

УДК 621.43

В. С. Шляхов

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ
«Донецький національний технічний університет», м. Горлівка

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЮВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Проведено огляд існуючих способів геометричної зміни робочого об'єму автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. Описано конструкцію безшатунного двигуна з механізмом модульного відключення циліндрів, який розроблено на кафедрі «Автомобільний транспорт» АДІ ДВНЗ «ДонНТУ». Наведено деякі результати дослідження фізичної моделі механізму модульного відключення циліндрів на безмоторній установці.

Ключові слова: відключення циліндрів, модульна силова установка, безшатунний двигун, механізм відключення циліндрів, фізична модель, безмоторна установка, дослідження

Вступ

Одним із основних вирішальних факторів у конкурентній боротьбі автовиробників за ринок збуту своєї продукції є витрата палива. В якості джерела енергії на сучасному автомобільному транспорті застосовуються двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), при цьому очевидно, що прийнятних альтернатив на сьогодні їм немає. Однак резерви поліпшення паливної економічності класичних двигунів практично вичерпано. Одним із дієвих шляхів покращення економічних показників ДВЗ є відключення частини працюючих циліндрів на часткових режимах їх роботи. При цьому, найбільш ефективним є так зване модульне відключення циліндрів (із зупинкою поршнів), реалізація якого в двигунах із традиційним кривошипно-шатунним механізмом являє складну конструкторську проблему. В Автомобільно-дорожньому інституті ДВНЗ «ДонНТУ» на кафедрі «Автомобільний транспорт» під керівництвом д-ра техн. наук, проф. М. І. Міщенко ведуться дослідження щодо можливості застосування модульного відключення циліндрів у двигунах із нетрадиційними силовими механізмами.

Постановка проблеми

Двигуни наземних транспортних машин працюють у широких діапазонах навантажувальних режимів, але найбільша паливна економічність їхньої роботи досягається на режимах, що складають приблизно 70–80 % від максимальної потужності. Зі зниженням навантаження в двигунах із кількісним регулюванням потужності дроселювання паливоповітряної суміші призводить до погіршення їх показників, головним чином, за рахунок підвищення насосних втрат. У двигунах з якісним регулюванням потужності при переході на часткові режими, особливо на режими знижених частот обертання, спостерігається зниження тиску впорскування, з одного боку, і циклової подачі, з іншого, що призводить до погіршення якості процесу паливоподачі, зокрема, збільшення відносної частки груборозпилюваного палива і, в остаточному підсумку, погіршення процесу сумішоутворення й згоряння палива.

Наведені вище аргументи стимулюють як пошук нових технічних рішень, так і розвиток раніше відомих способів підвищення економічності ДВЗ, що добре себе зарекомендували. Одним із них є регулювання робочого об'єму двигуна шляхом відключення частини працюючих циліндрів у залежності від навантажувального режиму.

© Шляхов В. С., 2012

Основна частина

На рисунку 1 наведено схему, що ілюструє можливі варіанти зміни робочого об'єму двигуна (при цьому мова йде про геометричну зміну).

Плавне регулювання робочого об'єму, тобто зміна схеми силового механізму являє собою складну конструкторську проблему, саме тому на сьогоднішній день не існує серійних двигунів даної схеми. В якості експериментальних зразків таких двигунів можна привести Poliot [1], Scalzo [2], НАМИ АР-5.2 [3], GoEngine [4]. Крім того, таким двигунам притаманні недоліки, що пов'язані з незрівноваженістю двигуна в цілому, надійністю силового механізму, складністю системи керування. Незважаючи на це, економія 25 % палива в таких двигунах є експериментально доведеним фактом [2].



