

5. Andy Ross. Making Stirling Engines, 3rd Edition. Ross Experimental, 1993.
6. Philips Technical Review (1947), Vol. 9, No. 4, p. 97.

*Науковий консультант Нікітченко Ігор Миколайович, к.т.н., зав. каф. ДВЗ,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет.*

Ронзик Ілля Олександрович, здобувач, гр. АД-41-22, Харківський національний  
автомобільно-дорожній університет  
[ad122rio@stud.khadi.kharkov.ua](mailto:ad122rio@stud.khadi.kharkov.ua)

## **ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ НА ЛЕГКОВОМУ АВТОМОБІЛІ**

### **Сутність та історичний огляд**

Застосування гібридних силових установок на автономних транспортних засобах має тривалу історію. Перший автомобіль цього типу був розроблений Фердинанд Порше, який у 1899 році отримав патент на гібридну установку, що поєднує електричну тягу з допоміжним двигуном внутрішнього згоряння, що забезпечує живлення електродвигунів та заряд акумуляторних батарей.

На сучасному етапі інтерес до гібридних транспортних засобів обумовлений не лише розвитком автомобілебудування, а й необхідністю підвищення екологічної безпеки та паливної економічності. Можливість їх широкого впровадження пов'язана з прогресом у галузі силової електроніки, накопичувачів енергії, електричних машин та інформаційно-керуючих систем.

З середини 1990-х років гібридні технології набули практичного розвитку, що пов'язано з появою серійних та демонстраційних моделей, таких як Honda Insight та Toyota Prius. В даний час більшість провідних автовиробників активно розвивають цей напрямок, незважаючи на відсутність єдиного підходу до проектування гібридних силових установок.

### **Тенденції розвитку екологічно чистого транспорту**

Сучасні підходи до створення екологічно чистих транспортних засобів включають вдосконалення традиційних двигунів внутрішнього згоряння, використання альтернативних джерел енергії, а також розробку електричних і гібридних автомобілів.

Незважаючи на значний прогрес, потенціал глибокої модернізації ДВЗ значно вичерпано, тоді як альтернативні рішення (наприклад, водневі паливні елементи або криогенні двигуни) обмежені високою вартістю або технічними складнощами.

Основними факторами, що стимулюють пошук нових рішень, є негативний вплив викидів на навколишнє середовище, особливо в умовах великих міст, а також виснаження традиційних паливних ресурсів та зростання їхньої вартості.

Дослідження показують, що розглядаються різні варіанти екологічно чистих транспортних засобів, включаючи:

- автомобілі на водневих паливних елементах;
- криогенні транспортні засоби;
- пневматичні системи;
- електромобілі (у тому числі із сонячними батареями);
- транспортні засоби з альтернативними накопичувачами енергії

Однак жоден із зазначених напрямків повною мірою не відповідає вимогам масового застосування. У зв'язку з цим гібридні силові установки розглядаються як найефективніше рішення, що дозволяє знизити витрату палива на 40–80 % та викиди CO<sub>2</sub> на 50–90 %.

### **Принцип побудови гібридних автомобілів**

Гібридна силова установка є комбінацією двигуна внутрішнього згоряння та електричної тягової системи. Таке поєднання забезпечує виконання сучасних екологічних вимог, включаючи норми типу Євро-6, а також підвищення паливної ефективності.

Основним завданням гібридизації є зниження токсичності вихлопу, збільшення ККД та скорочення витрати палива за збереження або підвищення потужності. Ефективність досягається рахунок перерозподілу навантажень: в режимах, що характеризуються низькою ефективністю ДВЗ, використовується електрична тяга чи комбінований режим роботи.

Додатково система управління оптимізує режими роботи ДВЗ, забезпечуючи його функціонування в галузі мінімальної витрати палива та викидів. Як тягові електродвигуни, як правило, застосовуються вентильні синхронні машини, що володіють високою питомою потужністю і компактністю.

### **Переваги гібридних автомобілів**

Гібридні автомобілі мають ряд істотних переваг у порівнянні з традиційними транспортними засобами:

- підвищення екологічної безпеки за рахунок використання електричної тяги та оптимізації режимів роботи ДВЗ;
- зниження витрати палива завдяки автоматичному відключенню двигуна на холостому ходу та при русі накатом;
- використання рекуперації енергії гальмування із перетворенням їх у електричну енергію;
- поліпшення динамічних характеристик рахунок додаткового крутного моменту електродвигуна;
- підвищення загального ККД рахунок оптимального управління енергетичними потоками.

Таким чином, гібридна силова установка забезпечує ефективну взаємодію двигуна внутрішнього згоряння та електричної тяги, що дозволяє суттєво покращити екологічні та експлуатаційні показники автомобіля [1].

