УДК 621.43

Шляхов В.С., аспірант
АДІ ДВНЗ «ДонНТУ»

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.

Вступ

Одним з основних вирішальних факторів в 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 з дієвих шляхів покращення економічностних 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 з традиційним кривошипно-шатунним механізмом являє складну конструкторську проблему. В Автомобільно-дорожньому інституті ДВНЗ «ДонНТУ» на кафедрі «Автомобільний транспорт» під керівництвом д.т.н., проф. Міщенка М. І. ведуться дослідження щодо можливості застосування модульного відключення циліндрів в двигунах з 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 з кількісним регулюванням потужності дроселювання паливо-повітряної суміші призводить до погіршення їх показників, головним чином, за рахунок підвищення насосних втрат. В двигунах з якісним регулюванням потужності при переході на часткові режими, особливо на режими знижених частот обертання, спостерігається зниження тиску упорскування, 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 з них є регулювання робочого об'єму двигуна, шляхом відключення частини працюючих циліндрів, в залежності від навантажувального режиму.

Основна частина

На рис. 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, пов'язані з незрівноваженністю 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 з більшим навантаженням. В роботі [5] авторами вже було розглянуто переваги та недоліки кожного з способів відключення циліндрів (ВЦ). На сьогоднішній день ВЦ вже застосовано на деяких серійних двигунах. ВЦ в 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, Германия [6]; Variable Cylinder Management – фірма Honda, Япония [6]);

– кулачків розподільчого вала різних профілів (система Zylinderabschaltung – фірма Volkswagen, Германия [7]).

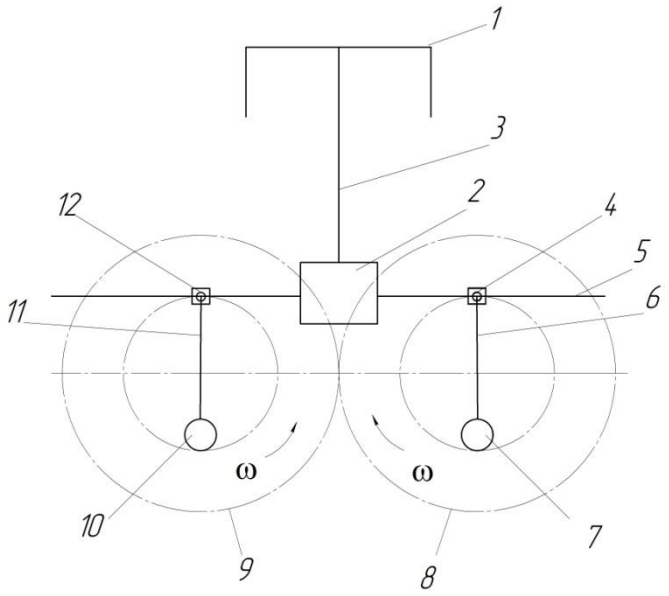
Економія палива при такій організації ВЦ складає, по інформації виробників, 10–12 %. Такий відносно незначний ефект економії палива обумовлений, насамперед, збереженням втрат на тертя в циліндро-поршневій групі. Більш ефективним способом ВЦ є застосування модульної конструкції двигуна, при якій двигун складається з незалежних циліндрів-модулів, що включаються в роботу по мірі підвищення навантаження. Відключення циліндрів в цьому випадку здійснюється шляхом зупинки деталей поршневої групи. В роботі [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 вказує автор роботи [9], покращення паливної економічності ДВЗ шляхом застосування МСУ зв’язано з 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 реалі-

зації, так і з міркувань погіршення їх масо-габаритних та компонувальних показників. Крім того, ДВЗ з традиційним кривошипно-шатунним механізмом практично вичерпали свій резерв покращення економічних та екологічних властивостей, саме тому, можливо, двигунобудування у своєму подальшому розвитку звернеться до двигунів з силовими механізмами нетрадиційних схем.

Безшатунний двигун

Одним з нетрадиційних ДВЗ є безшатунний двигун, розроблений свого часу під керівництвом д.т.н., проф. М. І. Міщенка . В ньому замість кривошипно-шатунного 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 рис. 2 представлено схему безшатунного двигуна з механізмом МВЦ конструкції АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».



