

## МЕТОДИКА ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ДЕЙСТВАЩИТЕ ВЪРХУ КОЛЯНО-МОТОВИЛКОВИЯ МЕХАНИЗЪМ СИЛИ И ВЪРТЯЩ МОМЕНТ

Детелин Василев, Мариан Мутафчиев  
[dvasilev@vtu.bg](mailto:dvasilev@vtu.bg), [marian\\_mutafchiev@abv.bg](mailto:marian_mutafchiev@abv.bg)

Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
1574, София, ул. „Гео Милев” 158  
БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** коляно-мотовилковия механизъм, инерционна сила, газова сила

**Резюме:** В работата е представен опростен термодинамичен модел за определяне на газовата сила и точно (без приближение) определяне на инерционната сила. На основата на това са намерени сумарната сила и въртящ момент на едноцилиндров и четирицилиндров четиритактови двигатели с вътрешно горене.

При движение на коляно-мотовилковия механизъм действащите върху неговите елементи сили са инерционната и газовата сила.

Инерционната сила се формира от неравномерното движение на буталото. За нейното определяне нека да се разгледа движението на аксиален коляно-мотовилков механизъм, както е дадено на фиг. 1. Дължините на коляното и мотовилката са съответно  $R$  и  $L$ , а тяхното отношение се означава с  $\lambda = \frac{R}{L}$ . С  $\varphi$  се означава ъгълът на завъртане на коляното.

Законът на движение на буталото във функция на ъгълът на завъртане на коляновия вал  $x = x(\varphi)$  може да се изрази като се извършат преобразуванията:

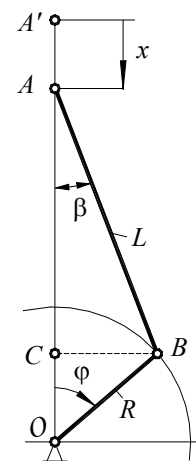
$$x = \overline{OA'} - \overline{OA} = \overline{OA'} - (\overline{OC} + \overline{CA}),$$

$$x = R + L - (R \cos \varphi + L \cos \beta),$$

$$x = R \left( 1 + \frac{1}{\lambda} - \cos \varphi - \frac{1}{\lambda} \cos \beta \right).$$

Зависимостта между ъглите  $\varphi$  и  $\beta$  се намира от равенството  $CB = R \sin \varphi = L \sin \beta$  или  $\sin \beta = \lambda \sin \varphi$ . От тук се

определя  $\cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}$ . Така се определя окончателния израз за законът на движение на буталото:



Фиг. 1

$$(1) \quad x = R \left[ 1 - \cos \varphi + \frac{1}{\lambda} \left( 1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi} \right) \right].$$

След определяне на закона на движение на буталото може да се запише закона за изменение на ходовия обем във функция на ъгълът на завъртане на коляното във вида:

$$(2) \quad V(\varphi) = \frac{\pi D^2}{4} \left( \frac{2R}{\varepsilon - 1} + x \right),$$

където  $D$  е диаметърът на буталото, а  $\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}$  - степента на сгъстяване (фиг. 2).

Скоростта на буталото във функция на ъгълът на завъртане на коляновия вал  $v = v(\varphi)$  се определя след диференциране на (1) по времето:

$$(3) \quad v = \dot{x} = \omega R \left( \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \frac{\sin 2\varphi}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}} \right).$$

Ускорението на буталото във функция на ъгълът на завъртане на коляновия вал  $j = j(\varphi)$  се определя след диференциране на (3) по времето:

$$(4) \quad j = \dot{v} = \omega^2 R \left[ \cos \varphi + \lambda \frac{\cos 2\varphi (1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi) + \frac{\lambda^2}{4} \sin^2 2\varphi}{(1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi) \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}} \right].$$

При така определено ускорение на буталото се намира инерционната сила във вида:

$$(5) \quad P_j = j m_j,$$

където  $m_j$  е приведената маса на буталото.

За определяне на газовата сила се разглежда индикаторната диаграма, която е дадена на фиг. 2.

