

Проблеми при двигателите с директно впръскване на бензин и възможни начини за решаването им

Симеон Илиев, Кирил Хаджиев

Problems of the gasoline direct injection engines and possible ways for their resolve: The development of four-stroke, spark-ignition engines that are designed to inject gasoline direct into the combustion chamber is an important worldwide initiative of the automotive industry. The thermodynamic potential of such engines for significantly enhanced fuel economy, transient response and cold-start hydrocarbon emission levels has led to a large number of research and development projects that have the goal of understanding, developing and optimizing gasoline direct-injection (GDI) combustion system.

Key words: Gasoline Direct Injection (GDI), Spark ignition engine, Automotive, Four stroke.

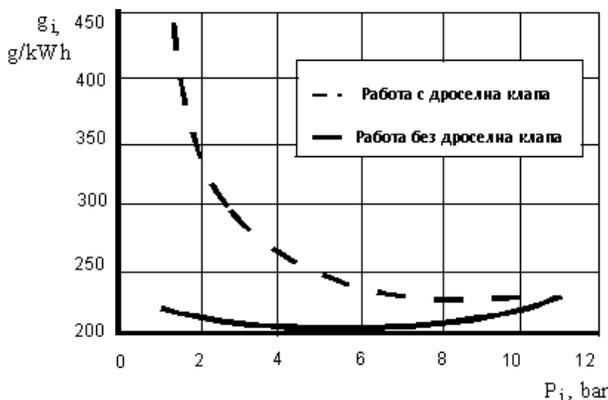
ВЪВЕДЕНИЕ

Последните разработки в областта на директното впръскване на бензин свидетелстват за повишен интерес към тази технология, като най-обещаваща за подобряване икономичността и токсичността на изпусканияте от автомобилите с бензинови двигатели отработени газове.

Бъдещите двигатели с принудително възпламеняване трябва да бъдат подчинени на повишените изисквания за минимално количество на изхвърляните в атмосферата токсични вещества и по такъв начин да се подобри горивната икономичност. Главната цел при разработката на новите двигатели с принудително възпламеняване е да се намали до възможно най-голяма степен разходът на гориво.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Директното впръскване на бензин в цилиндъра позволява нормална работа на двигателя със свръх бедна горивна смес ($\alpha = 3 - 4$). При тази технология на смесообразуване се постига качествено регулиране на натоварването, подобно на дизеловите двигатели. Основната цел е частично или при някои режими и пълно премахване на дроселната клапа. Целта е да се намалят помпените загуби и по този начин съществено да се намалят разхода на гориво и изхвърлените в атмосферата токсични вещества.



Фиг. 1. Подобряване на горивната икономичност при работа на двигателя без дроселна клапа [1].

На фиг.1 е показано влиянието на дроселната клапа върху индикаторния специфичен разход на гориво, както и възможното му намаляване след премахването ѝ. Посочва се, че разходът на гориво е възможно да намалее най-малко с 20% [2].

При директното впръскване на бензин, по време на такта пълнене в цилиндрите постъпва чист въздух, а бензина се впръсква или в края на такта сгъстяване или по време на такта пълнене, в зависимост от режима на работа на двигателя. За да изгори гориво-въздушната смес, която е бедна се използва разслояване на заряда. Причината поради, която се налага разслояването на заряда е в това че, двигателя работи без дроселиране и количеството гориво, което постъпва в цилиндрите при празен ход, малки и средни натоварвания е малко, горивната смес е свръх бедна и не би се възпламенила при класическия начин на смесообразуване. Това разслояване има за цел да осигури в зоната на запалителната свещ леснозапалима гориво-въздушна смес.

