

Н.И. Мищенко¹, В.С. Шляхов¹, Т.Н. Колесникова², В.Л. Супрун¹,
А.Г. Подлесный¹

¹ – Автомобильно-дорожный институт ДонНТУ, г. Горловка;

² – Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ С ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЦИЛИНДРОВ. КОНСТРУКЦИИ, АНАЛИЗ

Рассматриваются существующие конструкции автомобильных двигателей, реализующих различные способы отключения цилиндров. Отмечается, что модульные двигатели имеют наибольшую топливную экономичность, однако они отличаются сложностью и ненадежностью конструкции. Сообщается о проводимых в АДИ ДонНТУ работах по разработке бесшатунного двигателя с модульным отключением цилиндров. Приводятся результаты предварительных исследований разработанного авторами данной статьи механизма выключения цилиндров в бесшатунном двигателе. Рис. 5, ист. 14.

Поршневой двигатель внутреннего сгорания, отключение цилиндров, бесшатунный двигатель, механизм выключения цилиндров, результаты исследования.

Постановка проблемы. Приоритетным направлением развития автомобильных четырехтактных бензиновых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на современном этапе, как и раньше, является улучшение их топливной экономичности и снижение токсичности отработанных газов (ОГ). На сегодня такие ДВС в процессе доработки и продолжительной эксплуатации пришли к своему логическому завершению, классическая схема с кривошипно-шатунным механизмом (КШМ) уже не в состоянии обеспечить дальнейшее усовершенствование двигателя и улучшение его эксплуатационных свойств.

Для этого необходимо существенным образом улучшить экономичность работы четырехтактного бензинового двигателя при одновременном снижении токсичности ОГ. Одним из путей решения этой задачи является регулирование рабочего объема двигателя на режимах частичных нагрузок методом отключения цилиндров.

Сущность метода отключения цилиндров. Максимальная мощность двигателя используется во время эксплуатации автомобиля лишь непродолжительное время. Основную часть работы ДВС составляют режимы холостого хода и малых нагрузок. В то же время, максимальная топливная экономичность достигается двигателем при использовании 70-80 % своей проектной мощности (участок А на нагрузочной характеристике (рис.1)), поэтому на частичных режимах ДВС имеют так называемый недобор экономичности. Сущность отключения цилиндров (ОЦ) заключается в том, чтобы на частичных режимах исключить из работы их часть, а оставшиеся заставить работать с большей нагрузкой, то есть на 70-80 % от максимально возможной мощности оставшихся в работе цилиндров.

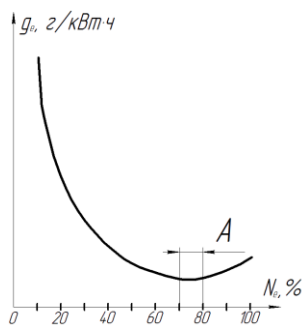


Рис. 1 Нагрузочная характеристика ДВС

Анализ конструкций двигателей с ОЦ. Идея повышения эффективности работы поршневых двигателей путем отключения части цилиндров впервые зародилась в США в 1917 г. и предполагала деактивацию 6-ти цилиндров на 12-цилиндровом двигателе [1]. В бывшем СССР метод ОЦ как способ повышения эксплуатационных качеств ДВС, впервые был предложен академиком Е.А. Чудаковым [2]. На просторах постсоветского пространства исследования в области ОЦ в разное время велись в НАМИ [3] (Россия), Национальном транспортном университете [4] (Украина) и в других организациях.

На сегодняшний день известны такие основные способы ОЦ поршневых автомобильных двигателей: 1) отключение топливоподдачи в цилиндры ДВС и сообщение

отключенных цилиндров с атмосферой или с выпускным трубопроводом двигателя; 2) отключение топливоподачи совместно с воздействием на органы газораспределения; 3) деактивация работающих цилиндров путем остановки деталей поршневой группы (модульное отключение цилиндров).

Первый способ. Известно, что доля потерь на газообмен в общем объеме механических потерь в ДВС составляет (13-15) % [5], поэтому применение первого способа ОЦ имеет наименьший эффект, так как простое отключение топливоподачи без исключения насосных потерь в механизме газораспределения не дает достаточного эффекта по топливной экономичности. Перепуск отработавших газов в деактивированные цилиндры применяют для сохранения теплового режима отключаемых цилиндров. Однако все эти мероприятия являются неоправданным усложнением конструкции системы газообмена двигателя и на современных двигателях не находят применения.

