

## Анализ на методите за диагностика без разглобяване на дизелови двигатели с механично управление на впръскването на горивото

Тончо Балбузанов, Орлин Стоянов, Александър Стоянов, Николай Колев

**Analysis of the methods for components' technical condition diagnostics of diesel engine with non electronic injection without disassembly:** The paper presents analysis of the main methods for diagnostics without disassembly of diesel engine with non electronic injection (mechanical fuel injection). Discussed are the methods of diesel engines diagnostics by measuring the engine power in transient state, the crankshaft fluctuations, the composition of exhaust gases and acoustic parameters. Based on the methods analyzed, it is recommended the selection of the diagnostic parameters to be consistent with their invariance, sensitivity and stability.

**Key words:** diagnostics, diesel engines, crankshaft fluctuations, exhaust gases composition, acoustic parameters

### ВЪВЕДЕНИЕ

Диагностирането на дизеловите двигатели с хидромеханични системи на горивоподаване в настоящият момент не е осигурено с достатъчно развити и ефективни средства за безразглобно диагностиране. На практика при експлоатацията на тракторите основен метод за диагностика си остава поелементната проверка на детайлите, възлите и агрегатите след определена нормативна обработка. Това естествено е свързано с големи разходи и риска от нарушаване на предварително сработили се двоици. Освен това може да се окаже, че разглобяването е извършено преждевременно или отказа е настъпил по-рано от нормативно определената обработка. Всички тези обстоятелства инициират необходимост от изследване и прилагане в сервизната практика на нови, по-съвременни методи и средства за диагностика.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Методите за безразглобно диагностиране на дизеловите двигатели могат да се класифицират в две основни групи (фиг.1):

- диагностиране по параметрите на работния процес;
- диагностиране по параметрите на съпътстващите процеси.

#### **Диагностиране на дизелови двигатели по мощността измерена в преходен неустановен режим.**

Съгласно известният принцип от механиката при неустановено движение на какво да е тяло, движещите сили се урівновесяват във всеки момент от времето от силите на енерцията. В частност за дизеловия двигател:

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_i - M_r, \quad (1)$$

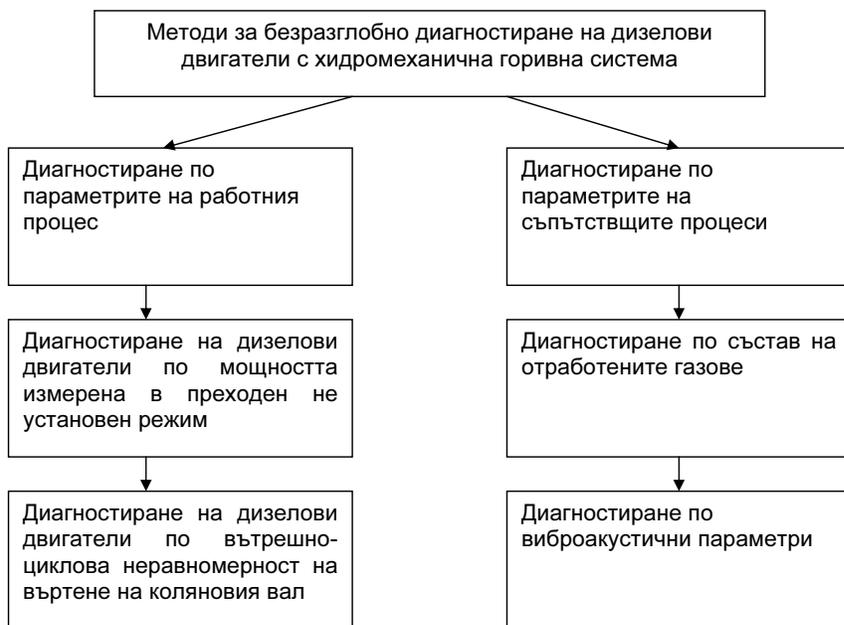
където:  $I$  е инерционният момент момента на движещите се части на двигателя, приведени към оста на коляновия вал;

$\frac{d\omega}{dt}$  - ъгловото ускорение на коляновия вал;

$M_i$  и  $M_r$  - индикаторният момент и момента от триенето.

При свободното ускоряване в кратък интервал от време, двигателя ще бъде напълно натоварен от момента на инерционните сили и ще го преодолее толкова по-бързо колкото по-голям е въртящия му момент.

