

РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ГАЛЬМУВАННЯ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

© Миськів Т. Г., Янчик Н. Р., 2011

Розглянуто проблеми, пов’язані з рекуперацією енергії гальмування в гібридному приводі за допомогою стиснутого повітря. Запропонована система рекуперації енергії із періодичною трансформацією традиційного поршневого чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння у двотактний компресор чи пневматичний двигун залежно від режиму роботи.

Problems associated with energy braking recovery in a hybrid drive using compressed air were considered. The energy recovery system through the periodic transformation of traditional four-stroke internal combustion engine in two-stroke compressor or pneumatic engine depending on the mode operation was proposed.

Постановка проблеми. Боротьба з викидами парникових газів (обмеження на витрату палива) та дорожнеча бензину сприяють поширенню автомобілів з гібридним приводом, складовою частиною якого є система рекуперації енергії гальмування. Частина енергії гальмування запасасться в акумуляторі (електричному, пневматичному, гідравлічному чи механічному) і потім використовується для пуску двигуна, рушання автомобіля, його розгону тощо. У разі використання механічного акумулятора — маховика (наприклад, KERS на автомобілях Формули-1) механічна енергія не вимагає перетворення на інші види енергії, однак маховик достатньо швидко втрачає енергію. Серед малих і середніх гібридних приводів найперспективнішими вважають пневматичні гібриди, в яких на відміну від електричних чи гідравлічних, не потрібний допоміжний двигун, бо сам двигун внутрішнього згоряння може бути компресором чи пневматичним двигуном. Такий гібридний двигун-компресор за масою не відрізняється від звичайного і доповнюється резервуаром для стиснутого повітря.

Основними проблемами такого перетворення двигуна є:

- 1)двигун внутрішнього згоряння працює за чотиритактним циклом, а компресор і пневматичний двигун — за двотактним;
- 2)двотактний цикл компресора складається з тактів впуску і стиску, тоді як пневматичного двигуна — з тактів робочого ходу і випуску.

Аналіз відомих досліджень і публікацій. Розробленням і дослідженнями пневматичних гібридних приводів займаються багато фірм, серед яких виділяються американська Scuderі [1] і французька MDI [2]. Вказані проблеми вирішено використанням модифікованого чотиритактного двигуна, в якому такти розподілені між парою циліндрів: в одному з них — компресійному — впуск і стиск, а в другому — силовому — робочий хід і випуск (рис. 1). Стиснуте повітря надходить з компресійного циліндра в силовий чи пневматичний акумулятор крізь перепускний канал і систему клапанів. Така конструкція забезпечує гнучкість у роботі на різних режимах: нормальної роботи; накопичення енергії гальмування в пневматичному акумуляторі; високої ефективності у разі вимкнення компресійного циліндра і подавання стиснутого повітря з пневматичного акумулятора; круїзу з подаванням частини стиснутого повітря з компресійного циліндра у пневматичний акумулятор (при його заповненні двигун працює в режимі високої ефективності).

У режимі двигуна такт робочого ходу відбувається у силових циліндрах, а в режимі компресора такт стиску – в компресійних циліндрах, тобто в обох випадках тільки у половині з них. Однак з огляду на врівноважування схема кривошипно-шатунного механізму двигуна Scuderi не є оптимальною.