Второй способ. Этот способ конструктивно более сложный чем первый, но является более эффективным. Связано это прежде всего с тем, что при данном способе полностью отсутствуют потери на газообмен, а в «запертых» цилиндрах происходит так называемое «мятие» воздуха. Отключение цилиндров путем остановки клапанов на сегодняшний день является самым распространенным среди всех известных способов.

Отключение цилиндров этим способом было впервые реализовано на автомобиле Cadillac в 1981 году.

В 1983 г. компания Mitsubishi представила очередную версию своего автомобиля

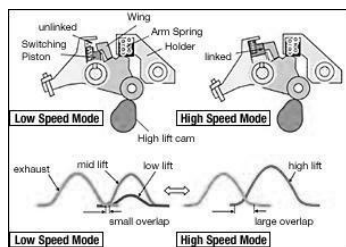


Рис. 2 Система MD компании Mitsubishi

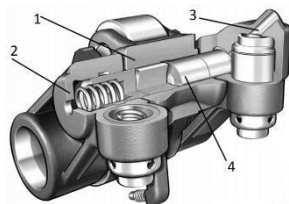


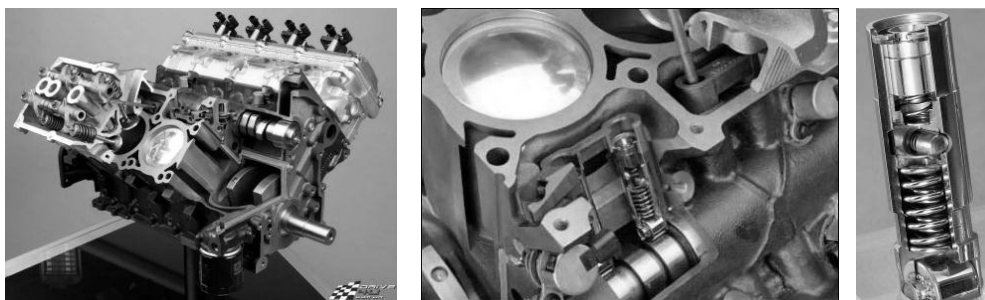
Рис. 3 Коромысло-рокер системы ZAS

Lancer, который был оснащен 4-цилиндровым двигателем объемом 1,5 л с системой MD (Modulated Displacement - регулируемый рабочий объем), которая позволяла на режимах малых нагрузок отключать 2 цилиндра и таким образом экономить до 10% топлива [6]. Конструктивно эта система представляет собой разрезное коромысло клапана, которое по сигналу на управляющий поршень соединяется воедино посредством специального замка (рис. 2).

Концерн Daimler AG в 1999 г. представил двигатель V12 для автомобилей Mercedes с системой ACC (Active Cylinder Control), которая была заимствована у Cadillac 1981 года [7]. Она позволяла деактивировать сразу ряд цилиндров, то есть 6. Дальнейшим развитием этой системы явилась система ZAS (Zylinderabschaltung – отключение цилиндров), дебютировавшая в 2000 г. [8]. На рис. 3 изображено коромысло-рокер этой системы. Управление системой осуществляется гидравлически по сигналам от блока управления через канал 3. Когда цилиндр отключен между частями 1 и 2 нет механической связи. Под воздействием давления масла поршень 4 перемещается и замыкает части 1 и 2. Система ZAS позволяет сократить расход топлива на 7% при движении в городских условиях и на 20% при движении за городом.

В 2004 г. на базе системы ZAS была разработана система MDS (Multi-Displacement System– система мульти-рабочий объем) для двигателей HEMI-V8 объемом 5.7 л. Система деактивирует 4 цилиндра из восьми. Распределительный вал установлен в развале блока цилиндров и связан через гидравлически управляемый толкатель и штангу с коромыслом клапана (рис.4). Приведение системы в действие занимает 40 миллисекунд. Экономия топлива составляет 10-20% [9].

Аналогичную конструкцию имеет система компании GeneralMotors– AFL (ActiveFuelManagement). Компания Honda разработала свой вариант системы ОЦ – VCM (Variable Cylinder Management –гибкое управление цилиндрами двигателя) для двигателя V6.