Ако се умножат двете страни на равенство (1) с  $\omega_n$  се получава:



Фиг.1. Класификация на методите за безразглобна диагностика на дизеловите двигатели

$$P_i - P_M = I \varepsilon \omega_n = P_e, \quad (2)$$

където  $P_i$  е индикаторната мощност на двигателя;

$P_M$  – мощността на механичните загуби;

$P_e$  – ефективната мощност на двигателя

Основният източник на грешки при измерването на мощността по този метод е “деформацията на работния цикъл”. Причините които довеждат до това положение са:

- топлинната инерция – тя се изразява в разликата в температурата на двигателя за определена честота на въртене и натоварване при установен и преходен режим. В резултат на това във всеки следващ момент в процеса на ускоряване двигателят работи в по-ниско топлинно състояние;

- динамична инерция при пълнене - в процеса на ускоряване в началния момент от времето налягането на въздуха в смукателния тръбопровод по силата на закона на инерцията остава неизменно и по-нататък изостава от скоростния режим и режима на горивоподаването. Това довежда до несъответствие на разхода на въздух и разхода на гориво. Това несъответствие довежда до рязко намаляване на средния за цилиндрите, коефициента на пълнене и като следствие влошаване на условията за смесообразуване и горене. Най-отчетливо инерцията при пълнене се проявява при неизправности и неправилно регулиране, като например: замърсяване на въздушния филтър, нарушение на регулировката на фазите на газоразпределение, повишение на цикловото подаване на гориво;

- несъответствие на статическото и динамическото подаване на гориво – при ускоряване хлабините в кинематичните двоици се отнемат към страната на намаляване на активния ход на буталото и на всеки следващ частичен режим на работа, цикловото подаване превишава статическото толкова повече, колкото хлабините в кинематичните двоици на помпата са по-големи, т.е. колкото по-голямо е нейното износване.

Явлението “деформация на цикъла” се проявява във все по-малка степен с увеличаване времето на ускоряване, т.е. с приближаването на преходния процес към стационарния.

Изследванията показват, че за двигатели без принудително пълнене средно квадратичната грешка при измерване на мощността в преходен неустановен режим е около 3,9%.

### **Диагностиране на двигателите по вътрешноцикловата неравномерност на въртене на колянвия вал.**

Възможността за диагностирането на двигателите с вътрешно горе по неравномерността на въртене на колянвия вал се обосновава с това, че ускорението във всеки един момент се определя с израза [1]

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\sum_{i=1}^n M_{kpi} - \sum_{i=1}^n M_{ci}}{I}, \quad (3)$$

където:  $M_{kpi}$  - е въртящият момент на i-я цилиндър;

$M_{ci}$  – момента от съпротивлението на i-я цилиндър.

От където следва, че моментната стойност на ускорението е функция на сумарния въртящ момент и момента от съпротивлението. При завъртането на колянвия вал ъгловото ускорение се изменя по закона за изменение на сумарния въртящ момент принадлежащ на такта съгъстяване и разширяване.

Следва да се отбележи, че момента на вътрешните механични загуби се изменя незначително, за това изменението на ускорението е функция на изменението на сумарния въртящ момент в периода на работните тактове на двигателя.

Неравномерността на въртене на колянвия вал зависи от факторите, влияещи на сумарния въртящ момент, като например херметичност на горивната камера, качество на гориво-въздушната смес. Увеличаването на неравномерността на колянвия вал, свидетелства за наличие на неизправности в двигателите с вътрешно горене.

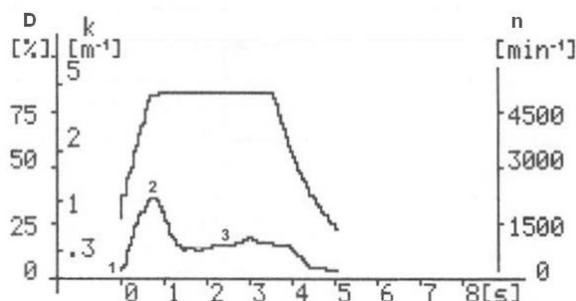
### **Диагностиране на дизеловите двигатели по състава на отработилите газове.**

Принципът на диагностиране на дизеловите двигатели по състава на отработилите газове се основава на връзката между димността, режима на работа на двигателя и техническото състояние на системите влияещи върху горивния процес [5]. Диагностирането по този параметър се извършва като се измерва димността на минимална честота на празен ход, при пълно натоварване (най-често в режим на ускоряване) и при максимална честота на празен ход [4].

Измерването на димността може да се извърши в два режима А и В. Те се различават по начина на представяне на показанията. В режим В показанието е силно демпфирано. В режим А показанията, които се записват са пропорционални на моментната димност на отработилите газове. Според [4] този режим е подходящ за диагностика на дизеловата горивна уредба, тъй като характера на

изменение на кривата на димността, получена в процеса на ускоряване на двигателя, дава информация за техническото състояние на отделните системи.

Точка 1 от (фиг. 2) [4] характеризира димността на празен ход. При технически изправен двигател и изключена рецикулация на отработилите газове, тя трябва да бъде по-малка от 5%, съответно  $K=0,12\text{m}^{-1}$ . Превишаването на тази стойност на димността е признак за нарушаване на горивния процес. В този случай трябва да се проверят елементите на горивната уредба, по-точно техническото състояние на дюзите или ъгълът на изпреварване на подаване на горивото. Износването на буталните пръстени също оказва влияние върху повишаването на димността при работа на този режим, което може да се обясни от една страна с ниското налягане в края на такта съгъстяване, а от друга страна и повишено изгаряне на масло.



