

УДК 621.43

DOI: 10.20998/0419-8719.2016.2.07

Т.М. Колеснікова, В.Г. Заренбін**АНАЛІЗ ДВИГУНІВ З МОДУЛЬНИМ ВІДКЛЮЧЕННЯМ ЦИЛІНДРІВ**

Розглядаються існуючі конструкції автомобільних двигунів, що реалізують різні способи відключення циліндрів. Виявлено недоліки і переваги двигунів з різними способами відключення циліндрів. Відмічається, що модульні двигуни мають найбільшу паливну економічність, однак вони відрізняються складністю та ненадійністю конструкції. Також наведено, що у безштанному двигуні з кривошипно-кулісним механізмом крім можливості підвищення ефективного ККД через малі механічні втрати, конструктивно простіше реалізується модульне відключення циліндрів.

Вступ

Пріоритетним напрямком розвитку автомобільних чотиритактних бензинових ДВЗ на сучасному етапі, як і раніше, є поліпшення їх паливної економічності і зниження токсичності відпрацьованих газів (ВГ). На сьогодні такі ДВЗ у процесі доробки і тривалої експлуатації прийшли до свого логічного завершення, класична схема з кривошипно-штанним механізмом (КШМ) вже не в змозі забезпечити подальше удосконалення двигуна і покращення його експлуатаційних властивостей, тобто резерви покращення показників сучасних ДВЗ практично вичерпано. Основною причиною погіршення економічних характеристик бензинових ДВЗ в часткових режимах є дроселювання суміші на впуску. Серед альтернативних способів регулювання навантаження можна виділити регулювання робочого об'єму двигуна шляхом зміни кількості працюючих циліндрів – так зване відключення циліндрів. В сучасному двигунобудуванні метод регулювання потужності відключенням циліндрів набуває широкого практичного застосування. Системи відключення групи циліндрів застосовують на двигунах багатьох провідних автомобілебудівних фірм. Найбільш перспективним вважається, так зване, модульне відключення циліндрів на малих і середніх навантаженнях, на яких двигун працює основну частину часу. Однак існують проблеми реалізації модульного відключення циліндрів в існуючих ДВЗ, а саме в модульних двигунах з

КШМ колінчасті вали відповідних модулів з'єднуються розміщеною поміж ними муфтою, до якої пред'являються дуже високі вимоги. Робота муфти повинна бути строго синхронізована з роботою систем (живлення, запалювання, газорозподілу) модулів, що підключаються, також модульний двигун значно поступається класичному ДВЗ по габаритам і масі, має дуже складну і ненадійну конструкцію.

На сьогодні дослідження ДВЗ з модульним відключенням циліндрів (модульних двигунів) ведуться в США, Німеччині, Японії, Швеції, Росії та ін. країнах.

У статті приведено аналіз двигунів з відключенням циліндрів.

Регулювання робочого об'єму двигуна

Як вже зазначалося вище, ДВЗ, що застосовуються на автомобільному транспорті працюють у постійно змінюваних навантажувальних режимах. При цьому більшість часу займають режими малих навантажень та холостого ходу. При цьому, номінальна потужність двигуна використовується лише частково. Як відомо з теорії ДВЗ, ефективна потужність двигуна, крім ефективного середнього тиску, тактності, частоти обертання, залежить також і від робочого об'єму двигуна. Тобто, за інших рівних умов, доцільно було б мати для кожного навантажувального режиму двигун з певним робочим об'ємом. Іншими словами, при зниженні навантаження робочий об'єм повинен зменшуватись і на-

впаки. Очевидно, що при такій постановці питання необхідність в дроселюванні суміші на впуску, тобто кількісного регулювання потужності в бензинових двигунах, відпадає. Тобто відпадає і вирішення питання погіршення показників ДВЗ на часткових режимах через зменшення кута відкриття дросельної заслінки. Існують два принципово різні шляхи вирішення даної проблеми: ступінчаста і плавна зміна робочого об'єму двигуна при змінюванні потрібного навантаження. Розглянемо більш докладно кожен з цих напрямків.