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

Рисунок 2 – Безшатунний двигун з механізмом модульного відключення циліндрів

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

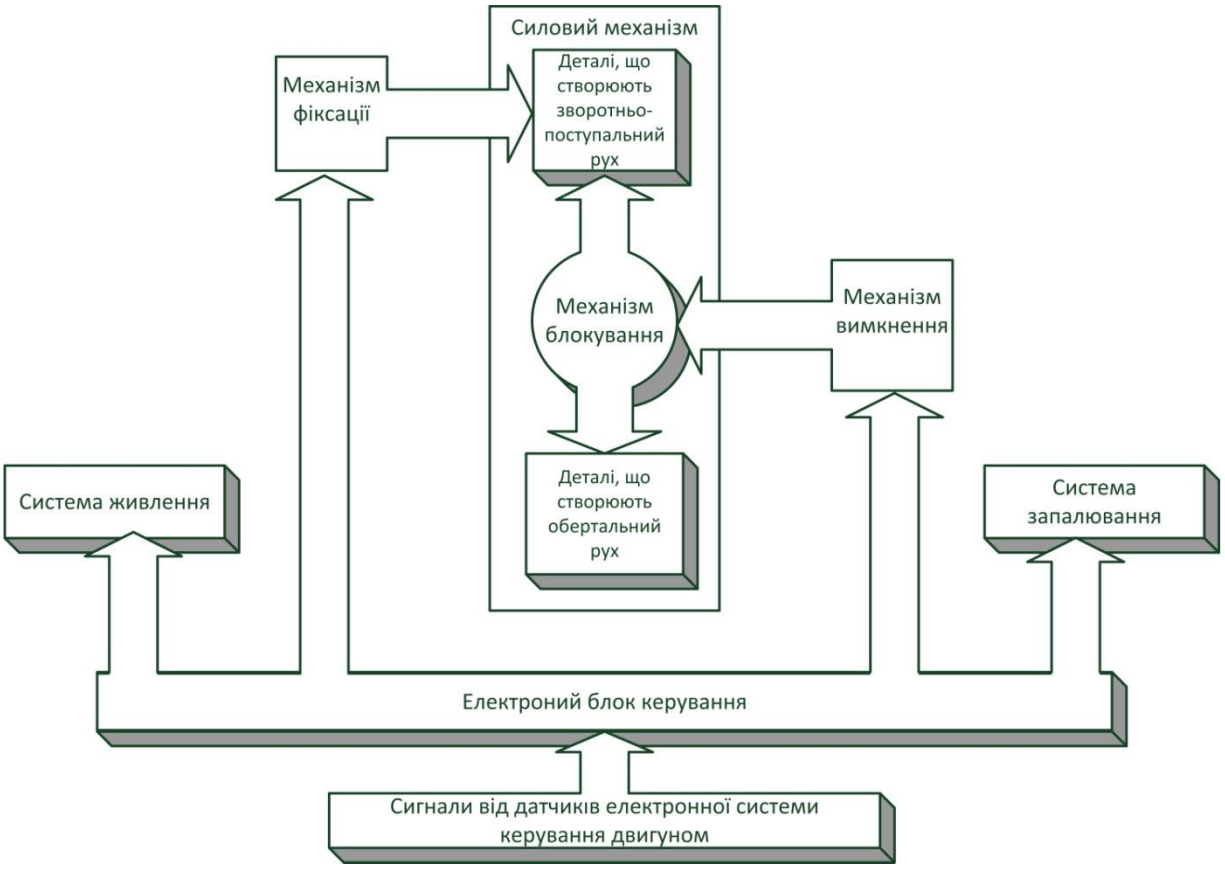


Рисунок 3 – Система модульного відключення циліндрів в безшатунному двигуні

Основу системи МВЦ складають три механізми – вимкнення, блокування та фіксації. Конструктивно ці механізми відокремлені один від одного та являють собою самостійні завершені вузли. Розміщення їх в двигуні обумовлено насамперед функціональними особливостями кожного з 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, в кулісі, при цьому здійснюється блокування куліси зі штоком.

