

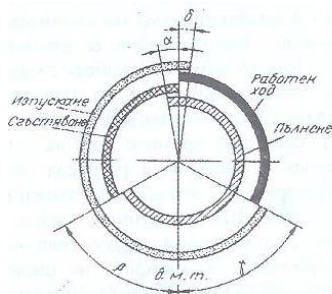
ПРЕГЛЕД НА СЪВРЕМЕНИ СИСТЕМИ НА ГАЗОРАЗПРЕДЕЛЕНИЕ

Абдуламир Абед Али, Христо Станчев

An overview of modern engine valves timing: Pressure to meet environmental goals and fuel efficiency standards is forcing car manufacturers to turn to VVT as a solution. Most simple VVT systems (like [Mazda's S-VT](#)) advance or retard the timing of the intake or exhaust valves. Others (like [Honda's VTEC](#)) switch between two sets of cam lobes at a certain engine RPM. Still others (like [BMW's Valvetronic](#)) can alter timing and lift continuously, which is called [Continuous variable valve timing](#) or CVVT. Some technologies are described in the paper as an overview.

Key words: Variable valve timing, Induction and exhaust process, Engine power, Emission, Electronic control.

Общи сведения. Моментите на отваряне и затваряне на клапаните, изразени в ъгли на завъртане на колянвия вал, се наричат фази на газоразпределението. Фазите на газоразпределението могат да се изобразят като кръгова диаграма. (фиг. 1.)



Фиг. 1. Фази на газоразпределението на четиритактов двигател [1].

На диаграмата ъглите на изпреварване на отварянето и на закъснение на затварянето на клапаните спрямо съответните мъртви точки на буталото са означени като следва:

- α- ъгъл на изпреварване на отварянето на пълнителния клапан;
- β- ъгъл на закъснение на затварянето на пълнителния клапан;
- γ- ъгъл на изпреварване на отварянето на изпускателния клапан;
- δ- ъгъл на закъснението на затварянето на изпускателния клапан.

Ъгълът $\alpha + \delta$ определя припокриването на клапаните, т.е. ъгълът, на който пълнителният и изпускателният са отворени едновременно.

Фазите на газоразпределение се определят от профила на гърбиците на гърбичния вал. В съвременните многоклапанови двигатели (2 или 3 пълнителни и 1 или 2 изпускателни клапана на цилиндър) клапаните се задвижват от два гърбични вала, разположени над цилиндровата глава- съответно за пълнителните и изпускателните клапани.

Ефективността на газообмена в цилиндрите на двигателя се определя от степента на напълването им с прясно работно вещество и от степента на очистването им от отработилите газове. Напълването и очистването на цилиндъра непосредствено зависи от продължителността на фазите на пълненето и изпускането и припокриването на клапаните.

За всеки работен режим има оптимални фази на газообмена. За автомобилния двигател е типично непрекъснато изменение на работния режим (честотата на въртене и натоварване). Би трябвало, като се променя работният режим, да се променят фазите на газоразпределението. Но конвенционалният газоразпределителен механизъм не може да направи това. Опитно се подбира широчината (продължителностите) на фазите на пълненето и изпускането, на тяхното разположение спрямо Г.М.Т и Д.М.Т. и припокриването им за диапазона от работни режими, в който двигателя работи най-често при съответните експлоатационни условия.

Основните съображения при подбирането на фазите са:

- във високочестотен двигател напълването на цилиндъра с прясно работно вещество се увеличават (примерно с $10\pm 15\%$), като се използва динамичното налягане от пълнителния тръбопровод (динамично свръхпълнене), пълнителният клапан се затваря по-късно (по-голям ъгъл β); повишава се максималната мощност на двигателя;

- при по-ранно отваряне на изпускателния клапан (по-голям ъгъл γ) по-голяма част от отработилите газове напускат цилиндъра при достатъчно високо налягане ($0,4\pm 0,5$ Мра), съответно при такта изпускане буталото изтласква само $40\pm 50\%$ от отработилите газове; подобрява се почистването на цилиндъра и се намаляват механичните загуби за смяна на работното вещество;

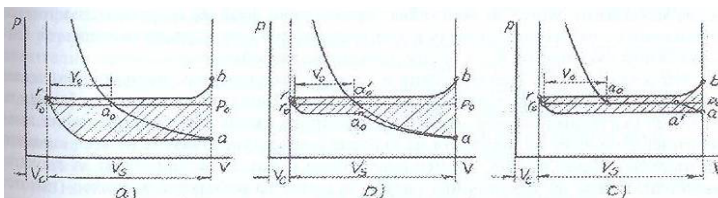
- по-голямо припокриване на клапаните при висока честота на въртене спомага за продухване на горивната камера за сметка на инерционното движение на газовете потоци в пълнителния и изпускателния тръбопровод;

