_транспорт).
3. Hybrid Synergy Drive Information Terminal presented by Toyota [http://www.hybridsynergydrive.com/en/quick\\_guide.html](http://www.hybridsynergydrive.com/en/quick_guide.html).
4. World's Cleanest Car [http // zeropollutionmotors.us/ ?page\\_id=38](http://zeropollutionmotors.us/?page_id=38).
5. Двигатели Стирлинга помогут развивающимся странам // <http://www.compulenta.ru/292176/>
6. Двигатель Стирлинга [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Двигатель\\_Стирлинга](http://ru.wikipedia.org/wiki/Двигатель_Стирлинга).
7. Биотопливо [http://ru.wikipedia.org/wiki/ Биотопливо](http://ru.wikipedia.org/wiki/Биотопливо).
8. Постанова «Про затвердження Програми розвитку виробництва дизельного біопалива» / Кабінет Міністрів України. — 22.12.2006. — № 1774.