### **Класифікація та архітектура гібридних систем**

Гібридизація базується на інтеграції додаткового джерела енергії, яке оптимізує роботу ДВЗ або повністю замінює його в режимах низької

ефективності (старт, затори). Виділяють чотири основні типи побудови систем, які наведено у таблиці 1.

### Концепція побудови гібридної силової установки

Сучасна гібридна силова установка включає такі основні компоненти:

- джерела енергії;
- тягові двигуни;
- перетворювачі енергії;
- системи управління та діагностики;
- інформаційні системи.

Таблиця 1. Класифікація та особливості застосування гібридної силової установки на легковому автомобілі

Тип архітектури	Особливості функціонування	Прикладні переваги
<b>Мікрогібриди</b>	Використання стартер-генератора малої потужності (2–4 кВт). Система Stop&Start, економія палива до 10%.	Система Stop&Start, економія палива до 10%.
<b>Паралельна схема</b>	Спільна робота ДВЗ та електродвигуна (до 25 кВт) на трансмісію.	Ефективність при інтенсивному розгоні, рекуперація енергії.
<b>Комбінована схема</b>	Розподіл енергії механічним (планетарним) або електричним шляхом.	Можливість руху виключно на електротязі, високий ККД.
<b>Послідовна схема</b>	ДВЗ не має прямого зв'язку з колесами, працюючи як генератор.	Стабільність режимів ДВЗ, можливість індивідуального керування колесами.

Ключову роль відіграє система управління, що забезпечує координацію всіх елементів на основі даних датчиків та реалізує алгоритми оптимізації енергетичних потоків.

Конструктивні рішення передбачають використання різних накопичувачів енергії, включаючи акумулятори та конденсатори, що підвищує ефективність рекуперації та знижує навантаження на основні джерела живлення [2, 3].

Практична реалізація гібридних систем включає розробку алгоритмів, що забезпечують:

- рух на електротязі за низьких швидкостей;
- автоматичне підключення ДВЗ зі збільшенням навантаження;
- рекуперацію енергії при гальмуванні;
- підтримка оптимальних режимів роботи силової установки.

В результаті досягається підвищення екологічності, економічності та ефективності транспортного засобу.

## **Гібридні установки з двотактним двигуном**

Зростання екологічного навантаження від автомобільного транспорту потребує розробки ефективних рішень щодо зниження викидів шкідливих речовин, особливо у міських умовах. Одним із таких рішень є застосування гібридних силових установок, що дозволяють компенсувати недоліки окремих типів двигунів за рахунок їх комбінування.

Гібридні системи можуть включати різні поєднання джерел енергії, проте найбільш поширеною є комбінація ДВЗ та електричного двигуна.

Існують три основні схеми гібридних установок:

- послідовна;
- паралельна;
- комбінована (split- схема).

Послідовна схема забезпечує роботу ДВЗ у стаціонарному режимі з мінімальною витратою палива, але характеризується зниженим ККД. Паралельна схема відрізняється вищим ККД, проте потребує ускладнення трансмісії. Найбільш перспективною є комбінована схема, що забезпечує баланс між ефективністю, керованістю та динамічними характеристиками.

Застосування малолітражних двигунів, у тому числі двотактних [4], у складі гібридних установок розширює область їх використання та дозволяє реалізувати оптимальні режими роботи двигуна.

## **Висновки**

Гібридні силові установки являють собою ефективний напрямок розвитку автомобільної техніки, що забезпечує зниження витрати палива і викидів шкідливих речовин при одночасному підвищенні експлуатаційних характеристик. Найбільш перспективними є комбіновані схеми, що дозволяють реалізувати оптимальний розподіл енергетичних потоків та забезпечити роботу двигуна внутрішнього згоряння найефективніших режимах.

## **Література**

1. Бажінов О. В. та ін. Гібридні автомобілі. Харків : ХНАДУ, 2008. 327 с.
2. Смирнов О. П. Тенденція создания екологічно чистого транспортного средства. *Автомобільний транспорт* : зб. наук. пр. Харків : РІО ХНАДУ, 2005. Вип. 17. С. 103–105.
3. Гутаревич Ю. Ф. та ін. Транспортні енергетичні установки. Київ : НТУ, 2015. 243 с.
4. Корогодський В. А. Визначення раціонального циклу та способу організації робочого процесу двигуна за навантажувальною характеристикою. *Вісник ХНАДУ*. 2020. Вип. 90. С. 80–94.

*Науковий консультант Корогодський В.А., професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, д-р техн. наук.*