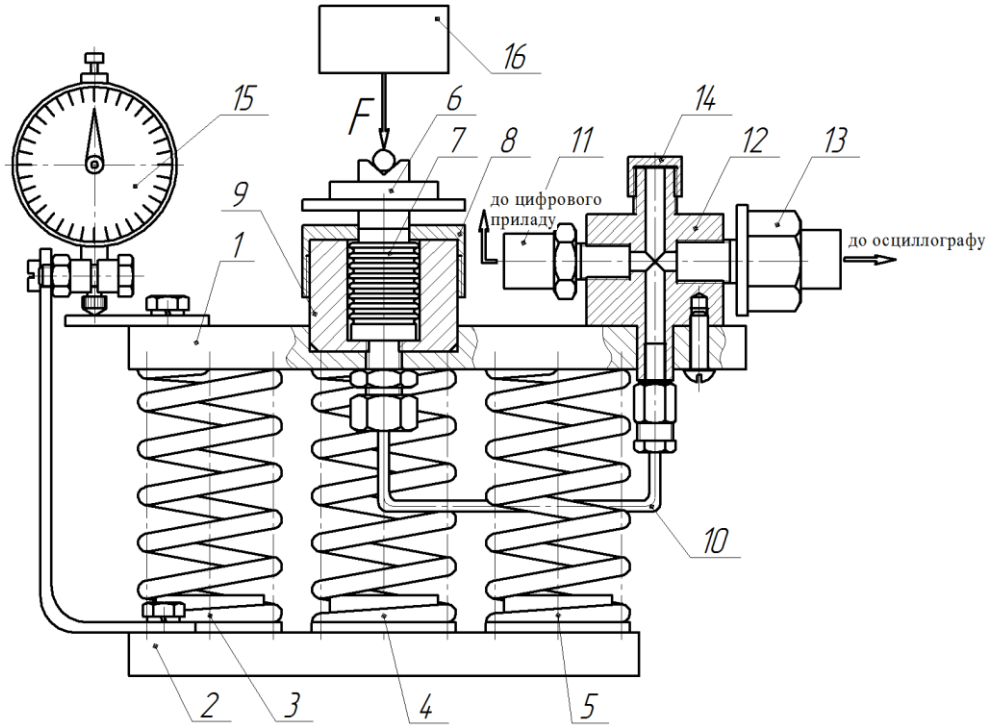
Механізм вимкнення слугує для розриву кінематичного зв’язку між деталями силового механізму, шляхом впливу на механізм блокування. Ця частина системи МВЦ, на відміну від механізму блокування, може бути розміщена на нерухомих частинах двигуна (наприклад, циліндр, картер).

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 з нормативними значеннями, занесеними до характеристичних карт системи МВЦ і, в кінцевому підсумку, активує цю систему шляхом подачі сигналу на механізм вимкнення, який в свою чергу діє на механізм блокування. Результатом спрацьовування пристрою вимкнення є розблокування деталей силового механізму. Одночасно з 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 з активацією системи МВЦ, ЕБК також посилає сигнали на деактивацію форсунок впорскування 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 рис. 4. Сила *F*, що створюється гвинтовим пресом 16, передається через направляючу 6, сильфон 7 та корпус 9 на верхню платформу 1 навантажувального пристрою. В результаті цього пружини 3, 4, 5 стискаються і створюване при цьому зусилля передається через нижню направляючу на механізм МВЦ. В гідравлічний контур сільфон–з’єднувальна трубка–блок датчиків, який заповнено дизельним паливом, вмонтовано два датчики: один для вимірювання статичного, а другий динамічного значення сили *F*. В процесі дослідження навантаження на механізм змінювалося від 50 до 1500 Н.



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* в процесі спрацьовування механізму; 15 – індикатор годинникового типу; 16 – гвинтовий прес