Предимствата на двигателите с директно впръскване на бензин пред тези с впръскване в пълнителните канали са:

- по-малък разход на гориво (до 25% зависимост от изпитвания ездови цикъл), което се дължи на:
 - намалени топлинни загуби (следствие работа на двигателя без дроселиране и с разслояване на заряда);
 - по-висока степен на сгъстяване (благодарение на охлаждането на пълнителният заряд и впръскването на гориво по време на пълнителният такт);
 - възможност за работа с по-нискооктанов бензин (благодарение на охлаждането на пълнителният заряд и впръскването на гориво по време на пълнителният такт);
 - по-голям коефициент на пълнене (благодарение на охлаждането на пълнителният заряд и впръскването на гориво по време на пълнителният такт);
 - изключване на впръскването по време на закъснително движение (липсва пълзящ горивен слой в пълнителният канал);
- подобрени преходни режими на работа
 - по-малко необходимо обогатяване на сместа при ускорение (липсва пълзящ горивен слой в пълнителният канал);
- по-точно контролиране на въздушното отношение;
 - по-лесно пускане;
 - по-малко обогатяване на сместа при студен старт;
- възможност за по-висока степен на рецикулация (с цел намаляване на дроселирането);
- намалени вредни емисии
 - намалени емисии от СН при студен старт;
 - намалени емисии от CO₂;
- по-голям потенциал за оптимизация на системата;
- по-голям механичен и ефективен к.п.д.на двигателя;
- по-висока литрова мощност;
- по-добра пъргавина на двигателя;

Въпреки посочените предимства, пред двигателите с директно впръскване стоят редица проблеми за решаване като:

- затруднено управление на разслояването на заряда в цилиндъра на двигателя при всички работни режими;
- сложно управление на системите за впръскване при промяна на натоварването;

- относително високи отлагания върху разпръсквачите;
- по-високи емисии от СН при работа с малки натоварвания;
- по-високи емисии от NOx при работа с частични и големи натоварвания;
- образуване на сажди при определени режими;
- увеличено съдържание на твърди частици в отработилите газове;
- непълно използване на възможностите на трикомпонентните катализатори;
- увеличено износване на елементите от горивната апаратура поради високото налягане на впръскване и ниските смазочни свойства на горивото;
- повишени механични загуби поради поддържаното високо налягане на горивото;
- висока себестойност на горивната уредба и електронното управление на двигателя;

Посочените недостатъци произтичат от особеностите в организацията на процеса на разслояване на заряда.

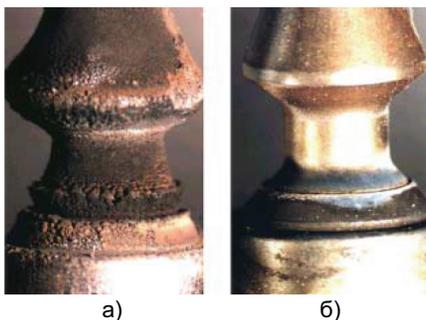
Сложността за получаването на разслоен заряд се дължи на две основни причини: краткия интервал от време за подготовка на сместа преди възпламеняването и сложното турбулентно движение на въздуха съчетано с динамиката на горивния факел. Това поставя редица значителни изисквания към системите за впръскване. Подготовката на желаната смес вътре в горивната камера, за целия спектър от работни условия на двигателя е доста трудно, тъй като процеса е повлиян от много време-зависими променливи. За получаване на такъв разслоен заряд в края на съгъвяването е необходимо горивната апаратура да има следните способности: бързо впръскване и получаване на сравнително компактен факел, добре раздробено (на фини капки) гориво, при налягане на околната среда около 1.0 МРа. За да има възможност горивните капки да се изпарят и смесят с въздуха само в ограничен обем, впръскването трябва да завърши на определен ъгъл от завъртане на колянвия вал преди момента на искрообразуването [3, 4].

Ако капките в горивния факел са с по-голям диаметър, то е необходимо по-ранно впръскване, за да могат да се изпарят. Това съответно води до попадане на гориво в по-отдалечените обеми от горивната камера поради турбулентното движение на въздуха. Горивната смес в тези части, обаче е с такова въздушно отношение, при което или скоростта на горене намалява значително или се получава гаснене на пламъка. И двата случая са причина за увеличено съдържание на въглеродороди и намалена ефективност. Ако ъгълът на предварение на впръскването не бъде увеличен капките гориво не успяват да се изпарят напълно, което е съпроводено с образуване на сажди.

