

ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТЕПЕНЬЮ
СЖАТИЯ

INTERNAL COMBUSTION ENGINES WITH VARIABLE COMPRESSION
RATIO

Assoc. prof. dr. eng. Nikolov V., Ass. eng. Ambarev K.
Technical University – Sofia, Branch of Plovdiv, Bulgaria,
E-mail: vnikolov@tu-plovdiv.bg, kambarev@tu-plovdiv.bg

Abstract: *There are several ways of doing variable compression ratio (VCR) technology; various patents have been filed and designs presented, including modification of the compression ratio by moving the cylinder head, variation of combustion chamber volume using a secondary piston or valve, variation of piston deck height, modification of connecting rod geometry, moving the crankpin within the crankshaft, and moving the crankshaft axis. The potential of these technologies needs to be evaluated by a trade-off between cost and consumption benefit. This paper reviews the geometric approaches and solutions used to achieve VCR, considers the results of prior research, and forecasts what benefits, if any, a VCR would bring to present engine design.*

KEYWORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINES, VARIABLE COMPRESSION RATIO

1. Въведение

Появата и разпространението на двигателите с вътрешно горене (ДВГ) с външно смесообразуване е предшествовало дизеловите двигатели. Съществени недостатъци на ДВГ в началото на тяхното развитие са невисоката икономичност на работния им цикъл (ефективен КПД 12...15 %) и строго ограничените възможности за използване на гориво с понижени карбураторни свойства.

Посочените недостатъци са преодоляни още с първите образци на ДВГ с висока степен на сгъстяване (ϵ). Първият такъв двигател, построен от Рудолф Дизел през 1897 г., е работил с керосин и е имал ефективен КПД 25 %. Построените няколко години по-късно двигатели са имали ефективен КПД 28 %. Тези достойнства са осигурили през следващите години преобладаващо разпространение на дизеловите двигатели там, където не се изисквали високи специфични масови и габаритни показатели.

От това обстоятелство са обосновани работите за подобряване икономичността на карбураторните двигатели, насочени към повишаване на ϵ и към изследване на горива, допускащи приложението на по-високи стойности на ϵ .

Възможност за увеличаване на предварителното сгъстяване на работното тяло реално съществува, както при използване на високооктанови горива, така и при експлоатацията на ДВГ с частични натоварвания, тъй като при тези режими детонационната устойчивост на горивната смес се повишава. Поради тази причина изследователите и конструкторите продължават да разработват устройства, осигуряващи повишаване на ϵ при преход на двигателя към работа с частични натоварвания.

Значително по-късно, през 60-те години на 20-ти век, във връзка с необходимостта от ограничаване на топлинните и механични натоварвания на елементите от колянотомовилковия механизъм (КММ) при форсирането на ДВГ по мощност, този проблем възниква и в дизелостроенето. При решаването му се оказва възможно използването на натрупания опит в областта на карбураторното двигателостроене.

Концепцията за ДВГ с променлива степен на сгъстяване (ПСС) осигурява възможност за подобряване на експлоатационните характеристики, ефективността и намаляване на вредните емисии. По-високите налягания и температура на газа в края на сгъстяването, благодарение на

повишеното ϵ , водят до намаляване на индуктивния период на горенето и повишаване на скоростта на пламъка. В резултат на това при понижените натоварвания и повишена степен на сгъстяване се получава по-кратко време на горене.

2. Развитие на ДВГ с променлива степента на сгъстяване

След като е станало известно, че степента на сгъстяване определя икономичността ДВГ с външно смесообразуване, е възникнала необходимостта от оценка на антидетонационните качества на горивата, което изисква промяна на ϵ при провеждане на изпитванията. Вероятно първият такъв двигател е бил построен в Англия от Х. Р. Рикардо през 1918 г. [4], след което такива конструкции намират широко приложение през 30-те години на 20-ти век в нефтопреработвателните заводи и изследователски лаборатории. Принципът на регулиране на ϵ в двигателите, предназначени за оценка на детонационната устойчивост на горивата е пояснен със схемата, представена на фиг. 1.