Внесеното количество топлина  $Q_1$  се определя от израза:

$$(6) \quad Q_1 = g_u H_u,$$

където  $g_u$  е цикловата порция гориво, а  $H_u$  - долната специфична топлина на изгаряне на горивото.

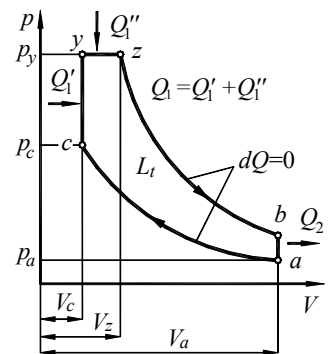
Приема се, че процесът на сгъстяване  $a-c$  е адиабатен, като налягането в т.  $c$  се определя от израза:

$$(7) \quad p_c = c p_a \varepsilon^k,$$

където  $c$  е коефициент, характеризиращ загубите по време на сгъстяване,  $p_a = 0,9 \cdot 10^5 [Pa]$ , а  $k$  е показателят на адиабатата.

Изменението на налягането в процеса на сгъстяване  $a-c$  се променя съгласно израза:

$$(8) \quad p_i = p_{i-1} \left( \frac{V_{i-1}}{V_i} \right)^k.$$



Фиг. 2

В участъка  $c - y$  се внася топлина при постоянен обем и налягането в края на участъка е:

$$(9) \quad p_y = cp_a \varepsilon^k + \frac{nQ_1 y (k-1) \varepsilon}{V_a},$$

където  $n$  е коефициент на разпределяне на внасяната топлина, който за дизелови двигатели е  $n=0,5 \div 0,55$ , а за бензинови -  $n=0,8 \div 0,9$ ,  $y$  - коефициент, характеризиращ загубите по време на горене, при постоянен обем.

В участъка  $y - z$  се внася топлина при постоянно налягане и обемът в края на участъка е:

$$(10) \quad V_z = \frac{V_a [(1-n+kn)(k-1)Q_1 y z + c \varepsilon^{k-1} k p_a V_a]}{k \varepsilon [n(k-1)Q_1 y z + c \varepsilon^{k-1} k p_a V_a]},$$

където  $z$  е коефициент, характеризиращ загубите по време на горене, при постоянно налягане.

Налягането  $p_b$  във фазата на изпускането се определя от израза:

$$(11) \quad p_b = \frac{b}{\varepsilon^{k-1} k^k V_a} \frac{[(1-n+kn)(k-1)Q_1 y z + c \varepsilon^{k-1} k p_a V_a]^k}{[n(k-1)Q_1 y + c \varepsilon^{k-1} p_a V_a]^{k-1}},$$

където коефициентът  $b$  характеризира загубите по време на изпускане.

При така определеното налягане  $p_z$  се определя газовата сила от следния израз:

$$(12) \quad P_z = \frac{\pi D^2}{4} p_z.$$

Сумарната сила, действаща върху коляно-мотовилковия механизъм се определя като сума от газовата и инерционната сили:

$$(13) \quad P_\Sigma = P_z + P_j.$$

Въртящият момент при едноцилиндров двигател се определя от израза:

$$(14) \quad M_\varepsilon^1 = P_\Sigma \frac{\sin[\varphi + \arcsin(\lambda \sin \varphi)]}{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}.$$