- по-ранното отваряне на пълнителния клапан и по-късното му затваряне (по-големи ъгли α и β) оптимални при високочестотен работен режим, в нискочестотния режим на работа на двигателя са причина за намаляване на въртящия момент поради това, че се намалява запълването на цилиндъра с прясно работно вещество: отначало, докато налягането в цилиндъра е по-високо от налягането в пълнителния тръбопровод (в края на такта изпускане и начало на такта пълнене) през пълнителния клапан в пълнителния тръбопровод изтичат отработили газове, които след това се връщат в цилиндъра, заемайки място в него (коэффициентът на остатъчните газове се увеличава); при такта сгъстяване, когато налягането в цилиндъра превиши налягането в пълнителния тръбопровод, през клапана част от работното вещество се връща обратно в тръбопровода.

- при работа на двигателя с ниска честота на въртене отварянето на изпускателния клапан и затварянето на пълнителния клапан трябва да бъдат близко до Д.М.Т., а за устойчива и икономична работа да бъде почти нула.

От изложеното се вижда, че при подбирането на фазите на газоразпределението неизбежно се правят компромиси. Подбраните фази се оптимални само за определен работен режим, а при останалите работни режими не осигуряват оптимално почистване на цилиндъра от отработили газове и запълването му с прясно работно вещество. За това не е неочаквано, че се полагат значителни усилия за разработване на механизми, които да осигуряват променливи фази на газоразпределението. Изследване Daimler-Benz показват, че чрез управление на фазите на газоразпределението и хода на клапаните в бензинов двигател въртящият момент може да се увеличи с около 14% средно в целия диапазон на изменение на честотата на въртене (поради увеличаване на коефициента на пълнене). Нещо повече, променливите фази могат да се използват за съществено намаляване на механичните загуби за смяна на работното вещество (помпените загуби) в двигателите с искрово запалване, при работата им с частично натоварване и на празен ход. Циклово количество прясно работно вещество се регулира не с дроселиране (притваряне на дроселната клапа), а с по-ранно (преди Д.М.Т.) или по-късно (след Д.М.Т.) затваряне на пълнителния клапан, при което може да се постигне икономия на гориво $9\pm 15\%$.

Възможностите за намаляване на помпените загуби при работа на бензинови двигатели на празен ход са илюстрирани на (фиг 2).



Фиг.2. Диаграми на газообмена в бензинов двигател при работа на празен ход [1]

При конвенционален газоразпределителен механизъм на празен ход дроселната клапа е почти напълно затворена и налягането p_a в края на пълненето е много ниско (фиг 2a). заштрихованата площ на p - v диаграма (между линията на такта изпускане bg и линията на такта пълнене ga) изразява помпените загуби при смяната на работното вещество. Те са значителни, съставляват 30÷40 % от общите механични загуби на този режим. Обемът v_0 определя цикловото количество прясно работно вещество, необходимо за работата на двигателя на празен ход. Същото циклово количество прясно работно вещество (същият обем v_0) може да се отмери при напълно отворена дроселна клапа, ако пълнителният клапан се затвори значително по-рано, преди Д.М.Т. (т. a_0 , фиг. 2б). Работното вещество, постъпило в цилиндъра до затварянето на клапана, се разширява до налягане p_a . Помпените загуби, изразени със заштрихованата площ, са значителни по-малки. Същото количество прясно работно вещество може да получи и ако при напълно отворена дроселна клапа пълнителният клапан се затвори значително по-късно след Д.М.Т. (фиг.2 в). При движение на буталото от Г.М.Т. към Д.М.Т. налягането се повишава до налягането в пълнителния тръбопровод (приблизително равно на атмосферното) (т.а), работното вещество се връща обратно в пълнителния тръбопровод до затварянето на пълнителния клапан (т.а₀).

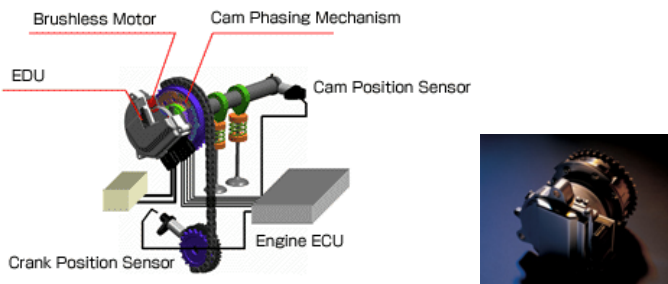
По посочения начин при управляеми клапани може да се регулира цикловото количество прясно работно вещество и при частично натоварване на двигателя, като с това се намаляват помпените загуби. При управление на клапаните може да се изключи системата за рециркулация на отработили газове. При работа на двигателя на режими, при което е необходима рециркулация на отработили газове, пълнителният клапан се отваря значително по-рано преди Г.М.Т., т.е.увеличава се припокриването на клапаните. Част от отработилите газове постъпва в пълнителния тръбопровод, а след това се връща в цилиндъра, като разреждат пряското работно вещество.