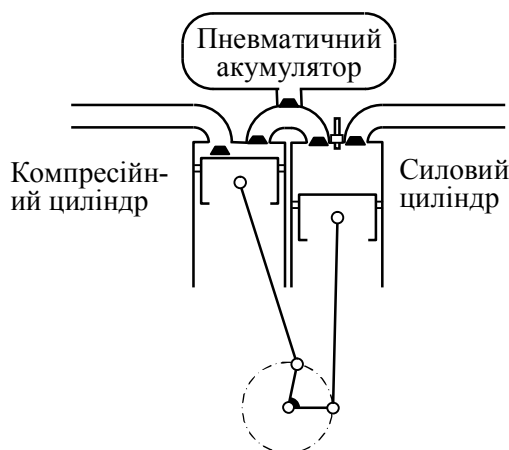
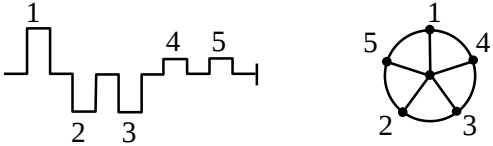
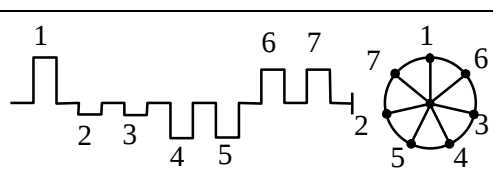


Рис. 1. Схема двигуна Scuderi

Постановка задачі. Автори пропонують інший спосіб перетворення традиційного поршневого двигуна внутрішнього згоряння на гібридний двигун-компресор. Новизною є поточна трансформація чотиритактного двигуна у двотактний компресор чи пневматичний двигун залежно від умов руху. Тоді в режимі компресора чи пневматичного двигуна працюють всі циліндри, що підвищує ефективність рекуперації енергії.

Основний матеріал. Відомо, що деякі рядні чотиритактні двигуни, наприклад, з кількістю циліндрів 3, 5, 7, мають таку саму схему колінчастого вала, як двотактні двигуни [3], але відрізняються послідовністю роботи циліндрів (таблиця).

Схеми колінчастих валів і послідовності роботи циліндрів деяких двигунів

Кількість циліндрів	Схема колінчастого вала	Двотактний двигун		Чотиритактний двигун	
		Кут між од-нойменними тактами, град	Порядок роботи циліндрів	Кут між од-нойменними тактами, град	Порядок роботи циліндрів
3		240	1-2-3	120	1-3-2
5		144	1-2-4-5-3	72	1-5-2-3-4
7		$102\frac{6}{7}$	1-2-4-6-7-5-3	$51\frac{3}{7}$	1-7-2-5-4-3-6

Такі двигуни можна застосувати як гібридний двигун-компресор, тобто чотиритактний двигун внутрішнього згоряння і двотактний компресор чи пневматичний двигун. Необхідна в цьому випадку зміна послідовності роботи циліндрів легко досягається електромагнітним приводом клапанів і електронною системою керування. Сьогодні електромагнітний привід клапанів газо-

розподілу на стадії натурних випробувань на концептуальних автомобілях і незабаром стане реальністю для серійних [4]. Аби зменшити споживання електричної енергії на привід клапанів, можна обійтись трициліндровим двигуном.

Розглянемо докладніше дію такого двигуна. Схема на рис. 2 відповідає режиму роботи чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння. Впускний канал кожного циліндра доповнений зворотним пластинчастим клапаном 1 і з'єднаний через електромагнітний клапан 2 з пневматичним акумулятором 3. Щоб досягти поставленої цілі, двигун також повинен мати механізм зміни ступеня стискування 4, як двигун SAAB [5].