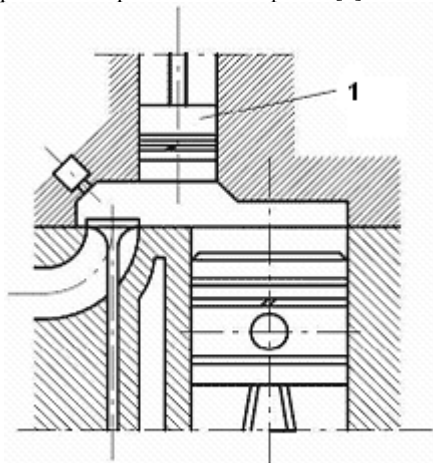


Фиг. 1. Схема на двигател с регулиране на ϵ за изследване на детонационната устойчивост на горивата чрез преместване на цилиндъра

От фигурата се вижда, че процесът на регулиране на ϵ е механизмиран и се извършва ръчно. Тези установки са използвани отначало за изследване на леки горива на детонационна устойчивост, но с появата и последващото

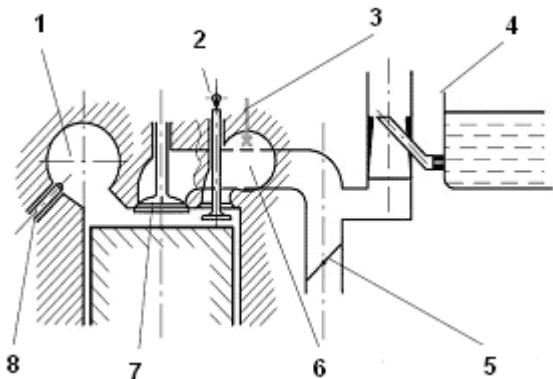
разпространение на бързоходните дизелови двигатели възниква необходимостта от определяне на най-ниската температура на самовъзпламеняване в условията на работещ двигател. Така регулирането на степента на сгъстяване се е указало много удобно и за тази цел.

До 1928 г. не са съществували единни изисквания към установките за изследване на свойствата на горивата, поради което те са се различавали съществено по своите конструктивни параметри (диаметър на цилиндъра, ход на буталото, брой на клапаните и т.н.) и по начина на регулиране на ϵ , което най-често се е осъществявало чрез преместване на цилиндъра. Но са се използвали и установки с регулиране на ϵ чрез бутални устройства, разположени в цилиндровата глава, с различна ориентация спрямо оста на цилиндъра. Схема на едно такова устройство е представено на фиг. 2 [4].



Фиг. 2. Схема на установка с регулиране на ϵ чрез бутално устройство, разположено в цилиндровата глава
1-бутало, регулиращо степента на сгъстяване

Наред с използваните за изследователски цели двигатели със стъпално регулиране на ϵ са разработени и такива за редовна експлоатация за осигуряване на по-лесно пускане на дизеловите двигатели. Високата степен на сгъстяване при студен двигател увеличават съпротивителния момент и затрудняват пускането ръчно, когато е невъзможно или нецелесъобразно прилагането на механични или електрически пускови устройства.

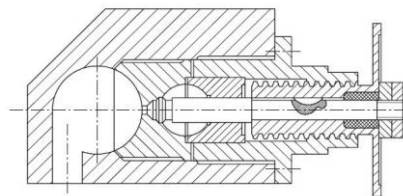


Фиг. 3. Принципно схема на система за пускане на дизелов двигател чрез понижаване на ϵ и приложение на външно смесообразуване

1 – основна горивна камера; 2 – вал за управление на клапана за свързване на допълнителната камера; 3 – свещ; 4 – карбуратор; 5 – дроселова клапа; 6 – допълнителна горивна камера; 7 – всмукателен клапан; 8 – гориворазпръсквач

