Пресмятане параметрите на работния процес на ДВГ с принудително възпламеняване от индикаторната диаграма

Радостин Димитров, Красимир Богданов, Росен Христов, Ангел Димитров

Calculation parameters of work process of spark ignition engine from indicator diagram: *This paper describes the methodology for calculating the indicator, thermal and brake performance of the gasoline engine by recording indicator diagram in `prn` file. Calculations are made using Mathcad 15.0 and calculated parameters are: Dynamics of heat transfer of the cylinder, the temperature in the cylinder during the combustion process as well as the indicators and brake parameters of the engine*

Key words: *Temperature, pressure, heat release, indicator diagram.*

ВЪВЕДЕНИЕ

При регистриране на индикаторните диаграми на изпитвания двигател се използва електронна система за сбор на данни, в основата на която е използван аналогово-цифров преобразовател (АЦП), като по този начин се съкращава времето за последващата обработка на експерименталните данни. При използването на АЦП могат да възникнат апаратни смущения, характеризиращи се с големи и случайни отклонения на произволни места по изследваната крива. Те я правят непригодна за последващата математическа обработка включваща диференциране.

След като се запишат няколко характеристики, от тях трябва да се избере една представителна характеристика. Следващата обработка на тази представителна характеристика има за цел да се определи динамиката на топлоотделянето на изследвания ДВГ.

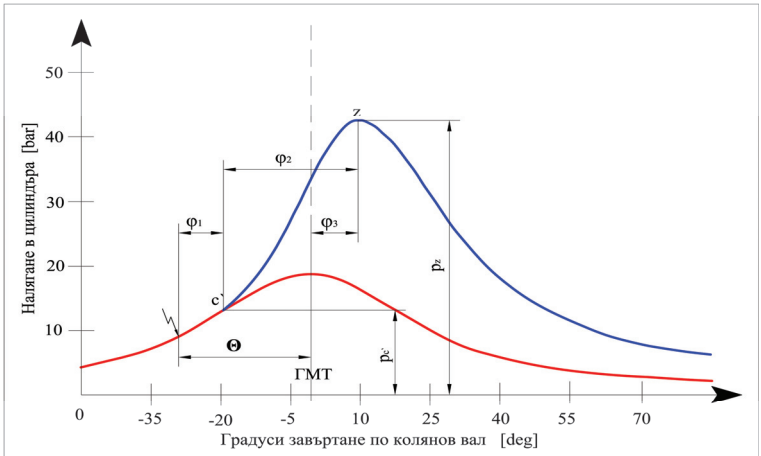
ИЗЛОЖЕНИЕ

Бензиновите двигатели се характеризират с висока неравномерност на работа от цикъл в цикъл, дължаща се на неравномерното разпределение на горивото по цилиндрите, от въздушното съпротивлението в тях и т.н.. По стените на пълнителния колектор се образува пълзящ горивен слой, който води до различен състав на гориво–въздушната смес във всеки цилиндър. Нееднаквостта на състава на гориво – въздушната смес във всеки цилиндър води до това, че част от цилиндрите работят с богата гориво-въздушна смес и в отработилите газове се съдържа голяма концентрация на CO и CH, а друга част от цилиндрите работят с бедна гориво - въздушна смес, при което се увеличават азотните оксиди NO_x.

За намирането на представителна характеристика, се прилага това, че неравномерността от цикъл в цикъл при еднакви положения на коляновия вал се изменя по нормален закон на разпределение, и тази характеристика може да се намери чрез използване на математическа статистика за определяне на точкови оценки [1]. Следователно за определяне на търсената характеристика е необходимо да се получат: усреднената стойност на оценявания параметър, оценката на параметъра, реализацията на оценката, висока надеждност на оценката и ниска дисперсия на оценявания параметър. При пресмятанията се използва следния метод за определяне на представителната характеристика: избира се тази диаграма, за която стойностите в определени характерни точки (**Θ** момент на подаване на електрическата искра, $\boldsymbol{\varphi_{c`}}$ точка от зоната на видимото горене и $\mathbf{p_z}$ точката с максимално налягане) съвпадат или са най-близки с математически усреднените стойности в съответните точки, взети от интервал с най-голяма дисперсия от множеството диаграми.