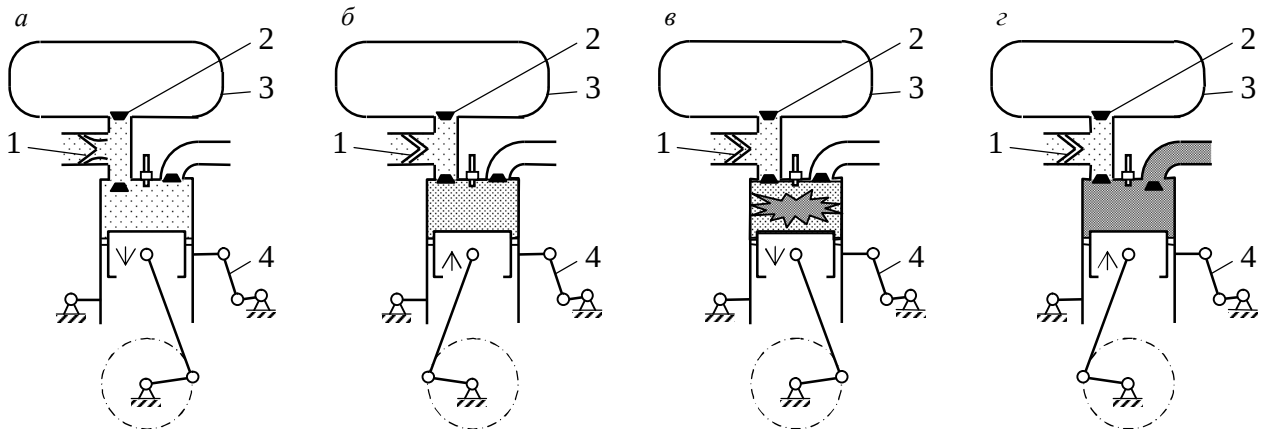


Рис. 2. Схема роботи в режимі чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння:
а — впуск; б — стиск; в — робочий хід; з — випуск

У режимі рекуперації енергії гальмування двигун працює з максимальним ступенем стискування як двотактний компресор: на такті впуску повітря надходить в циліндр крізь клапани 1 і 5, а на такті стиску повітря нагнітається у пневматичний акумулятор крізь клапани 5 і 2 (рис. 3).

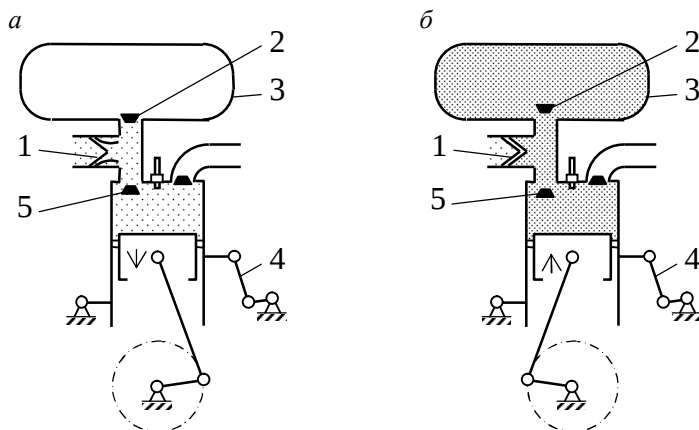


Рис. 3. Схема роботи в режимі двотактного компресора:
а — впуск; б — стиск

Акумулятовану у стисненому повітрі енергію можна використати для пуску двигуна чи приводу автомобіля, тобто можлива робота в режимі двотактного пневматичного двигуна: на такті робочого ходу стиснене повітря з пневматичного акумулятора надходить крізь клапани 2, 5 у циліндр, а на такті випуску повітря з циліндра виштовхується крізь клапан 6 в атмосферу (рис. 4).

Завдяки пневматичному акумулятору двигун внутрішнього згоряння може працювати також в двотактному режимі високої ефективності: такт робочого ходу відбувається внаслідок згоряння палива, а на такті випуску повітря з циліндра виштовхується крізь клапан 6 в атмосферу (рис. 5). Наприкінці такту випуску при відкритому клапані 6 відкриваються ще й клапани 2, 5, тож

відбувається продування циліндра. Тоді закривається клапан 6, тиск негайно зростає, закриваються клапани 2, 5, впорскується паливо, займається від електричної іскри свічки і швидко згоряє.