Плавне регулювання робочого об'єму

Робочий об'єм циліндра двигуна, як відомо, залежить від двох конструктивних параметрів: ходу поршня і діаметру циліндра. Очевидно, що регулювання робочого об'єму за рахунок зміни діаметру циліндра є неможливим. Змінний хід поршня можливо реалізувати при застосуванні специфічних силових механізмів. Серед двигунів відомо лише один варіант реалізований свого часу в дослідному зразку – п'ятициліндровий двигун з діаметром циліндра 85,7 мм і ходом поршня, що змінювався від 26 до 108 мм [1]. У цьому двигуні (рис.1) при зміні ходу поршня від 102 до 51 мм механічні втрати знижуються на 40 %, але при максимальному ході поршня вони більше на 14 % за втрати в класичному ДВЗ з КШМ того ж самого об'єму. Однак, основним недоліком даної конструкції є незрівноваженість двигуна.

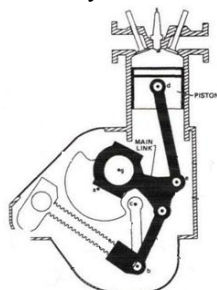


Рис. 1. Схема двигуна Poliot

Ідеї інших винахідників стосовно регулювання робочого об'єму двигуна за рахунок зміни ходу поршня знайшли відображення лише в патентних документах і практичної реалізації не отримали (наприклад, [2]).

Існує аксіальна схема силового механізму ДВЗ. Регулювання робочого об'єму в таких двигунах відбувається за рахунок зміни кута нахилу шайби. Двигуни подібних конструктивних схем були реалізовані інженерами австралійської фірми Scalzo [3].

В ході досліджень цих двигунів було отримано економію палива на рівні 25-30 %.

Ступінчасте регулювання робочого об'єму

На сьогодні відома велика кількість схем двигунів з КШМ, в яких застосовано ступінчасте змінення робочого об'єму за рахунок регулювання кількості працюючих циліндрів. Зміну кількості працюючих циліндрів можливо здійснити за кількома напрямками. Найпростішим способом є припинення подачі палива у відключені циліндри [4]. Широкі дослідження у цьому напрямку в різні часи проводились в Національному транспортному університеті (м. Київ). [5]. Сутність цього методу полягає у встановленні на ділянці між карбюратором і впускним клапаном заслінки, яка при необхідності відключення циліндру перекидає переріз відповідного впускного трубопроводу. Так, при відключенні паливоподачі в три циліндри з шести економічність двигуна в режимі холостого ходу покращується на 20,3 %. Модифікацією відключення паливоподачі є і так званий метод відключення окремих робочих циклів. Цей метод був запропонований у 60-х роках минулого сторіччя проф. П.І. Андрусенко, а потім отримав розвиток у роботах проф. А.З. Філіпова. [6]. Принципова відмінність такого методу регулювання навантаження від простого відключення паливоподачі полягає у тому, що подача палива у окремі циліндри вимикається на один чи декілька циклів. При цьому для отримання потрібної потужності варується кількість відключених циклів і тривалість такого відключення. Це дає змогу повністю виключити з конструкції двигуна дросельну заслінку. Однак, незважаючи на простоту таких методів відключення в працюючих циліндрах залишаються насосні втрати в клапанних щілинах. Тому, більш прогресивним, хоча й більш складним, є спосіб деактивації за рахунок повної зупинки газорозподілу у відключених циліндрах. Досягається це шляхом утримання клапанів газорозподілу у закритому стані. Системи подібних типів знайшли поширення у двигунах, що випускаються серійно (рис. 2).