Рисунок 1 – Схема регулювання робочого об'єму ДВЗ

Ступінчасте регулювання робочого об'єму може бути організовано шляхом відключення частини працюючих циліндрів на режимах часткових навантажень. Ті циліндри, що залишаються в роботі працюють із більшим навантаженням. У роботі [5] авторами вже було розглянуто переваги та недоліки кожного зі способів відключення циліндрів (ВЦ). На сьогоднішній день ВЦ уже застосовано на деяких серійних двигунах. ВЦ у них здійснюється шляхом впливу на органи газорозподілу, а саме застосуванням:

- штовхача спеціальної конструкції (системи Multi-Displacement System – фірма Chrysler, США [6]; Displacement on Demand – фірма General Motors, США [6]);
- коромисла приводу клапана складеної конструкції (системи Active Cylinder Control – фірма Daimler AG, Німеччина [6]; Variable Cylinder Management – фірма Honda, Японія [6]);
- кулачків розподільчого вала різних профілів (система Zylinderabschaltung – фірма Volkswagen, Німеччина [7]).

Економія палива при такій організації ВЦ складає, по інформації виробників, 10–12 %. Такий відносно незначний ефект економії палива обумовлений, насамперед, збереженням втрат на тертя в циліндро-поршневій групі. Більш ефективним способом ВЦ є застосування модульної конструкції двигуна, при якій двигун складається з незалежних циліндрів-модулів, що включаються в роботу по мірі підвищення навантаження. Відключення циліндрів у цьому випадку здійснюється шляхом зупинки деталей поршневої групи. У ро-

боті [8] експериментально доведено, що економія палива в міських умовах при застосуванні модульної силової установки (МСУ) на базі двох роторно-поршневих двигунів сягає понад 30 %. Однак, як указує автор роботи [9], покращення паливної економічності ДВЗ шляхом застосування МСУ пов'язано із суттєвим ускладненням його конструкції. На сьогоднішній день реалізація МСУ в двигунах традиційної конструкції можлива або шляхом застосування так званого «розрізного» колінчастого вала [10], або шляхом з'єднання двох або більше стандартних двигунів. Обидва ці способи неприйнятні з точки зору як складності їх конструктивної реалізації, так і з міркувань погіршення їх масо-габаритних та компоновальних показників. Крім того, ДВЗ із традиційним кривошипно-шатунним механізмом практично вичерпали свій резерв покращення економічних та екологічних властивостей, саме тому, можливо, двигунобудування в своєму подальшому розвитку звернеться до двигунів із силовими механізмами нетрадиційних схем.

Безштанний двигун

Одним із нетрадиційних ДВЗ є безштанний двигун, що розроблений під керівництвом д-ра техн. наук, проф. М. І. Міщенко. У ньому замість кривошипно-штанного механізму застосовано кривошипно-кулісний силовий механізм (ККМ) [11]. Такий силовий механізм дозволяє реалізувати модульну конструкцію двигуна без суттєвих ускладнень. На кафедрі «Автомобільний транспорт» АДІ ДВНЗ «ДонНТУ» розроблено механізм модульного відключення циліндрів (МВЦ) і в теперішній час ведуться роботи по його дослідженню.

На рисунку 2 представлено схему безштанного двигуна з механізмом МВЦ конструкції АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

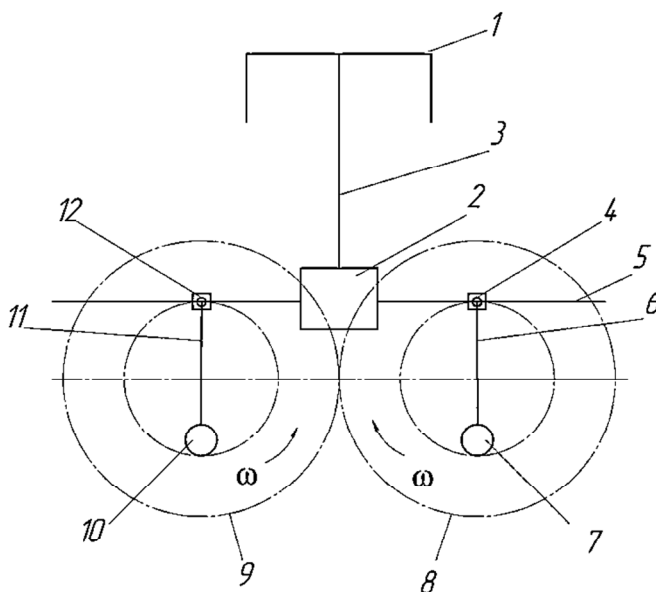


Рисунок 2 – Безштанний двигун із механізмом модульного відключення циліндрів

1 – поршень; 2 – механізм модульного відключення циліндрів; 3 – шток;
4, 12 – повзуни; 5 – куліса; 6, 11 – силовий і допоміжний колінчасті вали; 7, 10 – противаги;
8, 9 – шестерні синхронізуючі