Системи за изменение положението на фазите на пълненето в работния цикъл. Те не променят фазите на клапаните (продължителност, повдигане h_k на клапаните). Изискванията към фазата на пълненето за различните честоти на въртене са следните: по-късното отваряне на пълнителните клапани (по-близо до Г.М.Т.) се използва за условията на празен ход и максимална мощност. Малкото припокриване на клапаните прави този начин подходящ за изискванията на празен ход, а възможността за по-късно затваряне на пълнителните клапани го прави подходящ за условията на максимална мощност. По-ранното отваряне на пълнителните клапани спомага за оптимизиране на въртящия момент при ниска честота на въртене. В работния диапазон на двигателя от ниска до висока честота на въртене системата започва по-късно отваряне на пълнителните клапани за осигуряване устойчива работа на празен ход, преминава към по-ранното отваряне на пълнителните клапани, за да се оптимализира въртящият момент при ниска честота на въртене и тогава се връща към по-късно отваряне на пълнителните клапани за получаване на максималната мощност. Тези промени в разположението

на фазата на пълненето в работния цикъл се постига чрез завъртане на гърбичния вал на пълнителните клапани в нужната посока спрямо зъбното колело, което го задвижва.

Преглед на последни модели променливи фази на газоразпределението.

Електрическо изменение на фазите на газоразпределението Компанията DENSO, заедно с Тойота през 2006 г. са разработили първата в света система с променливи електрически клапани, монтирана на автомобилите Лексус. Тази система за контрол на газоразпределението води до оптимизиране на въздушния поток във и извън всяка горивна камера в съответствие с условията на шофиране. Схема на системата DENSO е показана на фиг. 3. [2]. Тя включва Cam phasing механизъм, монтиран на пълнителния разпределителен вал, задвижван от безчетков постоянен ток електромотор.



Фиг.3. Система за променливи фази на газоразпределението на Denso.

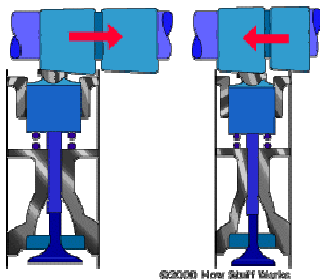
Технология VVT-i (променливи фази на газоразпределението, с интелигентно компютърно управление)

Технологията VVT-i на компанията Toyota използва усъвършенстван компютър за променяне на момента на задействане на пълнителните клапани в зависимост от условията на движение и от натоварването на двигателя. С регулиране на времето на припокриване между затварянето на изпускателния клапан и отварянето на пълнителния клапан, работните характеристики на двигателя могат да се променят, за да се получи почти мигновено необходимият въртящ момент на двигателя в целия честотен диапазон. Така се получават най-добри показатели: мощно ускоряване и нисък разход на гориво. В допълнение по-пълното изгаряне на горивото при по-високи температури на горивния процес води до по-ниски вредни емисии в атмосферата.

VVTL-i (Променливи фази на газоразпределението и ход на клапаните, с интелигентно компютърно управление)

Двигателите с променливи фази на газоразпределението и променлив ход на клапаните на компанията Toyota стигат една стъпка по-далече от двигателите VVT-i. При тях се извършва автоматично регулиране на повдигането (отварянето) на пълнителните и изпускателните клапани на цилиндрите. При високи честоти на въртене на двигателя електронният управляващ блок (ECU) увеличава хода на клапаните, за да се увеличи количеството на пресния заряд, който постъпва в цилиндрите, и количеството на отработилите газове, които ги напускат. Повишаването на количеството пресен заряд при честоти на въртене над $6\,000\text{ min}^{-1}$ означава по-голяма мощност, по-добро изгаряне и по-ниски вредни емисии.

Подобни са системите на Мицубиши, на Хонда и на Мерцедес. При Мерцедес и Хонда ходът на клапаните се изменя безстепенно в зависимост от положението на педала за газ (Фиг. 4).



Фиг. 4. Система за безстепенно изменение на хода на клапана.

Литература:

1. Илиев, Л., А. Илиев. Двигатели с вътрешно горене – горивни уредби и автоматично регулиране. Русе, 2002.
2. WEB site How Staff Works.

За контакти:

Доц. д-р инж. Христо Кънчев Станчев, катедра „Двигатели с вътрешно горене“, РУ „А. Кънчев“ - Русе, тел. 082 888 275, hshanchev@ru.acad.bg

Инж.- докторант Абдуламир Абед Али, катедра „Двигатели с вътрешно горене“, РУ „А. Кънчев“ - Русе, тел. 082 888 272.

Докладът е рецензиран.