

## **Лекція 6. Автомобілі з альтернативними силовими установками**

### **Вступ**

Розвиток автомобільного транспорту на сучасному етапі характеризується активним пошуком альтернатив традиційним двигунам внутрішнього згоряння. Причинами цього є жорсткі екологічні вимоги, необхідність зниження споживання викопних палив, підвищення енергоефективності транспортних засобів і загальний перехід до сталих технологій. Альтернативні силові установки автомобілів базуються на поєднанні або заміні ДВЗ електричними машинами, акумуляторними батареями та електрохімічними джерелами енергії.

У даній лекції розглядаються принципи побудови, будова і робочі процеси гібридних автомобілів, електромобілів та водневих автомобілів на паливних комірках з акцентом на взаємодію окремих елементів силової установки.

### **1. Гібридні силові установки автомобілів**

Гібридною називають силову установку автомобіля, у якій для приводу коліс використовується більше одного джерела енергії, зазвичай двигун внутрішнього згоряння та електрична машина. Основною ідеєю гібридизації є використання переваг кожного типу джерела енергії у найбільш ефективних режимах роботи.

У конструкції гібридного автомобіля двигун внутрішнього згоряння, як правило, працює в обмеженому діапазоні обертів і навантажень, де його питома витрата палива є мінімальною. Електродвигун, у свою чергу, забезпечує високий крутний момент з нульової частоти обертання, що є особливо корисним під час рушання з місця та руху в міських умовах.

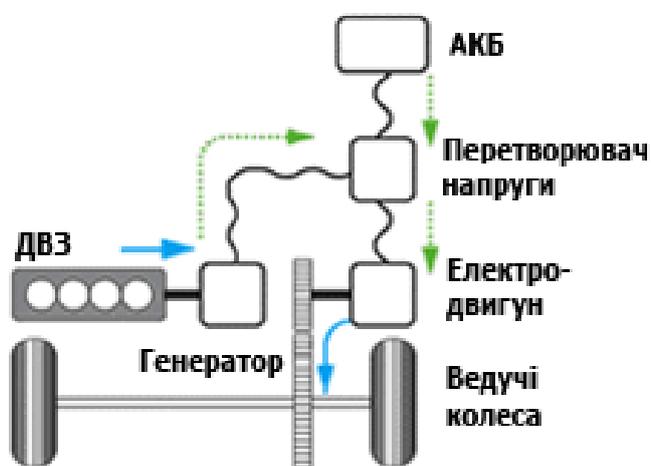
#### **1.1. Класифікація гібридів за ступенем гібридизації**

У micro- та mild-гібридах електрична машина виконує допоміжну роль. Вона не здатна самостійно приводити автомобіль у рух, але бере участь у пуску двигуна, рекуперації енергії гальмування та короткочасній підтримці ДВЗ під час розгону. Така схема дозволяє зменшити витрату палива та навантаження на двигун без суттєвого ускладнення трансмісії.

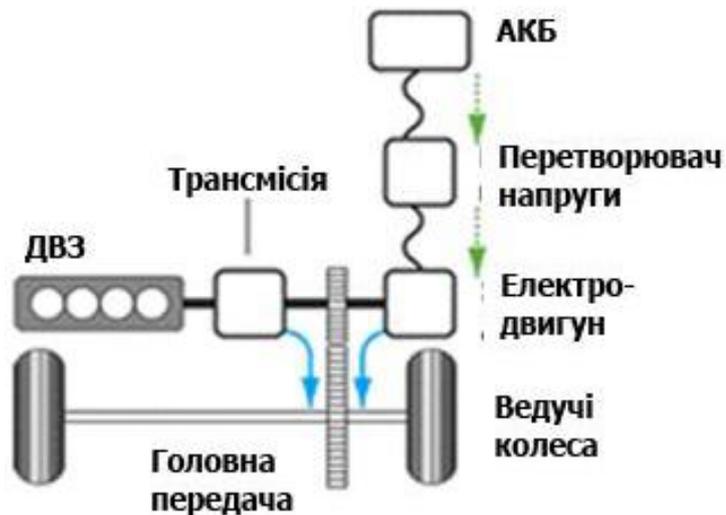
Повні гібриди (full hybrid) характеризуються можливістю руху автомобіля виключно на електричній тязі на невеликих швидкостях і відстанях. У таких системах електродвигун, двигун внутрішнього згоряння та трансмісія об'єднані у єдиний силовий модуль, керування яким здійснюється електронною системою залежно від режиму руху.