Керування роботою механізму МВЦ безштанного двигуна здійснюється так званою системою МВЦ. Характеристичні карти керування її роботою можуть бути інтегровані до штатного електронного блоку керування (ЕБК) роботою двигуна, або ж виділені в окремий локальний модуль управління системою МВЦ. Незалежно від цього, стандартні датчики контролю робочих параметрів двигуна першорядного призначення, використовуються й для управління роботою системи МВЦ. На основі сигналів від цих датчиків ЕБК визначає можливість активації системи МВЦ. Її функціональну схему наведено на рисунку 3.

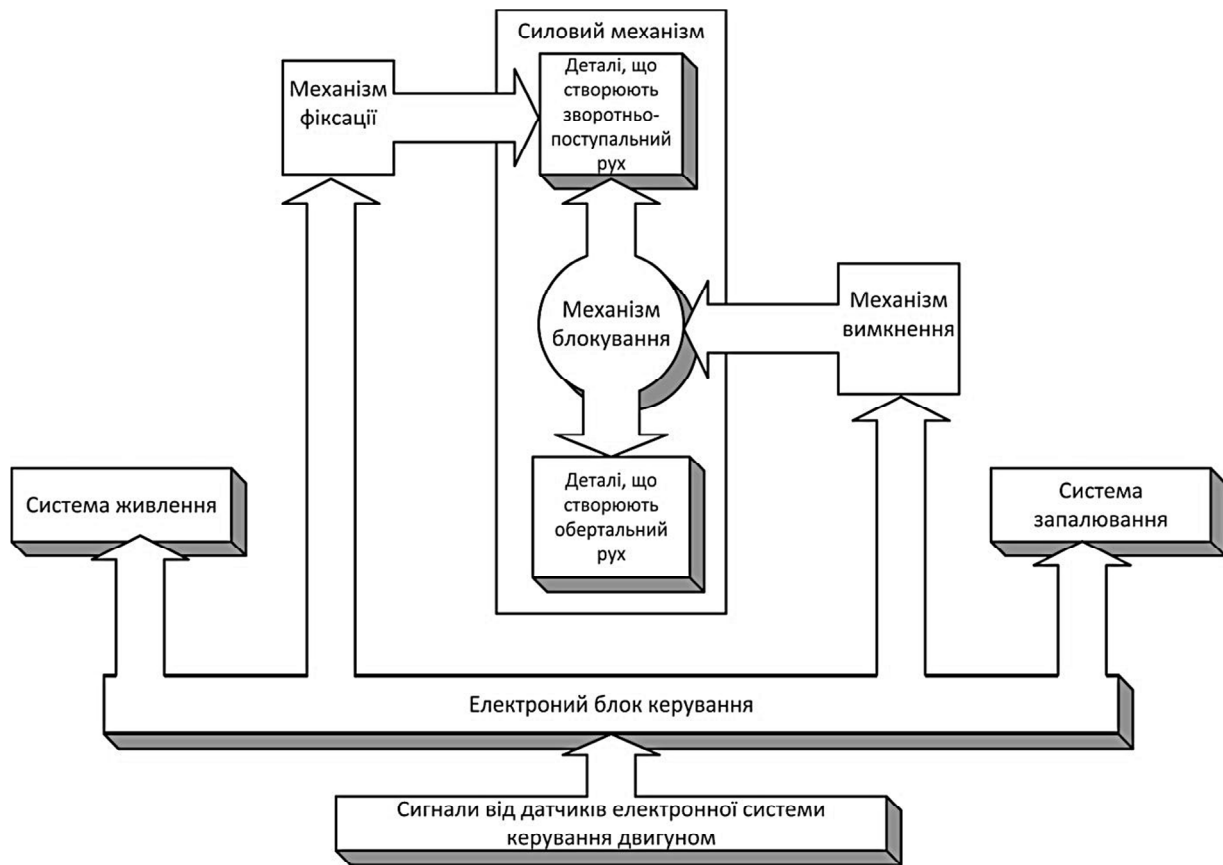


Рисунок 3 – Система модульного відключення циліндрів у безштанному двигуні

Оснoву системи МВЦ складають три механізми – вимкнення, блокування та фіксації. Конструктивно ці механізми відокремлені один від одного та являють собою самостійні завершені вузли. Розміщення їх у двигуні обумовлено насамперед функціональними особливостями кожного із цих механізмів.

Механізм блокування в працюючому циліндрі забезпечує кінематичний зв'язок між деталями силового механізму, що створюють обертальний та зворотно-поступальний рух. Він може бути розміщений, наприклад, у кулісі, при цьому здійснюється блокування куліси зі штоком.

Механізм вимкнення слугує для розриву кінематичного зв'язку між деталями силового механізму, шляхом впливу на механізм блокування. Ця частина системи МВЦ, на відміну від механізму блокування, може бути розміщена на нерухомих частинах двигуна (наприклад, циліндр, картер).

Застосування пристрою фіксації обумовлено, насамперед, виключенням можливості удару вимкненого поршня зі штоком в органи газорозподілу (клапани) в момент відключення циліндра, а також для фіксації зупиненого поршня силового механізму від його переміщення під дією вібрацій двигуна і, зрештою, неконтрольованого включення деактивованого циліндра в роботу.