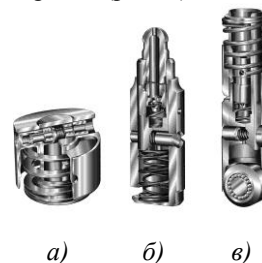


Рис. 2. Механізми зупинки клапанів газорозподілу: а – при верхньому розташуванні розподільчого валу і приводі клапанів штовхачем; б – при верхньому розташуванні розподільчого валу і приводі клапанів через важіль; в – при нижньому розташуванні розподільчого валу

На сьогоднішній день відомо три принципових способи зупинки газообміну шляхом утримання клапанів у закритому стані за рахунок застосування:

- штовхачів і гідроопор клапанів спеціальної конструкції [7];
- складених коромисел клапанів, наявність зв'язку між частинами яких визначається потребою у роботі даного циліндру [8];
- кулачків розподільчого валу, який має можливість переміщуватись в осьовому напрямку, різної форми.

Автовиробники відмічають покращення паливної економічності за рахунок застосування вищевказаних систем приблизно на 8-12 %.

Модульне відключення циліндрів

Доцільність використання саме терміну «модульне» відключення циліндрів, обумовлюється тим, що автомобільний двигун у цьому випадку розділяється на декілька (відповідно до кількості циліндрів) незалежних частин (секцій, модулів), які вступають в роботу по мірі підвищення навантаження. Під незалежністю частин (модулів) мається на увазі можливість зупинки поршня у будь-якій з них при збереженні робочого процесу в інших. Повна відсутність у відключених циліндрах втрат на тертя у циліндро-поршневій групі, а також втрат на газообмін (за рахунок зупинки поршня) – визначають суттєву перевагу модульного способу відключення циліндрів у порівнянні з іншими способами деактивації.

Слід відмітити, що незважаючи на очевидні переваги модульного способу відключення циліндрів, на сьогодні не знайдено конструкції двигуна, придатної для серійного виробництва. Однак, існує ряд патентних рішень цієї конструкторської задачі. Одним з перших можна вважати патент 1919 року [9], в якому шатун має телескопічну конструкцію, а жорсткий зв'язок між його частинами визначається положенням замка.

Складність і ненадійність самого механізму, а також системи керування, не дозволили цьому варіанту набути поширення.

Основну групу патентів по модульному відключенню циліндрів складають такі, в яких пропонується використовувати розрізний колінчастий вал, зв'язок між частинами якого забезпечується за допомогою спеціальних муфт. При цьому циліндри відключаються не по одинці, а групами.

Один з варіантів такої ідеї [10]. Зубчаста муфта виконана аналогічно з синхронізатору коробки передач (рис. 3). Синхронізація частин колінчастого вала за робочим процесом відбувається завдяки асиметричному розташуванню зубців зубчастої муфти, за швидкістю – за рахунок конічної тертьової поверхні.

вої поверхні.

Крім застосування механічних зубчастих і фрикційних муфт є також варіанти модульних конструкцій ДВЗ, в яких зв'язок між частинами колінчастого вала забезпечується електромагнітними муфтами.

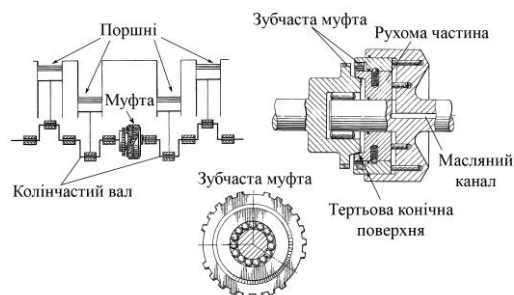


Рис. 3. Ідея розрізного колінчастого вала

Складності у створенні двигунів модульної конструкції з відключенням циліндрів шляхом зупинки поршнів відмічають і інші дослідники цієї технічної проблеми.

Таким чином, на сьогодні не знайдено прийнятної конструкції двигуна з модульним відключенням циліндрів. Однак, цінність проведених різними дослідниками експериментів на таких двигунах, доводить можливість досягнення суттєвого рівня економічності, за рахунок зупинки поршнів не менш, ніж 30 %.