Plug-in гібриди відрізняються збільшеною ємністю акумуляторної батареї та можливістю її заряджання від зовнішньої електромережі. Це дозволяє суттєво збільшити частку електричного пробігу та знизити витрату палива у щоденній експлуатації.

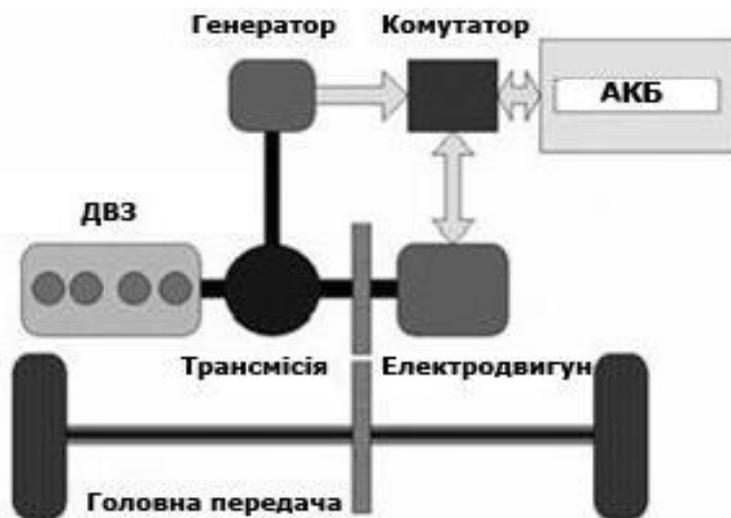
## 1.2. Схеми гібридних силових установок



У послідовній гібридній схемі двигун внутрішнього згоряння механічно не пов'язаний з ведучими колесами. Він приводить у дію генератор, який виробляє електричну енергію для живлення тягового електродвигуна або заряджання акумуляторної батареї. Така схема дозволяє оптимізувати роботу ДВЗ, але супроводжується додатковими втратами енергії на перетворення.



Паралельна схема передбачає механічний зв'язок як ДВЗ, так і електродвигуна з трансмісією автомобіля. У цьому випадку крутний момент на ведучих колесах формується сумарною дією обох джерел енергії, що підвищує загальну ефективність силової установки.



Послідовно-паралельна схема поєднує ознаки двох попередніх і є найбільш універсальною. Завдяки застосуванню планетарних передач та складних алгоритмів керування вона забезпечує гнучкий розподіл потоків потужності між елементами силової установки.

## 2. Електромобілі



Електромобіль є транспортним засобом, у якому єдиним джерелом енергії для створення тягового зусилля виступає електрична енергія, накопичена в акумуляторній батареї або вироблена іншими електрохімічними джерелами. На відміну від автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, в електромобілі відсутні процеси спалювання палива, що принципово змінює як конструкцію силової установки, так і характер взаємодії її елементів.

Силова установка електромобіля являє собою електромеханічну систему, у якій електрична енергія послідовно перетворюється в електромагнітну, а далі — у механічну енергію обертання ведучих коліс. До її складу входять тяговий електродвигун, силовий інвертор, акумуляторна батарея, система керування та допоміжні електричні й електронні компоненти.

### **2.1. Тягові електродвигуни електромобілів**

Тяговий електродвигун є основним виконавчим елементом силової установки електромобіля. Його призначення полягає у перетворенні електричної енергії на механічну роботу, яка реалізується у вигляді крутного моменту на валу. Особливістю електродвигуна є здатність розвивати максимальний крутний момент уже з моменту пуску, що забезпечує високі динамічні характеристики автомобіля без застосування складних багатоступневих коробок передач.

В електромобілях найбільш поширеними є асинхронні електродвигуни змінного струму та синхронні електродвигуни з постійними магнітами. Асинхронні двигуни відрізняються простотою конструкції, відсутністю дорогих магнітних матеріалів та високою надійністю. Їх принцип роботи ґрунтується на взаємодії обертового магнітного поля статора з індукованими струмами в роторі, внаслідок чого виникає електромагнітний момент.

Синхронні електродвигуни з постійними магнітами характеризуються вищим коефіцієнтом корисної дії та питомою потужністю. У таких двигунах магнітне поле ротора створюється постійними магнітами, що дозволяє зменшити електричні втрати та підвищити ефективність роботи в широкому діапазоні навантажень. Взаємодія магнітного поля ротора з полем статора забезпечує синхронне обертання ротора з частотою живильної напруги.