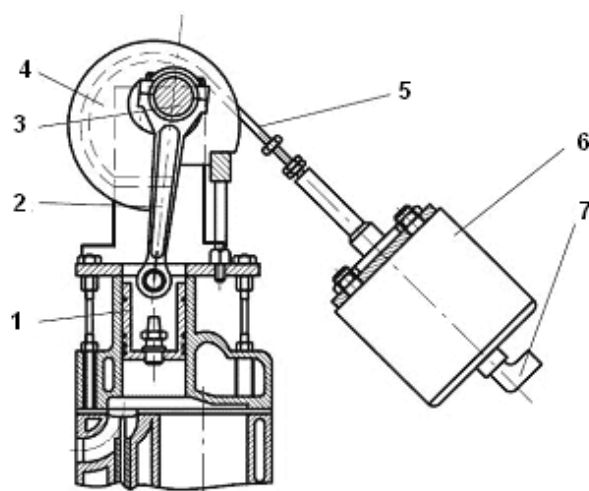
В тези случаи, чрез използване на устройства за намаляване на ϵ и прилагане на външно смесообразуване се постига съществено понижаване на съпротивлението при въртене на коляновия вал и осигуряване на надеждно пускане на двигателя. След непродължителна работа на двигателя с леко гориво се изключва допълнителната камера, с което се повишава ϵ и той преминава към работа по смесения цикъл с дизелово гориво (фиг. 3) [5].

Необходимо е да се отбележи, че понижаването на ϵ и приложението на външно смесообразуване е целесъобразно само при пускане на дизеловия двигател ръчно или при осигуряване на електрически запуск с акумулаторна батерия с недостатъчен капацитет при ниски температури на околната среда. Обратно, при механичен или електрически запуск е целесъобразно да се повиши ϵ , за да се постигнат по-високи стойности на температурата и налягането на свежия заряд в цилиндъра, при което да се подобряват условията за самовъзпламеняване на подаваното гориво. Схематично на фиг. 4 е показано устройство за повишаване на ϵ при студено пускане на дизелов двигател [5].



Фиг. 4. Устройство за повишаване на ϵ при студено пускане на дизелов двигател

През 40-те години на XX-ти век възниква ново направление в усъвършенстване на работния цикъл на карбураторните двигатели. То се състои в повишаване на ϵ при работа на двигателя с частични натоварвания. Осъществяването на такава промяна на ϵ е свързано с разработката на устройства и системи за автоматично регулиране на степента на сгъстяване (АРСС). Едно от първите такива устройства е предложено от проф. Е. П. Бугров през 1945 г. [1, 5].



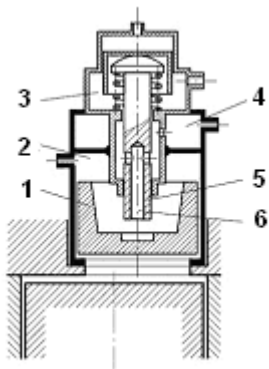
Фиг. 5. Бързодействащ механизъм за АРСС с пневматично задвижване

1-буталце; 2-мотовилка; 3-ексцентричен вал; 4-диск; 5-въже; 6-пневматичен бустер; 7-щупер.

В устройството на Бугров обемът на горивната камера се променя благодарение на преместването на подпружинно

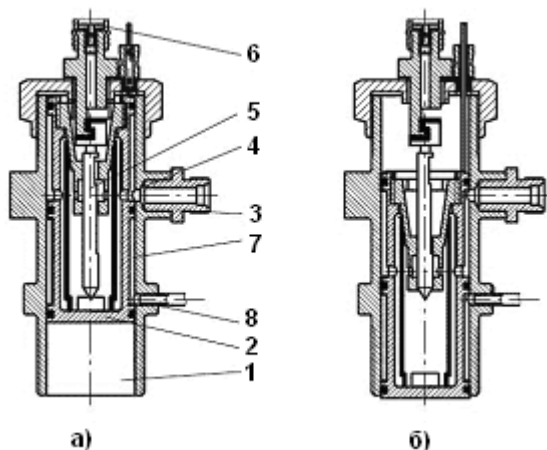
буталце в допълнителна камера, свързана с канал към цилиндъра на двигателя. Механизмът за регулиране е осигурявал увеличение на ϵ от 4,2 до 6, при намаляване на натоварването от 100 до 35%, при което разходът на гориво се е понижавал с 25-26%. Средната икономия на гориво, получена при проведените пътни изпитвания на автомобил с двигател, снабден с устройството на Бугров е 11%.