Одним з можливих конструктивних варіантів двигуна, що дозволяє без суттєвих ускладнень застосувати модульну конструкцію, є безштанний ДВЗ, у якому замість звичайного кривошипно-шатунного механізму застосовується кривошипно-кулісний механізм [11].

Безштанний двигун з модульним відключенням циліндрів

Відмінною рисою схеми двигунів із кривошипно-кулісним механізмом є малі втрати на тертя у всьому діапазоні навантажень і частоти обертання, повна динамічна зрівноваженість і рівномірність ходу. Ці переваги пов'язані з тим, що в безштанному двигуні шток здійснює виключно прямолінійний рух, у зв'язку з чим бічні навантаження на поршень відсутні.

У безштанному двигуні робочий процес здійснюється як у звичайному чотиритактному бензиновому ДВЗ. Аналіз безштанного двигуна з кривошипно-кулісним механізмом показує, що в цьому двигуні, крім можливості підвищення ефективного ККД через малі механічні втрати, конструктивно простіше реалізується модульне відключення циліндрів.

Заключення

Проведений аналіз показав, що найбільш ефективним, з позиції покращення паливної економічності, є використання методу регулювання потужності за рахунок зміни робочого об'єму двигуна. Покращення паливної економічності при цьому сягає більше 30 %.

Відсутність на сьогоднішній день працездатних зразків автомобільних двигунів з регулюванням робочого об'єму обумовлена, насамперед, конфліктом між поліпшенням економічних показників і ускладненням конструкції та погіршенням масо-габаритних характеристик двигунів.

Перспективною конструкцією двигуна зі змінним робочим об'ємом, за рахунок відключення циліндрів шляхом зупинки поршня, є безшатунний ДВЗ із кривошипно-кулісним силовим механізмом.

Список літератури:

1. Poliot H.N. A variable-Displacement SI Engine / H.N. Poliot, W.R. Delameter, C.W. Robinson // SAE Congress - 1977. - № 770114. - 19 pp. 2. Thorvald N., Olson Ormsby, Variable volume. 1972 . Piston stroke control mechanism, William F. O'Dea. Pat. 3,633,429. 3. Joseph Scalzo, 1988. Wobble plate engine stabilizer mechanism. Patents Pty. Ltd. U.S. Pat 4,727,761. 4. Yasuo Nakajima, Internal combustion engine system with an air-fuel mixture shut off means. 1978. Pat. 4,106,471. 5. Разработка и исследование экспериментальной системы питания двигателя ЗМЗ-53 с отключаемыми цилиндрами. /Научный руководитель Гутаревич Ю.Ф. // Научный отчет НИР – 1984, КАДИ. № гос. регистрации 01.83.0077270. 6. Филиппов А.З. Повышение экономических и экологических показателей ДВС отключением отдельных рабочих циклов: Дис... д-ра техн. наук: 05.04.02. – К., 1996. – 460 с. 7. Ioan Manole, Burak A. Gecim, William C Albertson, Stop valves. 2006. Valve deactivator latching assembly. US. Pat. 7,111,597 B2. 8. Yoshihiro Fujiyoshi, Stop klapanov_razreznye rocker. 1997. Variable cylinder-operation controlled internal combustion engine. Pat. 5,636,609. 9. M. Marius-Jean-Baptiste-Julien, MOTBURS DIVBRS. 1919. Stoppage of piston. FR. Pat. 494.662. 10. Alan Cohan, SYNCHRONIZING AND INDEXING CLUTCH. 1978. Stoppage of piston .Clutch crankshaft. Pat. 4,069,803. 11. Мисченко Н.И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания. В 2-х томах. Т. 1.: Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания. – Донецк: «Лебедь», 1998 – 228 с.

494.662.10. Alan Cohan, SYNCHRONIZING AND INDEXING CLUTCH. 1978. Stoppage of piston .Clutch crankshaft. Pat. 4,069,803. 11. Мищенко Н.И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания. В 2-х томах. Т. 1.: Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания. – Донецк: «Лебедь», 1998 – 228 с.