Параметри на процеса горене:

На фиг.1 са показани основните параметри на процеса горене, които се отчитат от индикаторната диаграма:



където:

Θ – момент на подаване на електрическата искра [° к.в.];

$p_{c'}$ - налягане при което започва видимото горене [MPa];

$\varphi_{c'}$ – момент при който започва видимото горене **$\varphi_{c'} = \varphi_2 - \varphi_3$** [° к.в.];

p_z – максимално налягане по време на процеса горене [MPa];

φ_z – момент при който наляга-нето има максимална стойност **φ_3** на фиг.1 [° к.в.];

$\Delta p/\ \Delta\varphi = p_z - p_{c'}/\varphi_z - \varphi_{c'}$ - средна скорост на нарастване на налягането в цилиндъра [MPa/ deg];

φ_1 – определя периода на задържане на възпламеняването [° к.в.].

φ_2 – определя периода на основно горене [° к.в.].

След диференциране на индикаторната диаграма се получава диаграмата dp/dφ = f(φ), от която се отчита максималната скорост на нарастване на налягането по време на процеса горене - $(dp/d\varphi)_{max}$ [MPa/ deg].

Ако използваме анализ на топлоотделянето основан на първия закон на термодинамиката, чрез обработка на данни от реална индикаторна диаграма, към получените резултати ще бъдат добавени и топлинните загуби в следствие на износване на двигателя, увеличени хлабини и др. Затова пресмятанията се извършват чрез определяне на характеристиката на активно топлоотделяне **$X_a = f(\varphi)$**, където не се отчитат топлинните загуби при процеса горене.

При пресмятанията е използвана методика на Б. Шароглазов [5], според която уравнението по линията на горене от индикаторната диаграма може да се раздели на отделни участъци за които може да се запише първия закон на термодинамиката в следния вид:

$$Q_{x_{1\div2}} = \mu C_{v_{1\div2}}.(T_2 - T_1) + \int_{V_1}^{V_2} pdV \qquad (1)$$

където: $Q_{x\ 1\div2}$ – използваната топлина за повишаване на вътрешната енергия и за осъществяването на работа в разглеждания участък 1 ÷ 2 по индикаторната диаграма;

$\mu C_{v\ 1\div2}$ – молен специфичен топлинен капацитет при постоянен обем в разглеждания участък 1 ÷ 2 по индикаторната диаграма;

pdV – работа извършена от газовете при промяна на обема в цилиндъра от V_1 до V_2;

Температурата на газовете във всеки един момент се определя от уравнението:

$$T = \frac{T_{c'}}{p_{c'}.V_{c'}}.\frac{p.V}{\beta} \qquad (2)$$

където: β – действителен коефициент на молно изменение,

$\beta = M_0+M_r+\Delta M/ M_0-M_r$, M_0 – маса на свежото работно вещество [kmol];

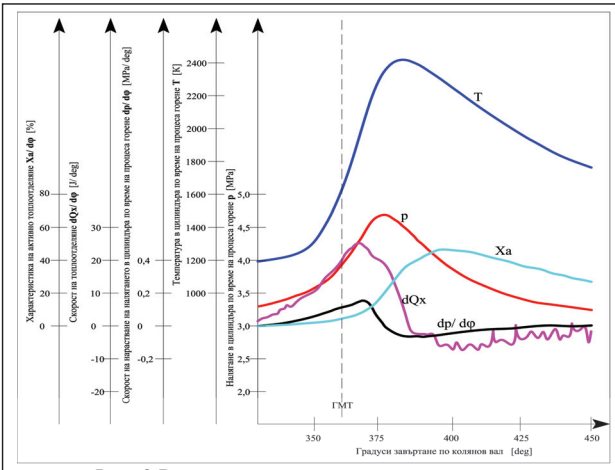
M_r – маса на отработените газове [kmol];

ΔM – увеличение на масата на работното вещество за интервал от време t. Когато t = 0 → ΔM = 0 и при $t = t_z$ → $\Delta M = \Delta M_{max}$. За всеки един момент от време $\Delta M = \Delta M_{max}.X_a$.