През 1946 г. от В. В. Махалдиани и В. К. Белецки е предложена и осъществена бързодействаща система за АРСС, чиято принципна схема е представена на фиг. 5. Тя се отнася към буталните механизми за регулиране на ϵ с пневматично задвижване. Получените резултати от пътни изпитания на автомобил с използване на такава система за регулиране на ϵ показват повишаване на икономичността средно с 20 % [5].



Фиг. 6. Устройство за АРСС с хидропневматично задвижване
1-буталце; 2-обем, запълнен с масло, от системата за смазване;
3-област с понижено налягане; 4-област, свързана с картера на двигателя ; 5-шибър; 6-канал на шибъра

През 1947 г. са предложени от проф. В. А. Петров устройства с хидропневматично (фиг. 6) и хидравлично (фиг. 7) задвижване и управление за АРСС, предназначени също за карбураторни двигатели [3]. Те съдържат буталце, установено в специален цилиндър, разположен в цилиндърната глава, чиято камера 1 е свързана с горивната камера на двигателя.

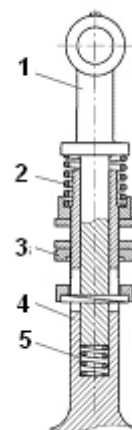


Фиг. 7. Устройство за АРСС с хидропневматично задвижване:
а) положение на буталцето, при минимално ϵ
б) положени на буталцето, при максимално ϵ
1-работен обем; 2-буталце; 3-тръбопровод; 4-отвор; 5-шибър; 6-жигльор;

Предназначението на описаните механизми е насочено към подобряване на икономичността на работния цикъл на бензиновите двигатели при работа с частични натоварвания.

Едновременно със създаването на устройства за АРСС са се разработвали и устройства, целящи ограничаване на

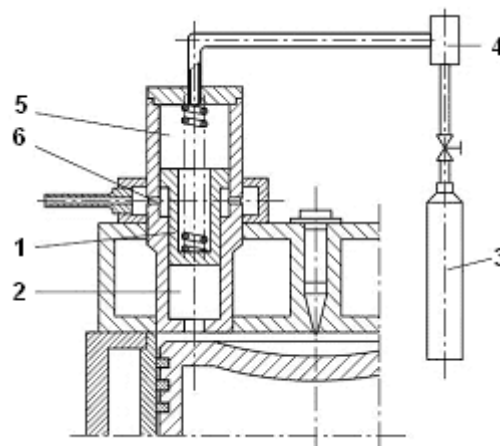
максималното налягане на работното тяло в цилиндъра, наречени буферни. Примери за буферни устройства са представени схематично на фиг. 8, 9 и 10 [5, 6].



Фиг. 8. Мотовилка с променлива дължина за ограничаване на максималното налягане в цилиндъра

1-прът; 2 и 5 – буферни пружини; 3- гайка за регулиране на максималната дължина на мотовилката; 4-направляващ прът

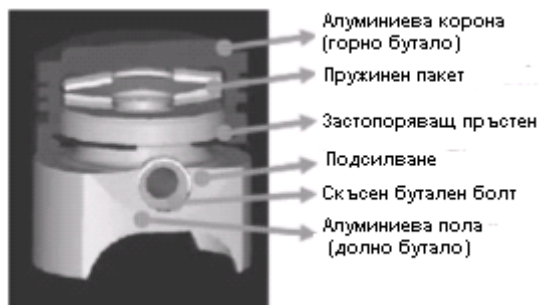
Съвършено различна схема на буферно устройство е представена на фиг. 9, което е от бутален тип и е същност на японския патент № 6251-56 [5].