ЕБК, отримуючи інформацію про експлуатаційні параметри двигуна від штатних датчиків системи керування, порівнює їх із нормативними значеннями, що занесені до характеристикних карт системи МВЦ і, в кінцевому підсумку, активує цю систему шляхом подачі сигналу на механізм вимкнення, який у свою чергу діє на механізм блокування. Результатом спрацьовування пристрою вимкнення є розблокування деталей силового механізму. Одночасно із цим сигнал на спрацьовування від ЕБК надходить і на механізм фіксації, який після зупинки поршня фіксує його.

У зв'язку з відсутністю термодинамічних процесів у відключених циліндрах, разом із активацією системи МВЦ, ЕБК також посилає сигнали на деактивацію форсунок упорскування палива та відключення подачі іскри на свічки запалювання неактивних циліндрів.

На попередньому етапі була створена та досліджена на безмоторній установці фізична модель механізму МВЦ. Основним критерієм оцінки ефективності механізму було прийнято час його спрацьовування. Імітація режиму роботи двигуна на безмоторній установці здійснювалась за допомогою навантажувального пристрою, конструктивна схема якого зображена на рисунку 4. Сила F , що створюється гвинтовим пресом 16, передається через направляючу 6, сильфон 7 та корпус 9 на верхню платформу 1 навантажувального пристрою. У результаті цього пружини 3, 4, 5 стискаються й створюване при цьому зусилля передається через нижню направляючу на механізм МВЦ. У гідравлічний контур сильфон – з'єднувальна трубка – блок датчиків, який заповнено дизельним паливом, вмонтовано два датчики: один для вимірювання статичного, а другий – динамічного значення сили F . У процесі дослідження навантаження на механізм змінювалося від 50 до 1500 Н.