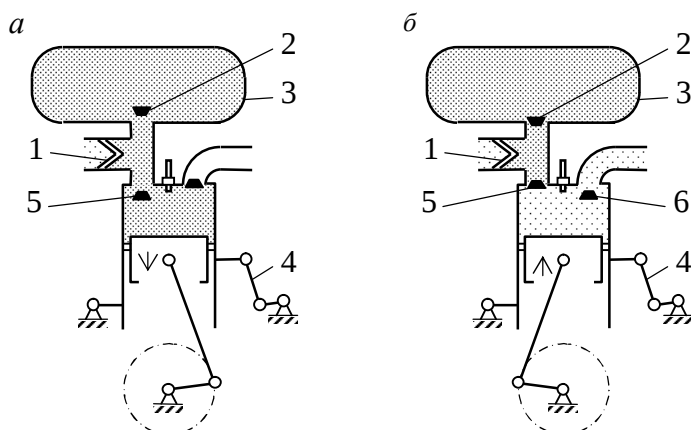


Рис. 4. Схема роботи в режимі двотактного пневматичного двигуна: а — робочий хід; б — випуск

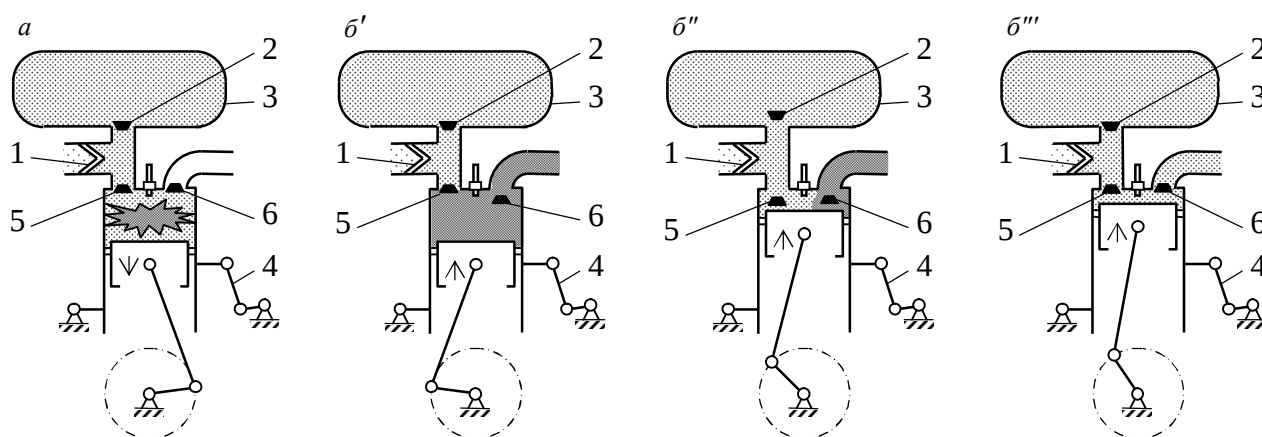


Рис. 5. Схема роботи в режимі двотактного двигуна внутрішнього згоряння високої ефективності: а — робочий хід; б', б'' б''' — фази випуску

Оскільки пневматичний акумулятор використовують у режимі високої ефективності, відсутні втрати на стискання повітря. Такий двотактний цикл ефективніший від двотактного циклу з тактами стиску і робочого ходу, де частина робочого ходу втрачена на газообмін у циліндрі.

Висновки. Запропонована система рекуперації енергії гальмування сприяє:

- 1) ефективнішому використанню чотиритактного поршневого двигуна під час рекуперації енергії гальмування його перетворенням на двотактний компресор чи пневматичний двигун;
- 2) у режимі високої ефективності, під час подавання стиснутого повітря з пневматичного акумулятора, працюють всі циліндри за двотактним циклом (робочий хід, випуск).

1. <http://www.scuderigroup.com/the-evolution/>. 2. <http://www.mdi.lu/moteurs.php>. 3. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности “Двигатели внутреннего сгорания” / Д. Н. Вырубов, С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко и др.; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1984. — 384 с. 4. Соснин Д. А., Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. — М.: Солон-пресс, 2005. — 240 с. 5. <http://motor.ucoz.net/publ/12-1-0-181>.