Фиг. 9. Схема на буферно устройство за ограничаване на максималното налягане в цилиндъра

1-буталце; 2-допълнителна горивна камера; 3-въздушен резервоар; 4-редуктор; 5-работен обем; 6-калиброван отвор

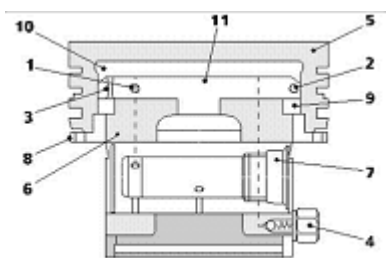
През 1952 г. проф. У. П. Месфилд е предложил, първоначално за карбураторни двигатели, а след това и за дизелови с принудително пълнене конструкция на бутало, автоматично регулиращо степента на сгъстяване (БАРСС).



Фиг. 10. Схема на буферна система с бутало, автоматично регулиращо ϵ , разработена в МТИ

Буферна механична система, реализирана в БАРСС е разработена в МТИ [6] и е представена схематично на фиг. 10.

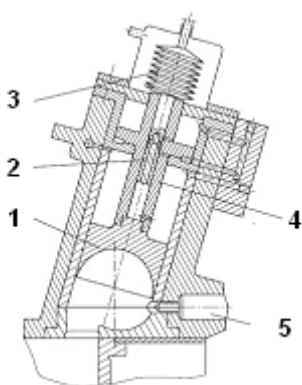
Управляема хидро-механична система, реализирана в БАРСС е разработена от фирма Daimler-Benz, чиято схема е представена на фиг. 11.



Фиг. 11. Схема на система БАРСС, разработена от фирма Daimler-Benz

1,2-клапани; 3-калиброван отвор; 4-разтоварващ клапан; 5-външно бутало; 6-вътрешно бутало; 7-бутален болт; 8-пръстен; 9 и 10-маслени камери; 11-тяло за монтиране на клапаните

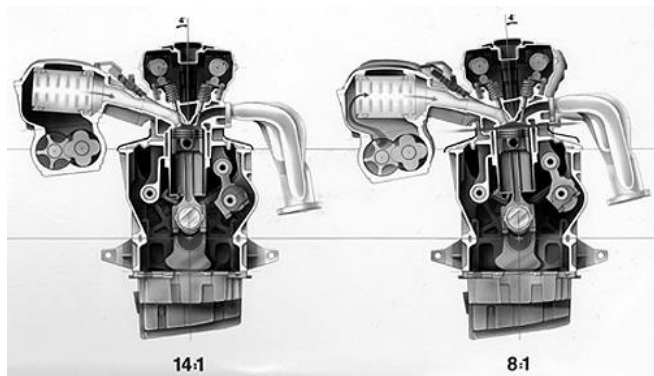
Френската фирма “Испано-Сюиза” е разработила и е провела широки изследвания на устройство с АРСС за своя танков двигател HS-116 [5], получило названието вихрова камера, автоматично регулираща обема, тъй като освен изменението на ϵ то изпълнявало функцията по осигуряване на смесобразуването и горенето. Схема на този механизъм е представена на фиг. 12.



Фиг. 12. Вихрова камера, автоматично регулираща обема

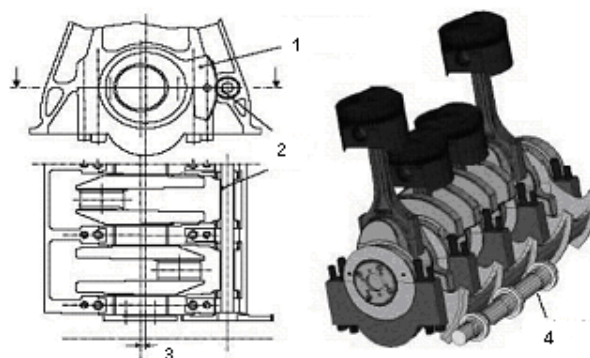
1-анероид; 2-шибър; 3-подвижен свод на вихровата камера; 4-сервобутало; 5-дюза

Шведската фирма SAAB през 2000 година представи своя двигател с АРСС в интервала от 8 до 14, посредством преместване на цилиндричния блок с цилиндричната глава [7],[9], показан на фиг. 13.