а) – общий вид двигателя; б – компоновка системы; в – толкатель

Рис. 4 Система MDS двигателя HEMI-V8

Принцип работы системы аналогичен системе ZAS автомобилей Mercedes. Система позволяет деактивировать 2 либо 3 цилиндра. Экономия топлива составляет 11-12%, а при применении данного двигателя в гибридной силовой установке может достигать 23-43%. [7].

Компания LSP Innovative Automotive Systems GmbH (г. Мюнхен, Германия) раз-

рабатывает систему управления клапанами посредством электромагнитов (рис. 5). Система позволяет гибко регулировать количество работающих цилиндров, а также реализовать любой алгоритм их выключения [10].

Отключения цилиндров по второму способу имеет ряд существенных недостатков:

1. Нарушение теплового режима отключенных цилиндров, как следствие их неравномерный износ и повышение токсичности ОГ при их повторном включении.

2. Проблемы с накоплением смазочного масла в отключенных цилиндрах.



Рис. 5 Двигатель с электромагнитным управлением клапанами

Кроме того, этот способ, без существенного усложнения конструкции, не позволяет реализовать выключение цилиндров из работы по одному. Механические потери на трение в цилиндро-поршневой группе сохраняются.

Третий способ. Еще в 1948 г. академик Е.А. Чудаков своими теоретическими и экспериментальными исследованиями показал, что наиболее эффективным способом является отключение цилиндров по одному, а не группами [2]. Это возможно реализовать при применении модульных силовых установок (МСУ). В этом случае силовой агрегат состоит из независимых двигателей (модулей), которые включаются в работу по мере увеличения нагрузки на силовой агрегат. Таким образом, полностью исключены механические потери в отключенных двигателях (цилиндрах). Активные исследования в этом направлении проводились в НАМИ (Россия) в конце 80-х годов [11]. МСУ состоит из двух включенных последовательно роторно-поршневых двигателей (РПД) ВАЗ-311. Эксплуатационная топливная экономичность в городских условиях составила 30%. Эти исследования показали эффективность регулирования нагрузки в бензиновых двигателях не посредством дросселирования, а путем изменения рабочего объема. Серийно выпускаемых двигателей с подобной системой на сегодня нет.

Ряд патентных документов [12, 13] показывает возможную конструктивную реализацию модульного отключения цилиндров в двигателе с КШМ. Коленчатый вал в этом случае делится на несколько частей, которые соединяются между собой с помощью

специальных муфт. Однако практическая реализация этого метода представляет большие трудности. Прежде всего, это конструктивная сложность механизма соединения отдельных частей, а также строгая синхронизация между подключаемыми частями. Необходимо также учитывать нарушение уравновешенности двигателя в целом.

В последнее время в АДИ ДонНТУ ведутся работы по созданию 4-тактного ДВС с модульным отключением цилиндров. В качестве базового выбран бесшатунный двигатель с кривошипно-кулисным механизмом, который разработан ранее для ручного мотоинструмента под руководством проф. Мищенко Н.И. [14].

Для этого двигателя разработан механизм выключения цилиндров (МВЦ), не имеющий аналогов в мире. Теоретические исследования и предварительные эксперименты на безмоторной установке и на бесшатунном двигателе показали, что на управление данного МВЦ затрачивается не более 0,05 кВт энергии, время срабатывания механизма не превышает 0,02 с. Механизм позволяет реализовывать любое число и порядок модульного выключения цилиндров, сохраняя при этом достаточную степень уравновешенности двигателя.

Заключение. Разработанный в АДИ ДонНТУ механизм выключения цилиндров незначительно усложняет конструкцию и не ухудшает массогабаритные и вибрационные показатели бесшатунного двигателя. Поэтому такой двигатель с модульным отключением цилиндров имеет реальную перспективу промышленного применения.