## **2.2. Силова електроніка та інвертор**

Силова електроніка є проміжною ланкою між акумуляторною батареєю та тяговим електродвигуном. Центральним елементом цієї підсистеми є інвертор, який перетворює постійний струм акумуляторної батареї у змінний струм необхідної частоти та амплітуди для живлення електродвигуна.

Принцип роботи інвертора ґрунтується на високочастотному комутуванні напівпровідникових ключів, що дозволяє формувати трифазну напругу з керованими параметрами. Зміна частоти та амплітуди напруги безпосередньо визначає частоту обертання та крутний момент електродвигуна. Таким чином, електронна система керування реалізує функції, аналогічні роботі коробки передач у традиційному автомобілі.

## **2.3. Акумуляторна батарея електромобіля**



Акумуляторна батарея є основним накопичувачем енергії електромобіля та визначає його запас ходу, масу та вартість. Сучасні електромобілі переважно використовують літій-іонні акумулятори, які забезпечують високу енергетичну щільність, тривалий термін служби та можливість багаторазових циклів заряджання і розряджання.

Конструктивно акумуляторна батарея складається з окремих елементів, з'єднаних у модулі та батарейні пакети. Для забезпечення безпечної та ефективної роботи батареї застосовується система керування батареєю, яка контролює напругу, струм, температуру та ступінь заряду кожного елемента. Взаємодія батареї з силовою електронікою забезпечує оптимальний режим живлення тягового електродвигуна та захист від перевантажень.

#### **2.4. Трансмсія електромобіля**

Трансмсія електромобіля має значно простішу будову порівняно з автомобілем з двигуном внутрішнього згорання. Завдяки широкому діапазону ефективної роботи електродвигуна зазвичай використовується одноступенева редукторна передача, яка знижує частоту обертання вала двигуна та передає крутний момент безпосередньо на ведучі колеса.

Відсутність зчеплення та багатоступеневої коробки передач зменшує механічні втрати та підвищує надійність силової установки. У деяких конструкціях електродвигун інтегрується безпосередньо у ведучі мости або навіть у колісні маточини, що змінює компоновку автомобіля та розподіл мас.

## 2.5. Рекуперативне гальмування та взаємодія систем



Важливою особливістю електромобілів є можливість рекуперації енергії під час гальмування. У цьому режимі тяговий електродвигун переходить у генераторний режим, перетворюючи кінетичну енергію автомобіля в електричну та повертаючи її до акумуляторної батареї. Це зменшує втрати енергії та підвищує загальну ефективність силової установки.

У процесі роботи всі елементи силової установки електромобіля функціонують як єдина інтегрована система. Електронна система керування координує роботу акумуляторної батареї, інвертора, електродвигуна та допоміжних систем, забезпечуючи оптимальні режими руху, безпеку та енергоефективність.