$T_{c'}$, $p_{c'}$, $V_{c'}$ - температура, налягане и обем в момента на начало на видимото горене;

p, V – текущи налягане и обем на цилиндъра.

Характеристика на активно топлоотделяне $\mathbf{X_a}$ се нарича частта от отделеното количество топлина във функция от завъртането на коляновия вал.



Фиг. 2 Резултати от топлинните пресмятания

$$X_a = \frac{Q_x(\varphi)}{\delta.H_u.q_c} \qquad (3)$$

където: Q_x (φ) – количество топлина внесено в цилиндъра на двигателя по време на процеса горене в даден момент от завъртането на коляновия вал;

δ – коефициент на разпределяне на топлината (отчита загубите на топлина вследствие на непълното изгаряне на горивото, несъвършенството на горивния процес и т.н.);

H_u – специфична долна топлина на изгаряне на горивото [kJ/ kg];

q_c – циклова порция гориво.

Резултатите от пресмятанията се представят в графичен вид, показан на фиг. 2.

След направените пресмятания, от графиките могат да се отчетат:

T_{max} – максималната температура по време на процеса горене [K];

φ_z – ъгъл от завъртане на коляновия вал отговарящ на момента на максимално налягане в цилиндъра [deg];

p_z – максимално налягане в цилиндъра на двигателя по време на процеса горене [MPa];

$Q_{x\,max}$ – максимална стойност на топлоотделянето [J];

$X_{a\,max}$ – максимална стойност на отношението на активното топлоотделяне;

Чрез анализирането на индикаторните показатели можем да направим заключение за това доколко ефективно е преобразуването на химическата енергия на горивото в механична работа на двигателя. Тези показатели са: средно индикаторно налягане, индикаторна мощност, индикаторен к.п.д. и индикаторен специфичен разход на гориво.

Средното индикаторно налягане $\mathbf{p_i}$ показва извършената работа на буталото вследствие налягането в цилиндъра за един работен цикъл.

$$p_i = \frac{L_i}{V_h}, \quad [\text{MPa}] \tag{4}$$

Където: L_i – индикаторната работа извършена за един цикъл [J];
V_h – ходов обем на цилиндъра [m^3].
Индикаторната работа се определя от израза [Райков]:

$$L_i = \int_0^{4\pi} p.\frac{dV}{d\varphi}, \quad [\text{J}] \tag{5}$$

Индикаторната мощност $\mathbf{P_i}$ показва каква индикаторна работа е извършена от налягането на газовете във всички цилиндри на двигателя за единица време.

$$P_i = \frac{p_i.V_h.i.n}{30.\tau}, \quad [\text{kW}] \tag{6}$$

Където: i – брой цилиндри;
n –честота на въртене на двигателя;
τ – тактност на двигателя.

Индикаторният к.п.д. показва каква част от топлината получена от изгарянето на горивото се преобразува в полезна работа, като отчита всички топлинни загуби от процесите за един действителен работен цикъл.

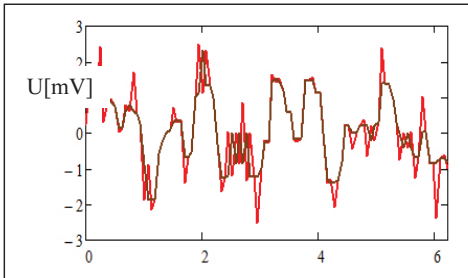
$$\eta_i = 3{,}6.\frac{P_i}{G_h.H_u}, \tag{7}$$

Където: P_i – индикаторна мощност [kW];
G_h – часов разход на гориво [kg/ h]
H_u – специфична долна топлина на изгаряне на горивото [MJ/ kg];

Индикаторният специфичен разход на гориво показва какво количество гориво в грамове, изразходва двигателя за един час работа за да развие мощност от един киловат.

$$g_i = 10^3.\frac{G_h}{P_i}, \quad [\text{g/ kW.h}] \tag{8}$$

Преди да се пристъпи към пресмятането на необходимите за анализа параметри, от индикаторната диаграма трябва да се премахнат всички външни смущения от записания сигнал, както и да се изглади самата диаграма. За премахването на първия вид смущения е използван метода на „пълзящата медиана“.