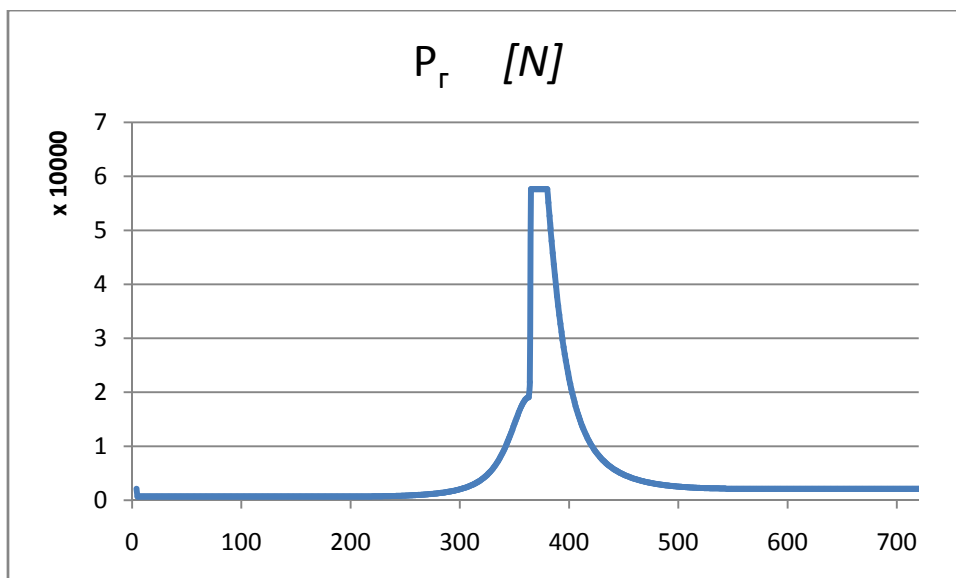
При четирицилиндров двигател въртящия момент се намира от израза:

$$(15) \quad M_\varepsilon^4 = M_\varepsilon^1(\varphi_0) + M_\varepsilon^1(\varphi_{180}) + M_\varepsilon^1(\varphi_{360}) + M_\varepsilon^1(\varphi_{540}).$$

Така разписаната методика е приложена при определяне на силите и въртящия момент на конкретен четирицилиндров четиритактов двигател с вътрешно горене, на основата на дизеловия двигател  $D3900$ , при следните числови стойности на параметрите:

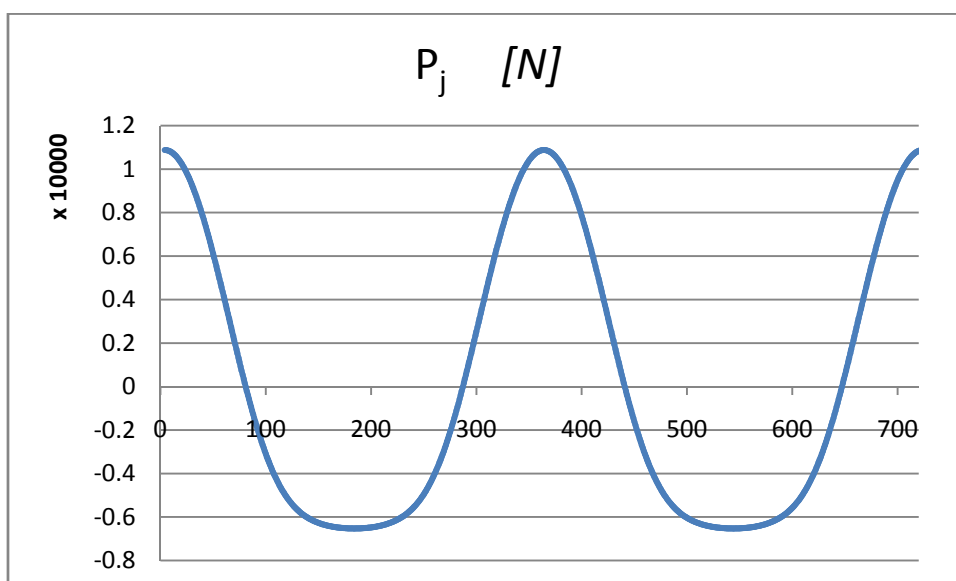
$k=1,33$	$y=0,95$	$\varepsilon=16$	$D=0,09842[m^2]$
$c=0,8$	$z=0,95$	$m_j=2[kg]$	$R=0,0635[m]$
$n=0,52$	$b=0,95$		$V_a=0,001030597[m^3]$

При проведеното числено изследване изменението на газовата сила в зависимост от ъгълът на завъртане  $\varphi$ , съгласно (12) се илюстрира на фиг. 3.