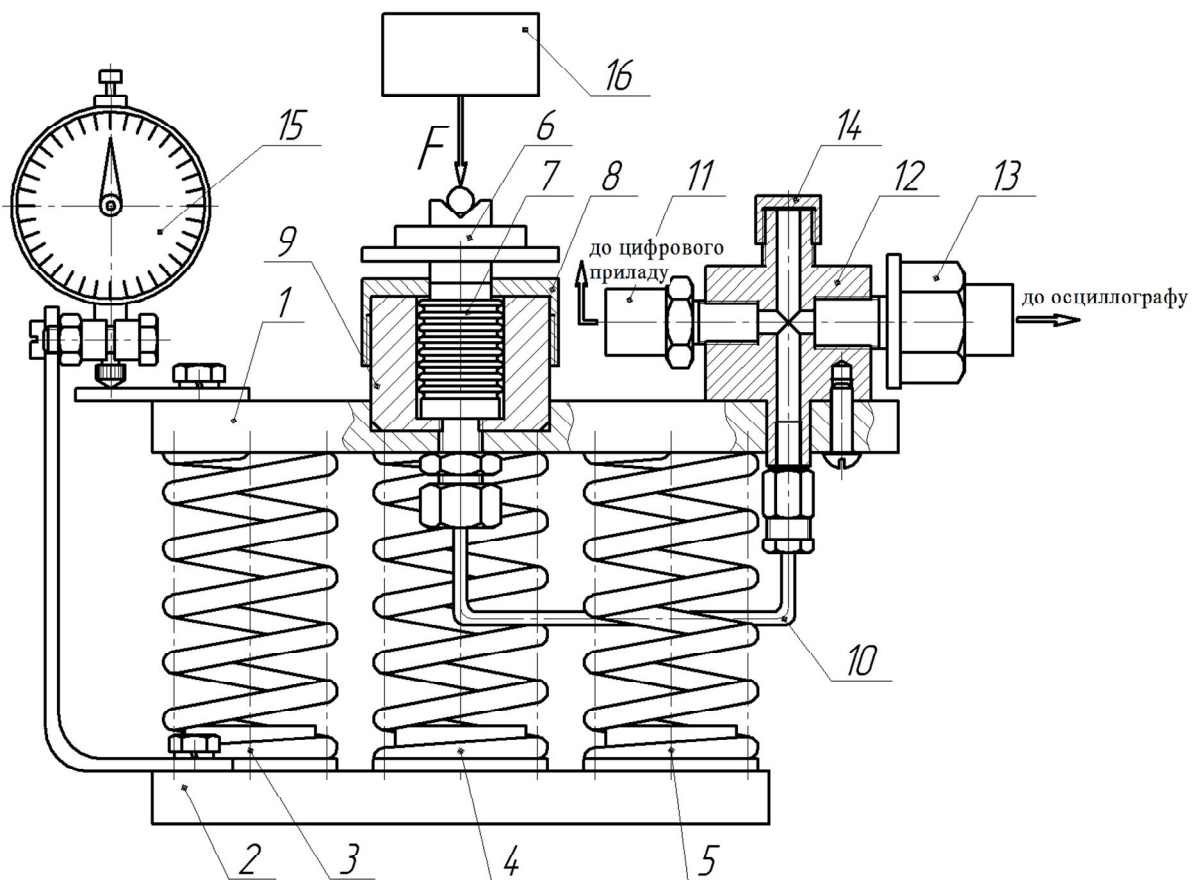


Рисунок 4 – Конструктивна схема навантажувального пристрою
 1, 2 – верхня та нижня платформи; 3, 4, 5 – пружини; 6 – направляюча;
 7 – сильфон; 8, 14 – кришка; 9 – корпус; 10 – з'єднувальна трубка; 11 – датчик для
 вимірювання статичного значення сили F ; 12 – корпус блоку датчиків; 13 – датчик для
 вимірювання сили F у процесі спрацьовування механізму;
 15 – індикатор годинникового типу; 16 – гвинтовий прес

У результаті проведених експериментальних досліджень отримано ряд осцилограм. В якості прикладу на рисунку 5 зображено осцилограму при навантаженні на механізм 1000 Н.