Фиг. 13. ДВГ с АРСС чрез преместване на цилиндъра и цилиндричната глава, разработен от фирма SAAB

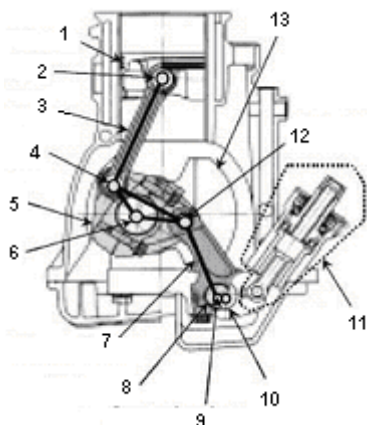
Германската фирма FEV е разработила конструкция на ДВГ с АРСС чрез изместване оста на колянния вал посредством механизъм, показан на фиг. 14 [10].



Фиг. 14. ДВГ с АРСС, разработен от фирма FEV

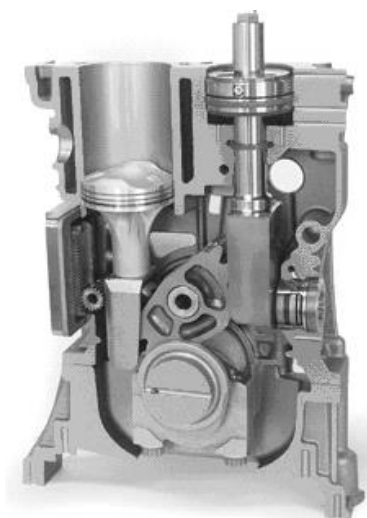
1-зъбен сектор, регулиращ ексцентрицитета; 2-коригиращ вал; 3-ексцентрицитет; 4-регулиращ пиньон

Японската фирма Nissan е реализирала конструкция на ДВГ с АРСС чрез допълнителен управляващ механизъм, показан на фиг. 15.



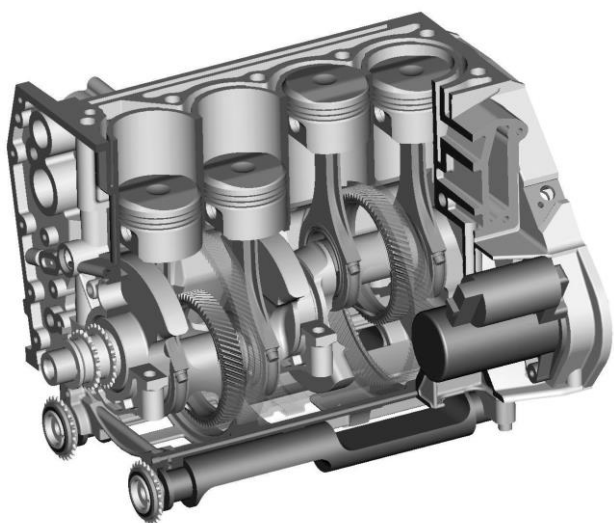
Фиг. 15. ДВГ с АРСС, разработен от фирма Nissan

1-бутало; 2-бутален болт; 3-горна мотовилка; 4-горна ос; 5-долна мотовилка; 6-шийка на колянния вал; 7-регулираща мотовилка; 8-ексцентрична шийка на контролния вал; 9-контролно положение; 10-основна шийка на контролния вал; 11-интерфейсно устройство за монтиране на регулатора; 12-контролна ос; 13-колянния вал



Фиг. 16. ДВГ с АРСС, разработен от фирма MCE-5

Френската фирма MCE-5 е разработила конструкция на ДВГ с АРСС чрез управлявана кобилица на буталния болт, показан на фиг. 16.



Фиг. 17. ДВГ с АРСС, разработена от фирма Gomecsys

Белгийската фирма Gomecsys е разработила конструкция на ДВГ с АРСС чрез допълнителен механизъм за управление ексцентрицитата на мотопилковите шийки [8], който е показан на фиг. 17.