Рисунок 4 – Конструктивна схема навантажувального пристрою

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

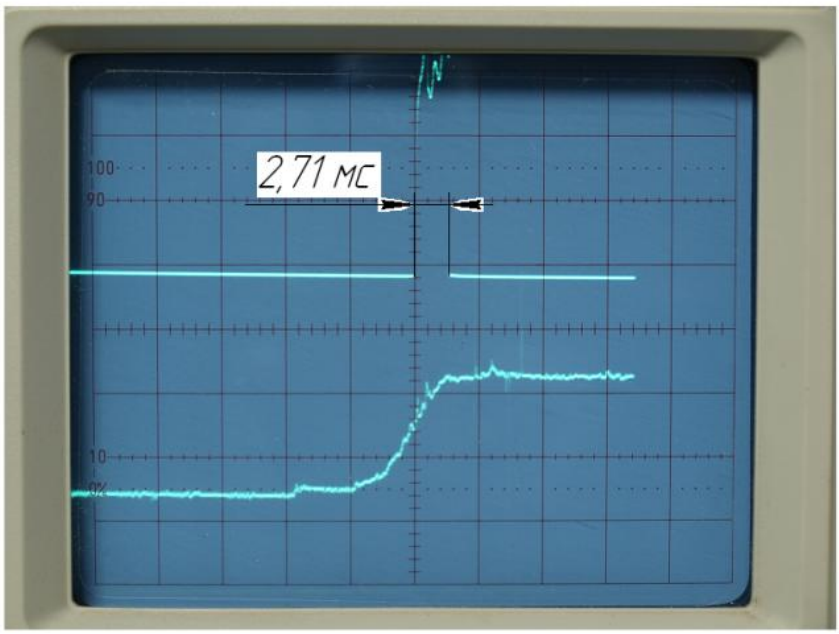


Рисунок 5 – Осцилограма часу спрацьовування механізму МВЦ

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

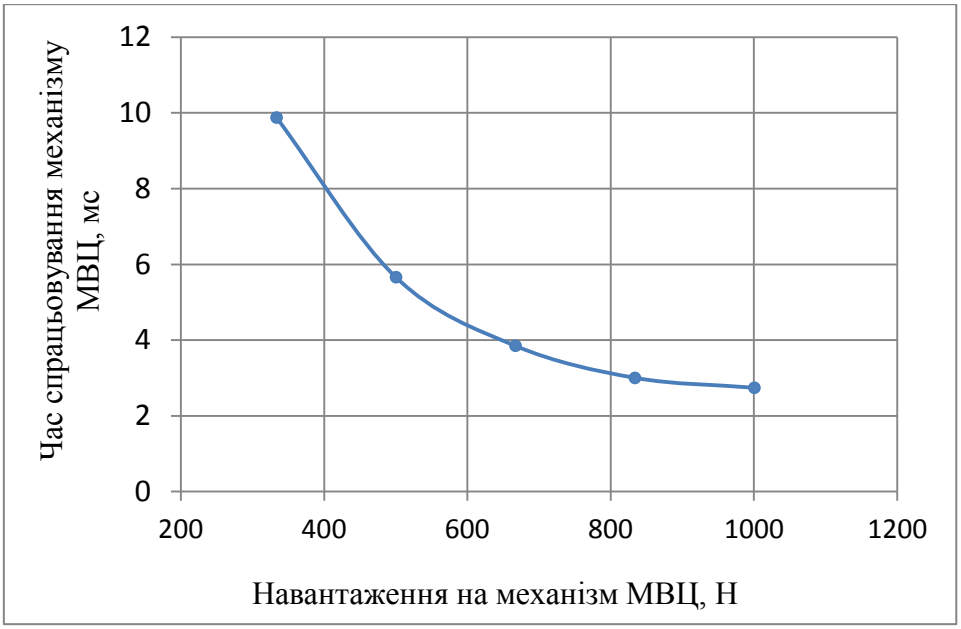


Рисунок 6 – Залежність часу спрацьовування механізму МВЦ від навантаження

Висновки

Проведений огляд варіантів геометричної зміни робочого об'єму ДВЗ показав, що найпоширеним з 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 застосуванням в двигунах нетрадиційних схем силових механізмів. Одним з таких двигунів є безшатунний двигун з ККМ. Аналіз безшатунного двигуна з 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» в двигунах нетрадиційних схем.

Література

1. Pouliot H. N. Displacement Spark-Ignition Engine: Final Report Sandia Laboratories / H. N. Pouliot, C. W. Robinson and 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.
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.
4. Пат. 6349684B1 США, МПК F16H 21/36. Reciprocating piston mecanism and a method of increasing internal egrin an internal combustion engine / заявитель De Gooijer Lambertus H.; патентообладатель Gomecsys B.V. – № 09/700635 ; заявл. 9.12.1999; опубл. 16.11.2000.
5. Автомобильные двигатели с отключением цилиндров. Конструкции, анализ / Н. И. Мишенко, В. С. Шляхов, В. Л. Супрун [и др.] // Вестник СевНТУ. Серия машиноприборостроение и транспорт: сб. научных трудов. – 2011. – Вып. 122. – С. 163–166.
6. Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2 [Электронний ресурс]. – Режим доступа: 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 [Электронний ресурс]. – Режим доступа: 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.
9. Зленко М. А. Теория и практика создания двигателей внутреннего сгорания с регулируемым рабочим объемом : дис. … доктор техн. наук : 05.04.02 / Михаил Александрович Зленко. – М., 2006. – 297 с.
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.
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.