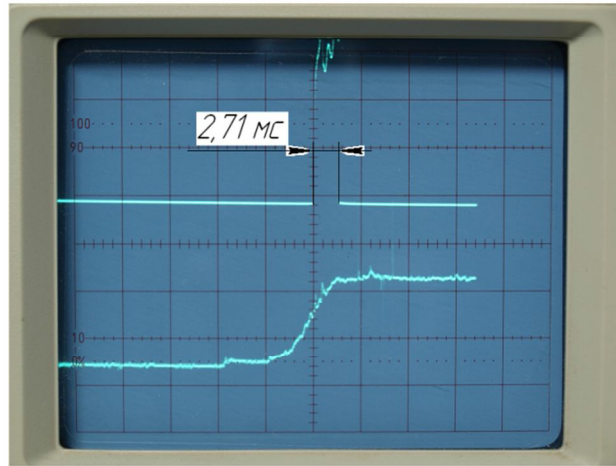


Рисунок 5 – Осцилограма часу спрацьовування механізму МВЦ

У даному випадку час спрацьовування механізму складає 2,71 мс. У результаті обробки експериментальних даних було побудовано графік залежності часу спрацьовування механізму МВЦ у залежності від навантаження, який зображено на рисунку 6.

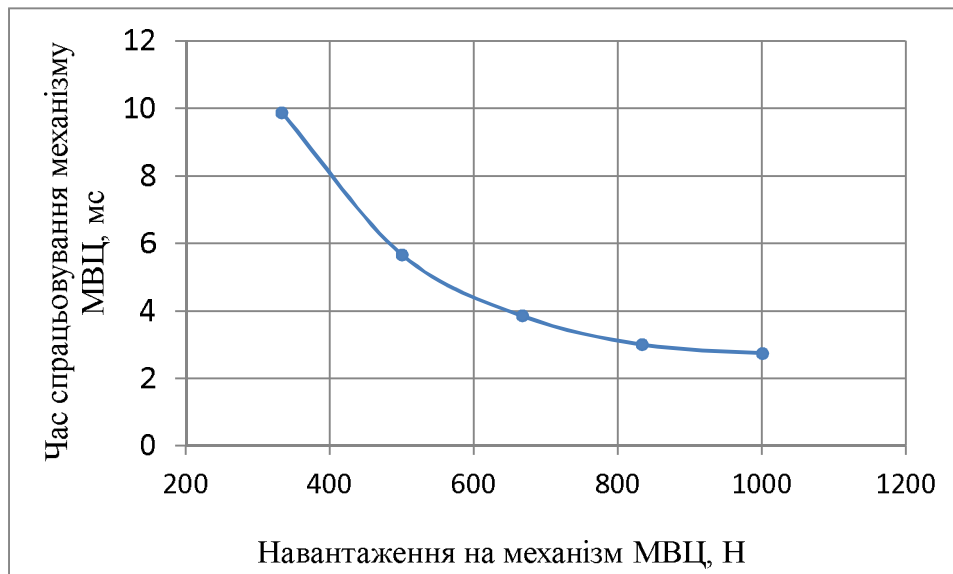


Рисунок 6 – Залежність часу спрацьовування механізму МВЦ від навантаження

Висновки

Проведений огляд варіантів геометричної зміни робочого об'єму ДВЗ показав, що найпоширеним із них на сучасних автомобільних двигунах є метод відключення циліндрів, при цьому найбільш ефективним було б застосування так званого модульного відключення циліндрів шляхом зупинки поршня (економія палива близько 30 %). Однак його практична реалізація має певні конструкторські проблеми, вирішити які можливо шляхом застосування в двигунах нетрадиційних схем силових механізмів. Одним із таких двигунів є безштантунний двигун із ККМ. Аналіз безштантунного двигуна із системою МВЦ дозволяє стверджувати, що застосування в ньому модульного відключення циліндрів не веде до суттєвого ускладнення конструкції. Дослідження фізичної моделі МВЦ на безмоторній установці показує, що час спрацьовування механізму становить близько 2,7 мс при навантаженні на механізм в 1000 Н, що дозволяє зробити висновок про можливу ефективність застосування механізму МВЦ конструкції АДІ ДВНЗ «ДонНТУ» у двигунах нетрадиційних схем.