Фиг. 2 Типични криви на димността (коэф. на поглъщане  $K$ ) и честотата на въртене на колявения вал  $n$  при свободно ускоряване

Точка 2 (фиг. 2) характеризира максималната димност при пълно натоварване. Тъй като дизеловия двигател, в режим на ускоряване на празен ход работи с пълно натоварване само в течение на кратко време, най-голямото подаване на горивото продължава също много кратко време. При технически изправен двигател в точка 2, кривата на изменение на димността, съответства приблизително на изменението на подаването на горивото. Това дава възможност, тя да се приеме като диагностичен параметър за характеристиката на подаването на горивото, а стойността в точка 2, като максималната димност за дадения тип двигател. Димността според ECE R25 се обозначава върху табелка, закрепена за купето на автомобила, в единици коефициент на поглъщане на светлината  $K$ ,  $\text{m}^{-1}$ . Ако измерената стойност в точка 2 от кривата на димността се окаже, че е по-голяма от обозначената върху табелката на дадения автомобил, следва да се търси причината. Най-вероятно, това може да се дължи на повишено подаване на горивото, намалено количество на постъпващия въздух или неизправност в системата за рецикулация на отработилите газове. От това следва, че само по стойността на измерената максимална димност не може да се открие коя е причината.

### **Диагностиране на дизеловите двигатели по виброакустични параметри**

Виброакустичната диагностика е един от най-съвремените и перспективни методи. В основата на метода е заложена зависимостта между изменение на техническото състояние и изменението на техническото състояние на обекта и изменението на неговите виброакустични параметри.

Дизеловият двигател е сложен диагностичен обект и е много трудно да се интерпретира връзката между изменението на параметрите на трептенията и

техническото състояние на отделните системи на двигателя. За да се постави достоверна диагноза е необходимо да се използват технически и програмни средства позволяващи извличането на максимална информация от измерваните сигнали.

Сред многото нерешени въпроси най-важни са следните [2]:

- какво влияние върху спектъра на трептенията оказват изменението на скоростния и товарния режим на работа на двигателя;
- кой от тях е най-подходящ за диагностиране;
- как влияе работата на механизмите на един цилиндър на двигателя върху трептенията на съседните цилиндри.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Общ принцип при подбора на подходящи методи трябва да бъде използването на такива диагностични параметри, които да се измерват при възможно най-малко трудопоглъщане, а същевременно те да имат висока информационна способност.

Важно условие при избора на метод за диагностика е чувствителността и стабилността на диагностичните параметри.

Друго важно свойство, което трябва да се има в предвид е тяхната инвариантност (нечувствителност) към промяната на режима на работа на двигателя в процеса на диагностиране.

В случаите, когато е необходимо да се извърши задълбочена диагностика (локализиране на неизправността), е наложително да се използват няколко метода. На базата на получената от тях информация може да се формира с висока достоверност диагнозата.

### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Борощенко Я. А. Разработка метода диагностирования автомобильных дизелей по неравномерности вращения коленчатого вала: автореф. дис. канд. техн. наук., Курган, 2003 г.

[2] Костенко В. И. Виброакустическая экспресс-диагностика силовых механических агрегатов, автореф. дис. канд. техн. наук., Саратов, 2002г.

[3] Кульчицкий А. Р., Токсичность автомобильных и транспортных двигателей., Москва, Академический Проект 2004

[4] Gunther H. Dieseldiagnose Vogel Buchverlay Wurzburg 2001.

[5] Kasedorf I., E Woisentschaluger, Dieseleinspritztechnik, Vogel Buchverlag Wurzburg, 2002.

### **За контакти:**

Маг. инж. Тончо Балбузанов, Катедра "Транспорт", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 231, E-mail: [tbalbuzanov@uni-ruse.bg](mailto:tbalbuzanov@uni-ruse.bg)

Маг. инж. Орлин Стоянов, Катедра "Компютърни системи и технологии", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 672, E-mail: [ostoyanov@uni-ruse.bg](mailto:ostoyanov@uni-ruse.bg)

Доц. д-р Александър Стоянов, Катедра "Транспорт", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 231, E-mail: [astoyanov@uni-ruse.bg](mailto:astoyanov@uni-ruse.bg)

Доц. д-р Николай Колев, Катедра "Транспорт", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 231, E-mail: [nkolev@uni-ruse.bg](mailto:nkolev@uni-ruse.bg)

*Изследванията са проведени по договор ДО 02-47/10.12.2008 г., финансиран от Министерството на образованието, младежта и науката.*

**Докладът е рецензиран.**