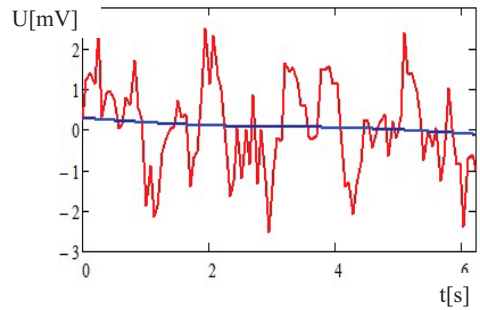


Фиг. 3 Метод „пълзяща медиана“

На фиг. 3 е показан резултата от обработката на част от диаграмата по този метод, като с червен цвят е показана част от кривата на налягането снета чрез АЦП, а с кафяв цвят вече обработена крива по метода „пълзяща“ медиана. Вижда се, че в точката където е имало смущение, след обработката и кривата се изкривява, е пренебрежимо малко и може да се счете, че смущението е премахнато.

След предварителната обработка на данните от резултатите, следва отделянето на диаграмите една по една с цел последващата им обработка за определяне на характеристиките от процеса горене за всеки един работен цикъл.

За последващата обработка е необходимо да се премахне стъпаловидният характер на изследваната диаграма, като по този начин данните се представят в удобен за последващо диференциране вид, тъй като за коректното пресмятане на характеристиката на активното топлоотделяне е нужно диаграмата да бъде гладка и монотонна. Също така за последващите аналитични пресмятания е по-удобно кривата от изменението на налягането в цилиндъра да се представи във функция от градуси завъртане на коляновия вал. За изглаждането на получените индикаторни диаграми е използван метод на Гаус, чрез който се изчисляват средните значения на всеки елемент на началния вектор. Този метод се използва при изглаждане (филтриране) на функции на които елементите (точките) са през интервали с приблизително равна ширина.



Фиг. 4 Графика изгладена чрез метод на Гаус

Като резултат се получава изгладена крива, която е удобна за последващата обработка. На фигура 4 е показана примерна графика на изгладена крива чрез тази функция. С червена линия е показана линията на изходната графика, а със синя линия - вече изгладената крива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чрез изложената методика, може бързо с помощта на компютър да се пресметнат ефективните, индикаторните и топлинни показатели на изпитвания двигател. Също така лесно могат да се определят и основни точки от индикаторната диаграма, необходими за анализирането на горивния процес протичащ в цилиндъра.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Градинаров П. Методи за обработка на експериментални данни, Варна, изд. ТУ-Вн, 2008 г.

[2] Кавтарадзе Р. Локальный теплообмен в поршневых двигателях, Москва, изд. МГТУ, 2001.

[3] Колчин А., В. Демидов. Расчет автомобильных и тракторных двигателей, Москва, изд. „Высшая школа“, 2008 г.

[4] Николова М. Изчисления с Mathcad, Варна, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, 2008 г.

[5] Шароглазов Б., М.Фарафонтов, В.Клементьев. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов, Челябинск, изд. ЮУрГУ, 2004 г.

За контакти:

ас. инж. Радостин Димитров, катедра ”Транспортна техника и технологии” при МТФ на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 817М, e-mail: R_Dimitrov@tu-varna.bg;

доц. д-р. инж. Красимир Богданов, кат. ”Транспортна техника и технологии” при МТФ на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 805М

гл.ас. д-р. инж. Росен Христов, катедра ”Транспортна техника и технологии” при МТФ на ТУ-Варна , ул. Студентска № 1, 805М

Докладът е рецензиран.