Список літератури

1. Pouliot H. N. Displacement Spark-Ignition Engine: Final Report Sandia Laboratories / H. N. Pouliot, C. W. Robinson, W. R. Delameter. – Livermore, California, 1978. – 83 p. – Report № SAND 77-8299.
2. Пат. 4727761 США, МПК F16H 23/00. Wobble plate engine stabilizer mechanism / заявитель Joseph Scalzo; патентообладатель Scalzo Patents Pty. Ltd. – № 30443; заявл. 25.03.1987; опубл. 1.03.1988.
Pat. 4727761 SSNA, МПК F16H 23/00. Wobble plate engine stabilizer mechanism / заявитель Joseph Scalzo; patentoobladatel Scalzo Patents Pty. Ltd. – № 30443; заявл. 25.03.1987; opubl. 1.03.1988.
3. Кутенев В. Ф. Аксиальные двигатели – новые решения, новые возможности / В. Ф. Кутенев, М. А. Зленко, Ю. А. Романчев // Исследование, конструирование и расчет тепловых двигателей внутреннего сгорания: сб. научн. тр. – М.: ГНЦ ФГУП «НАМИ», 1995. – С. 3–12.
Kutenev V. F. Aksialnyye dvigateli – novyye resheniya, novyye vozmozhnosti (Axial engines – new solutions, new possibilities) / V. F. Kutenev, M. A. Zlenko, Yu. A. Romanchev // Issledovaniye, konstruirovaniye i raschet teplovykh dvigateley vnutrennego sgoraniya: sb. nauchn. tr. – М.: GNTS FGUP “NAMI”, 1995. – С. 3–12.
4. Пат. 6349684B1 США, МПК F16H 21/36. Reciprocating piston mechanism and a method of increasing internal engine and an internal combustion engine / заявитель De Gooijer Lambertus H.; патентообладатель B. V. Gomecsys. – № 09/700635; заявл. 9.12.1999; опубл. 16.11.2000.
Pat. 6349684B1 SSNA, МПК F16H 21/36. Reciprocating piston mechanism and a method of increasing internal engine and an internal combustion engine / заявитель De Gooijer Lambertus H.; patentoobladatel B. V. Gomecsys – № 09/700635; заявл. 9.12.1999; opubl. 16.11.2000.
5. Автомобильные двигатели с отключением цилиндров. Конструкции, анализ / Н. И. Мищенко, В. С. Шляхов, В. Л. Супрун и др. // Вестник СевНТУ. Серия «Машиноприборостроение и транспорт»: сб. научных трудов. – 2011. – Вып. 122. – С. 163–166.
Avtomobilnyye dvigateli s otklyucheniyem tsilindrov. Konstruktsii, analiz (Automobile engines with cylinder cutout. Constructions, analysis) / N. I. Mishchenko, V. S. Shlyakhov, V. L. Suprun i dr. // Vestnik SevNTU. Seriya “Mashinopriborostroyeniye i transport”: sb. nauchnykh trudov. – 2011. – Вып. 122. – С. 163–166
6. Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://autospeed.com/cms/title_Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2/A_2623/article.html.
Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2 [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://autospeed.com/cms/title_Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2/A_2623/article.html.
7. Zylinderabschaltung (ZAS) im 1.4 TSI: Volkswagen präsentiert neuste Effizienztechnologie [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krafthand.de/aktuell/details/article/zylinderabschaltung.html>.
Zylinderabschaltung (ZAS) im 1.4 TSI: Volkswagen präsentiert neuste Effizienztechnologie [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.krafthand.de/aktuell/details/article/zylinderabschaltung.html>.
8. Кутенев В. Ф. На испытаниях МСУ / В. Ф. Кутенев, Н. В. Решетцев, А. М. Шевкун // За рулем. – 1990. – № 6. – С. 10–11.
Kutenev V. F. Na ispytaniyakh MSU (Modular power unit on test) / V. F. Kutenev, N. V. Reshetsev, A. M. Shevkun // Za rulem. – 1990. – № 6. – С. 10–11.
9. Зленко М. А. Теория и практика создания двигателей внутреннего сгорания с регулируемым рабочим объемом: дисс. ... доктора техн. наук: 05.04.02 / М. А. Зленко. – М., 2006. – 297 с.
Zlenko M. A. Teoriya i praktika sozdaniya dvigateley vnutrennego sgoraniya s reguliruyemym rabochim obyomom: diss. ... doktora tekhn. nauk: 05.04.02 (The development of internal combustion engines with controlled cubic capacity in theory and practice: diss. ...of a Doctor of Engineering Science: 05.04.02) / M. A. Zlenko. – М., 2006. – 297 s.
10. Пат. 4069803 США, МПК F02B 75/18. Synchronizing and indexing clutch / заявитель Roy S. Cataldo; патентообладатель General Motors Corporation. – № 759996; заявл. 17.01.1977; опубл. 24.01.1978.
Pat. 4069803 SSNA, МПК F02B 75/18. Synchronizing and indexing clutch / заявитель Roy S. Cataldo; patentoobladatel General Motors Corporation. – № 759996; заявл. 17.01.1977; opubl. 24.01.1978.
11. Мищенко Н. И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания: в 2 т. / Н. И. Мищенко. – Донецк: Лебедь, 1998. – Т.1: Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания. – 1998. – 228 с.
Mishchenko N. I. Netraditsionnyye malorazmernyye dvigateli vnutrennego sgoraniya: v 2 t. (Non-conventional small-sized internal combustion engines: in 2 vol.) / N. I. Mishchenko. – Donetsk: Lebed, 1998. – Т. 1: Teoriya, razrabotka i ispytaniye netraditsionnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya (Vol. 1: Theory, development and test of non-conventional internal combustion engines). – 1998. – 228 s.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. М. І. Міщенко, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 13.11.12