Средният диаметър на капките в горивния факел зависи основно от разликата между налягането на впръскване и налягането на съгъстения въздух в цилиндъра ($P_{inj} - P_{cyl}$) [2]. По-високото налягане на впръскване намалява размерите на капките, но увеличава шума и механичните загуби за задвижване на горивната помпа. Налягането на впръскване в сега произвежданите бензинови двигатели е в границите от 4 до 20 МРа, което е по-ниско от това при дизеловите, но е значително по-високо от налягането на впръскване при многоточковите системи. Най-често горивото се поддържа с постоянно налягане, но варианта с изменение на налягането при различните режими дава възможност за получаване на по-добри характеристики на горивния факел.

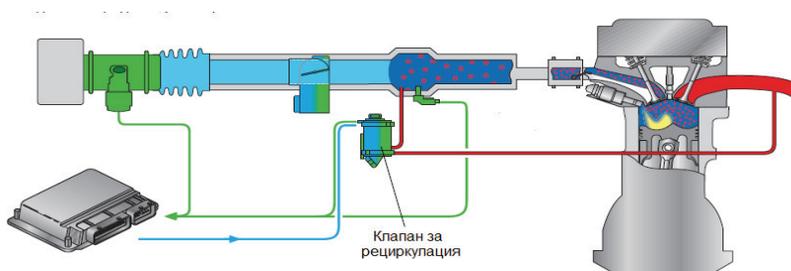
Един от посочените проблеми при двигателите с директно впръскване е, че при различните режими на работа се създават условия за отлагания върху разпръсквачите. За свеждането му до минимум са от значение следните фактори:

- температурата на върха на дюзата да се поддържа по-малка от около 1500 °С;
- издаденост на разпръсквача в горивната камера;
- колебания на въздуха в горивната камера по време на цикъла;
- близост на течно гориво до върха на разпръсквача;
- използването на добавки с инхибитори, за да се подтисне отлагането;
- покритие на върха на разпръсквача със специални органични материали;
- външна и вътрешна гладкост на повърхността на разпръсквача;



Фиг.2 Отлагания върху разпръсквач: а) без използване на добавка с инхибитор; б) с използване на добавка с инхибитор

Друг проблем, който възниква при работа на двигателя с бедни горивни смеси и преходни неустановени режими е повишеното съдържание на азотни окиси в отработените газове. За решаването на този проблем се прилага система за рецикулация на отработени газове (Exhaust Gas Recirculation – EGR). При тази система се подават малки количества отработени газове в пълнителния колектор, които се смесват с горивната смес. Горенето на работна смес съдържаща по-голямо количество отработени газове протича при по-ниски температури. По този начин се постига значително намаляване на емисиите на NO_x, които са пряко зависими от температурата [5].



Фиг. 4 Система за рецикулация на отработени газове

Количеството на отработените газове подавано към пълнителния колектор се регулира в зависимост от режима на работа на двигателя. При работа на двигателя на средни натоварвания и с постоянна скорост се подава по-голямо количество

отработени газове. При ниски натоварвания и ниски честоти на въртене тяхното количество се намалява, за да не се наруши стабилната работа на двигателя. В определени режими на работа като празен ход, пълно натоварване и при подгриване, притока на отработени газове се изключва напълно. По време на работа в зависимост от натоварването на двигателя, управляващият блок регулира количеството на подаваните отработени газове чрез EGR клапан [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Директното впръскване на бензин е перспективен метод за постигане на добра горивна икономичност, ниски емисии на вредните вещества в отработените газове, по-висока литрова мощност, по-добра пъргавина на двигателя, но пред него стоят и много проблеми за чието разрешаване се работи усилено.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Iliev, S. Problems of the air-fuel mixing and burning at engines with direct injection of gasoline an possible ways for their resolve. MOTAUTO 01, Volume1, Varna, 17-19 October 2001, pp. 43-46

[2] F. Zhao, M.-C. Lai, D.L. Harrington Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines, Elsevier Science, 1999

[3] Cheng J., A Study of Homogenous Ignition on Combustion Processes in CI, SI and HCCI Engine, D. Thesis

[4] Walzer P., A New Exhaust Emission Concept, SAE Thecnical Paper 0148-7191/88/0229-0291

[5] Бързев К. Станков Е., Екологични проблеми на транспорта, Русе 2007

За контакти:

гл. ас. д-р Симеон Илиев, Катедра "Двигатели с вътрешно горене", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082 888 331, e-mail: spi@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.