Bibliography (transliterated):

1. Poliot, H.N., Delameter, W.R., Robinson, C.W. (1977) A variable-Displacement SI Engine. SAE Congress, № 770114, 19 pp. 2. Thorvald, N., Olson Ormsby, Variable volume. 1972 . Piston stroke control mechanism, William F. O'Dea. Pat. 3,633,429. 3. Joseph Scalzo, 1988. Wobble plate engine stabilizer mechanism. Patents Pty. Ltd. U.S. Pat 4,727,761. 4. Yasuo Nakajima, Internal combustion engine system with an air-fuel mixture shut off means. 1978. Pat. 4,106,471. 5. Gutarevich U.F. (1984) «Development and searching of experimental system of supplying engine ZMZ-53 with switched off cylinders», [Razrabotka I issledovanie eksperimental'noj sistemi pitaniya dvigatelja ZMZ-53 s otkluchaemimi cilindrami^ Nauchnij otchet NIR], Scientific report NIR, KADI. № gos. registration 01.83.0077270. 6. Fillipov A.Z. 1996, Increasing economical and ecological paramaters of ICE with switched off divided workable cycles: Dis... doctor of technical sciences:[Povishenie ekonomicheskikh I ekologicheskikh pokazatelej DVS otklucheniem otdelnih rabochih ciklov: Dissertacija doktora tehniceskikh nauk] 05.04.02. – Kiev, 460 p. 7. Ioan Manole, Burak A. Gecim, William C Albertson, Stop valves. 2006. Valve deactivator latching assembly. US. Pat. 7,111,597 B2. 8. Yoshihiro Fujiyoshi, Stop klapanov_razreznye rocker. 1997. Variable cylinder-operation controlled internal combustion engine. Pat. 5,636,609. 9. M. Marius-Jean-Baptiste-Julien, MOTBURS DIVBRS. 1919. Stoppage of piston. FR. Pat. 494.662. 10. Alan Cohan, SYNCHRONIZING AND INDEXING CLUTCH. 1978. Stoppage of piston .Clutch crankshaft. Pat. 4,069,803. 11. Mischenko N.I. (1998), Untraditional small-size engines of internal combustion. 2 volumes. V. 1. Theory, development and testing untraditional engines of internal combustion [Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания]. В 2-х томах. Т. 1.: Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания], Donezk, «Lebed», 228 p.

Надійшла до редакції 09.06.2016 р.

Колеснікова Тетяна Миколаївна – канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: tnk2704@mail.ru.

Заренбін Володимир Георгійович – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри експлуатації та ремонту машин Придніпровської державної академії будівництва та архітектури, Дніпропетровськ, Україна, e-mail: zvg@mail.pgasa.dp.ua

АНАЛИЗ ДВИГАТЕЛЕЙ С МОДУЛЬНЫМ ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ

Т.Н. Колесникова, В.Г. Заренбин

Рассмотрены существующие конструкции автомобильных двигателей, в которых реализуются различные способы отключения цилиндров. Выявлены недостатки и преимущества двигателей с различными способами отключения цилиндров. Отмечено, что модульные двигатели имеют наибольшую топливную экономичность, однако они отличаются сложностью и ненадежностью конструкции. Также приведено, что в бесшатунном двигателе с кривошипно-кулісним механізмом кроме возможности повышения эффективного КПД, из-за малых механических потерь, конструктивно проще реализуется модульное отключение цилиндров.

ANALYSIS OF ENGINES WITH MODULE DISCONNECTING OF CYLINDERS

T.N. Kolesnikova, V. G. Zarenbin

Regarded the constructions of automobile engines existed, in which the different processes of cylinder's disconnection take place. Found the disadvantages and pluses of engines with different methods of cylinder's disconnection. Marked that module engines have the highest fuel economy, but they are different with their ability to be more complex and unreliable construction. Also shown that in the crank-rocker engine without piston-rod has not only a possibility of increasing of effective Energy conversion efficiency because of low mechanical losses, where the module cylinder's disconnection is implemented more easily.