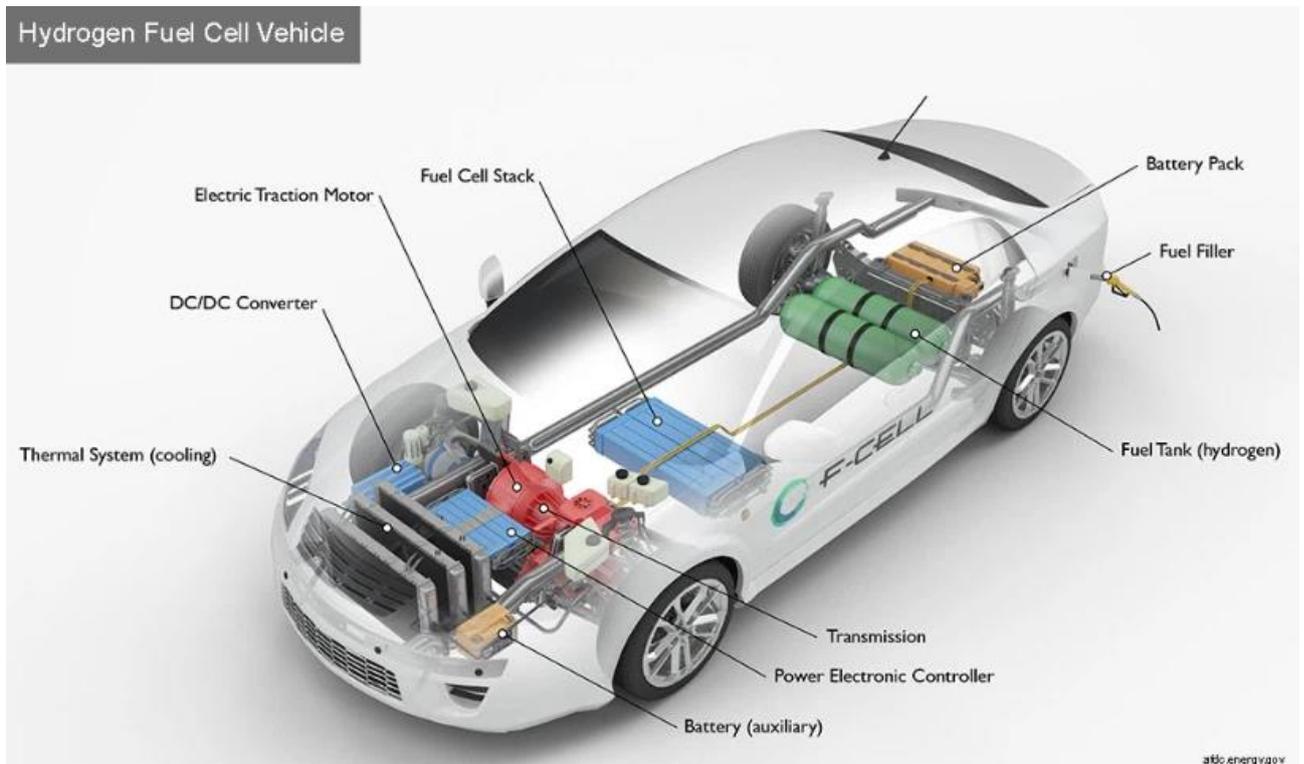
### 3. Водневі автомобілі на паливних комірках

Водневі автомобілі на паливних комірках належать до класу електромобілів, у яких електрична енергія для живлення тягового електроприводу виробляється безпосередньо на борту транспортного засобу. Принциповою відмінністю таких автомобілів від акумуляторних електромобілів є спосіб отримання електричної енергії: замість її накопичення

у великій акумуляторній батареї вона генерується в результаті електрохімічної реакції між воднем і киснем у паливній комірці.

З конструктивної точки зору силова установка водневого автомобіля являє собою складну багатокomпонентну систему, у якій поєднані елементи газопостачання, електрохімічного перетворення енергії, електричного приводу та систем керування. Їх узгоджена робота забезпечує перетворення хімічної енергії водню у механічну роботу ведучих коліс з високим коефіцієнтом корисної дії та мінімальним впливом на довкілля.

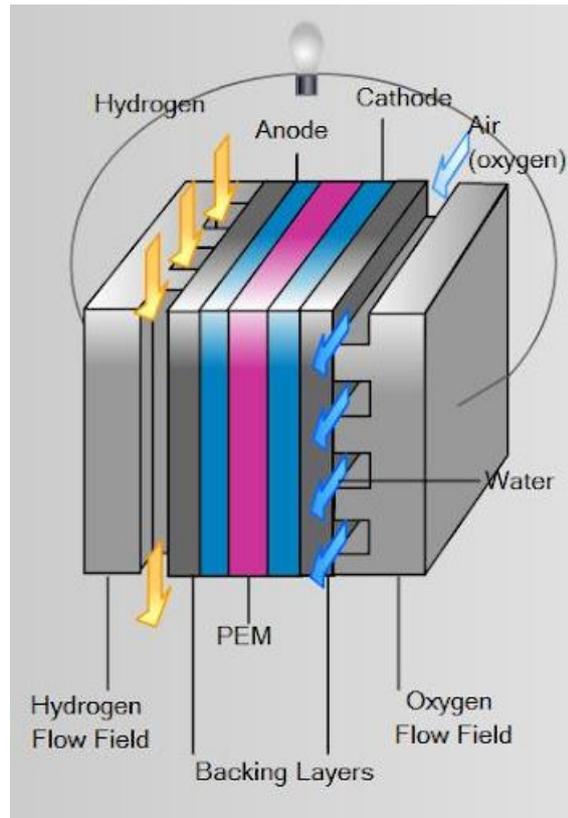
### 3.1. Загальна структура силової установки водневого автомобіля



До складу силової установки водневого автомобіля входять балони високого тиску для зберігання водню, система подачі та регулювання тиску водню, паливна комірка, силова електроніка, тяговий електродвигун, буферний накопичувач електричної енергії та система керування. Кожен з цих елементів виконує чітко визначену функцію, а їх взаємодія відбувається під контролем електронних систем.