В. С. Шляхов

Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ

«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

Перспективы и пути совершенствования автомобильных двигателей внутреннего сгорания

Проведен обзор существующих способов геометрического изменения рабочего объема автомобильных двигателей внутреннего сгорания, в результате которого доказано преимущество двигателей с модульным отключением цилиндров. Описана конструкция бесшатунного двигателя с механизмом модульного отключения цилиндров, разработанного на кафедре «Автомобильный транспорт» АДИ ГВУЗ «ДонНТУ». Приведены результаты исследования физической модели механизма модульного отключения цилиндров на безмоторной установке, в частности показано, что время срабатывания механизма не превышает 3 мс.

ОТКЛЮЧЕНИЕ ЦИЛИНДРОВ, МОДУЛЬНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА, БЕСШАТУННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, МЕХАНИЗМ ВЫКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ, ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, БЕЗМОТОРНАЯ УСТАНОВКА, ИССЛЕДОВАНИЯ

V. S. Shlyakhov

Automobile Transport and Highway Engineering Institute of

Donetsk National Technical University, City of Gorlovka

Perspectives and Ways of Automobile Internal Combustion Engines Improvement

A review of existing methods of geometric changes of the working volume of automobile internal combustion engines as a result of which the advantage of engines with a modular cutout of cylinders is proved. The preconditions of load control in petrol and diesel engines in the partial modes by changing their cubic capacity under the part of the working cylinder cutout condition are also proved. It is shown that while carrying out the existing ways of cylinders cutout analysis one of the most effective of them is cylinder deactivation by stopping the piston motion. The design of the conrod free engine with the system of modular cutout of cylinders is described. The functional scheme of the cylinders modular cutout mechanism is given. The cylinders modular cutout mechanism is developed at the Motor Transport Department of the Automobile and Road-Transport Institute of the State Institution of Higher Education of Donetsk National Technical University. The function of each elements of mechanism is described. The results received at the previous stage by making the analysis concerning the physical model of mechanism of cylinders modular cutout on engineless device are given. The design of some elements of motorless device is described. The analysis of the results received during processing the oscillograms shows that time of mechanism functioning is not above 3 msec under condition of 1 kN load on the mechanism.

CYLINDER CUTOUT, MODULAR POWER UNIT, CONROD FREE ENGINE, CYLINDER CUTOUT MECHANISM, PHYSICAL MODEL, MOTORLESS DEVICE, RESEARCHES