Список литературы

1. 2, 4, 6, 8... which cylinder shall we operate. / G. Howard // Motor. -1983. - №1(4207). — С. 48 – 51.
2. Чудаков Е.А. Пути повышения экономичности автомобиля / Е.А. Чудаков // Тр. автомат.института машиноведения. – 1948. – № 12. –С. 109-120.
3. Зленко М.А. Повышение топливной экономичности бензиновых двигателей путем отключения части цилиндров: – дисс. ... кандидата. техн. наук: 05.04.02 / Зленко Михаил Александрович. – М., 1986. – 165 с.
4. Редзюк А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода: автореф.дисс. на соискания уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.04.02 «Тепловые двигатели» / А.М.Редзюк. – К., 1982. – 21 с.
5. Двигатели армейских машин. Часть первая. Теория / П.М. Белов, В.Р. Бурячко, Е.И. Акатов. – М.: Воениздат, 1971. – 512 с.
6. <http://avtomarket.ru/catalog/Mitsubishi/Lancer/>
7. http://autospeed.com/cms/title_Cylinder-Deactivation-Reborn-Part-2/A_2623/article.html
8. Der neue Mercedes-Benz Zwölfzylindermotor mit Zylinderabschaltung / Joachim Schommers, Uwe Kleinecke, Jorg Mirroll, Alfred Wirth // Motortechnischezeitschrift. – 2000. - №6. – S. 57-61.
9. Двигатель 5.7 L Hemi V8 с отключаемыми цилиндрами // Автомобилестроение за рубежом. – 2004. - №9. – С. 18-22.
10. www.dbu.de/123artikel2007_341.html
11. Кутенев В.Ф. На испытаниях – МСУ / В.Ф. Кутенев, Н.В. Решетцев, А.М. Шевкун // За рулем. – 1990. - №6. – С. 10-11.
12. Пат. 2046972 Российская Федерация, МКИ F 02 D 17/02. Двигательвнутреннего сгорания с устройством для выборочного включения части цилиндров / Капканец В.Ф.; СО НПО по тракторостр. НАТИ. – № 4620778/06; заявл. 19.12.88;опубл. 27.10.95, Бюл. №30.
13. Заявка 3212790 ФРГ МКИ F 01 D 17/00.Brennkraftmaschine mit Zylinderabschaltung / Lutz Dieter; Sachs Systemtechnik GmbH. – №P3212790.1; заявл. 06.04.82; опубл. 13.10.83.
14. Мищенко Н.И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. / Н.И. Мищенко. – Д.: Лебедь, 1998. – Т. 1: Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей. – 1998. –228 с.

Розглядаються існуючі конструкції автомобільних двигунів, що реалізують різні способи відключення циліндрів. Відмічається, що модульні двигуни мають найбільшу паливну економічність, однак вони відрізняються складністю та ненадійністю конструкції. Повідомляється про роботи, що проводяться в АДІ ДонНТУ з розробки безшатунного двигуна з модульним відключенням циліндрів. Наведено результати попередніх досліджень розробленою авторами статті механізму відключення циліндрів в безшатунному двигуні. Рис. 5, джерел 14.

Поршневий двигун внутрішнього згоряння, відключення циліндрів, безшатунний двигун, механізм відключення циліндрів, результати досліджень.

Existing designs of the automobile engines realising various ways of switching-off of cylinders are considered. It is noticed that modular engines have the greatest fuel profitability, however they differ complexity and unreliability of a design. It is informed on works spent in ADI DonNTU on working out conrod-free the engine with modular switching-off of cylinders. Results of preliminary researches developed by authors of given article of the mechanism of deenergizing of cylinders in conrod-free the engine are resulted. A Fig. 5, source 14.

Piston internal combustion engine, switching-off of cylinders conrod-free the engine, the mechanism of deenergizing of cylinders, results of research.

Міщенко Микола Іванович, Донецький національний технічний університет, Автомобільно-дорожній інститут, д.т.н., професор, завідувач кафедри «Автомобілі і двигуни», тел. 8(0624)55-05-05, e-mail: dvs.adi@mail.ru.

Шляхов Віталій Сергійович, Донецький національний технічний університет, Автомобільно-дорожній інститут, аспірант кафедри «Автомобілі і двигуни», тел. 8(0624)55-31-54. e-mail: sws.87@mail.ru.

Колеснікова Тетяна Миколаївна, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, асистент кафедри «Експлуатація і ремонт машин».

Супрун Володимир Леонідович, Донецький національний технічний університет, Автомобільно-дорожній інститут, аспірант кафедри «Автомобілі і двигуни», тел. 8(0624)55-31-54, e-mail: suprunv@mail.ru.

Підлісний Олександр Геннадійович, Донецький національний технічний університет, Автомобільно-дорожній інститут, студент, магістрант.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Оксень Є.І.