Водень зберігається у спеціальних композитних балонах під високим тиском, що забезпечує достатній запас ходу автомобіля. Система редукування тиску подає водень до паливної комірки у строго визначених параметрах, необхідних для стабільного перебігу електрохімічних реакцій.

### 3.2. Будова паливної комірки



Паливна комірка є центральним елементом силової установки водневого автомобіля. Найбільш поширеним типом у автомобільній техніці є мембранна паливна комірка з протонно-обмінною мембраною. Вона складається з анода, катода та електролітної мембрани, розташованих у багатoshаровій структурі.

Анод призначений для подачі водню та каталізу його розщеплення на протони та електрони. Каталізатор, зазвичай виготовлений із платиновмісних матеріалів, прискорює перебіг реакції та забезпечує її стабільність. Катод, у свою чергу, забезпечує підведення кисню з атмосферного повітря та перебіг реакції утворення води.

Електролітна мембрана виконує подвійну функцію: вона пропускає протони від анода до катода та одночасно є електричним ізолятором, який не допускає проходження електронів безпосередньо через мембрану. Саме завдяки цьому електрони змушені рухатися по зовнішньому електричному колу, створюючи електричний струм.

### 3.3. Принцип роботи паливної комірки та електрохімічні процеси

Під час роботи паливної комірки на анод подається водень, який у присутності каталізатора дисоціює на протони та електрони. Протони

проходять крізь мембрану до катода, тоді як електрони спрямовуються по зовнішньому колу до споживачів електричної енергії. Цей рух електронів і є електричним струмом, що живить тяговий електродвигун автомобіля.

На катоді протони з'єднуються з електронами та киснем, унаслідок чого утворюється вода. Таким чином, єдиним продуктом роботи паливної комірки є вода та незначна кількість тепла. Відсутність процесів згоряння забезпечує високий коефіцієнт корисної дії та практично повну відсутність шкідливих викидів.

Паливна комірка працює у відносно вузькому діапазоні температур і навантажень, що вимагає точного керування подачею водню, кисню та відведенням тепла. Для цього використовується система охолодження, яка підтримує оптимальний тепловий режим та запобігає деградації мембрани.

### **3.4. Буферні накопичувачі енергії та електричний привід**

Для компенсації динамічних навантажень у силовій установці водневого автомобіля застосовується буферний накопичувач електричної енергії — акумуляторна батарея або суперконденсатори. Вони накопичують енергію під час рекуперативного гальмування та забезпечують додаткову потужність під час інтенсивного розгону.

Електричний привід водневого автомобіля за принципом роботи і конструкцією практично ідентичний приводу акумуляторного електромобіля. Силова електроніка забезпечує перетворення електричної енергії, виробленої паливною коміркою, у параметри, необхідні для живлення тягового електродвигуна. Таким чином, паливна комірка фактично виконує роль генератора постійного струму.

### **3.5. Взаємодія систем і особливості експлуатації**

Ефективна робота водневого автомобіля можлива лише за умови узгодженої взаємодії усіх систем силової установки. Електронна система керування аналізує режим руху, стан акумуляторної батареї, навантаження електродвигуна та параметри паливної комірки, регулюючи подачу водню та потоки електричної енергії.

До переваг водневих автомобілів належать висока екологічність, швидке поповнення запасу енергії та значний запас ходу. Водночас складність конструкції, висока вартість паливних комірок і обмежена інфраструктура водневих заправних станцій стримують їх широке впровадження.

### **Висновки**

Альтернативні силові установки автомобілів є складними багатокомпонентними системами, у яких тісно взаємодіють механічні, електричні та електронні елементи. Глибоке розуміння будови і принципів роботи гібридних, електричних та водневих силових установок є необхідною умовою підготовки фахівців у галузі автомобільного транспорту та подальшого розвитку сучасних транспортних технологій. Альтернативні силові установки автомобілів є складними багатокомпонентними системами, у яких тісно взаємодіють механічні, електричні та електронні елементи. Глибоке розуміння будови і принципів роботи гібридних, електричних та водневих силових установок є необхідною умовою підготовки фахівців у галузі автомобільного транспорту та подальшого розвитку сучасних транспортних технологій.