3. Класификация на устройствата за регулиране на степента на сгъстяване в ДВГ

От изложеното дотук може да се отбележи, че са налице голям брой устройства и системи, намиращи приложение за регулиране на ϵ ДВГ. Те се различават едни от други, но по редица признаци могат да бъдат обединени в групи и класове. Класификацията на тези устройства и системи може да бъде направена по следните признаци:

1. По предназначение:

- за изследователски цели;
- за осигуряване пускане на двигателяте;
- за подобряване икономичността на бензинови двигатели при работа с частични натоварвания;
- за ограничаване стойността на максималното налягане на работното тяло в на дизелови двигатели.

2. По област на приложение:

- в бензинови двигатели;
- в дизелови двигатели;
- в изследователски установки.

3. По конструктивен признак:

- бутални;
- ексцентрикови;
- клапанни (регулирущи ϵ посредством изменение на фазите на работата на клапаните или посредством увеличение на обема на горивната камера);
- регулиращи ϵ посредством регулиране на цилиндъра и цилиндровата глава.

4. По разположението на органа, променящ ϵ :

- в цилиндровата глава;

- в буталото;
- в мотопилката;
- в цилиндровия блок;
- в картера.

5. По начина за управление на органа, регулиращ ϵ

- устройства с ръчно регулиране на ϵ ;
- устройства с автоматично регулиране на ϵ .

4. Заключение

Двигателите с ПСС имат потенциал за повишаване на термичната ефективност и намаляване на емисиите на газовете. Както беше отбелязано ПСС е геометричен метод за подобряване на съществуващите машинни стратегии за ДВГ, което потенциално е един източник за внедряване в автомобилната индустрия.

Двигателите с ПСС осигуряват възможности за по-голяма ефективност, за по-малки размери на двигателя, за многогоривна адаптивност и за подобряване на екологичните характеристиките.

Пълният потенциал на ПСС може да се реализира само когато е приложена в комбинация с намаляване на размерите, променливи фази на газоразпределение и висока стойност на налягането на пълненето.

5. Литература

1. Махалдзани В. В., И. Ф. Эджибия и А. М. Леонидзе, Двигатели внутреннего сгорания с автоматическим регулированием степени сжатия, Тбилиси, Мецниереба, 1973.
2. Орлин А.С., Вырубов Д. Н. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей. – М.: Машиностроение, 1971.
3. Петров В. А. Автоматический регулятор степени сжатия для карбюраторных двигателей автомобильного типа, Военная академия, Калинин, 1947.
4. Рикардо Г. Р., Быстроходные двигатели внутреннего сгорания, Москва, Машгиз, 1960.
5. Шароглазов Б. А., М. Ф. Фарафонов и В. В. Клементьев, Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчет процессов, Челябинск, 2004.
6. Assanis, D. C., Wooheum, C., Choi, I., Ickes, A., Jung, D., Martz, J., Nelson, R., Sanko, J., Thompson, S., Brevick, J., and Inwood, B. Pressure reactive piston technology investigation and development for spark ignition engines, SAE paper 2005-01-1648, 2005.
7. Bergström A., Torque Modeling and Control of a Variable Compression Engine, Linköpings Universitet, Reg. № LiTH-ISY-EX-3421-2003.
8. de Gooijer, B. and Gomecsys, B. V. Technical document, February 2002, available from www.gomecsys.com.
9. Haraldsson, G., Tunestal, P., Johansson, B., Hyvonen, J. HCCI combustion phasing in a multi cylinder engine using variable compression ratio, Among SAE paper 2002-01-2858, 2002.
10. Schwaderlapp, M., Habermann, K., and Yapici, K. Variable compression ratio – a design solution for fuel economy concepts. SAE paper 2002-01-1103, 2002.
11. Shaik A., N. Moorthi and R. Rudramoorthy, Variable compression ratio engine, Proc. IMechE, Vol. 221, Part D: J. Automobile Engineering, JAUTO573 © IMechE 2007.