Фиг. 3

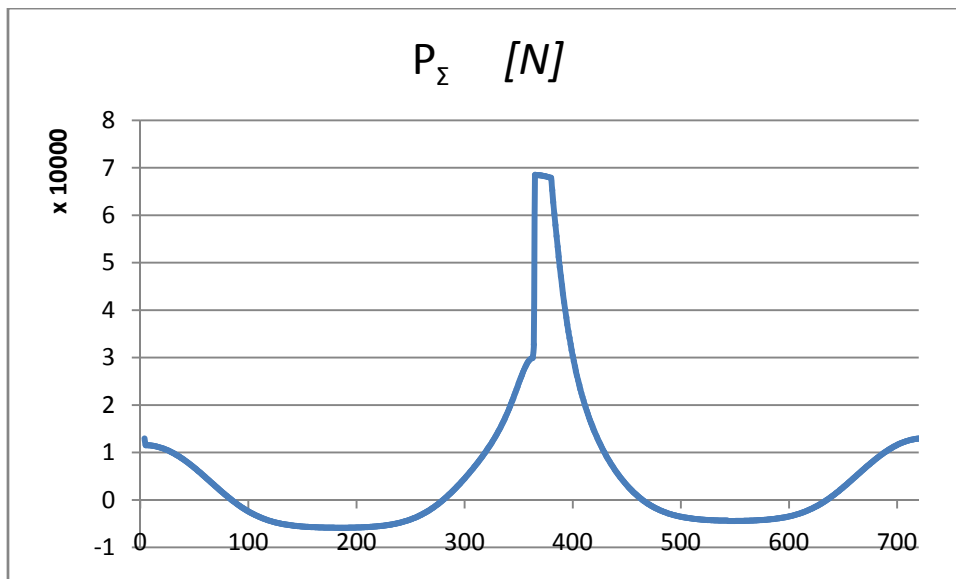
Изменението на инерционната сила при двете завъртания на колянвия вал, съгласно (5) е показано на фиг. 4.



Фиг. 4

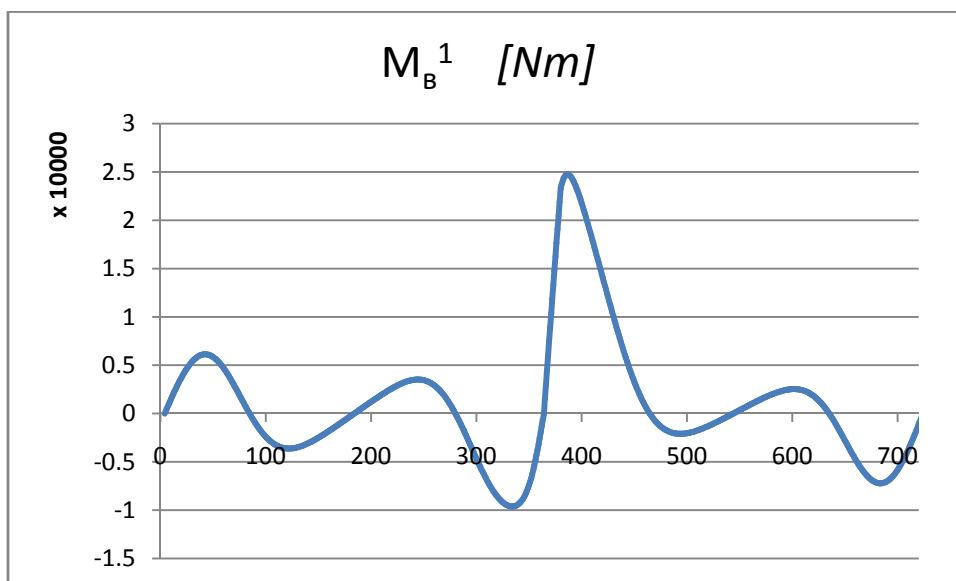
От тези две фигури се вижда, че газовата сила е доминираща над инерционната сила.

Промяната на сумарната сила, съгласно (13) е илюстрирана на фиг. 5.



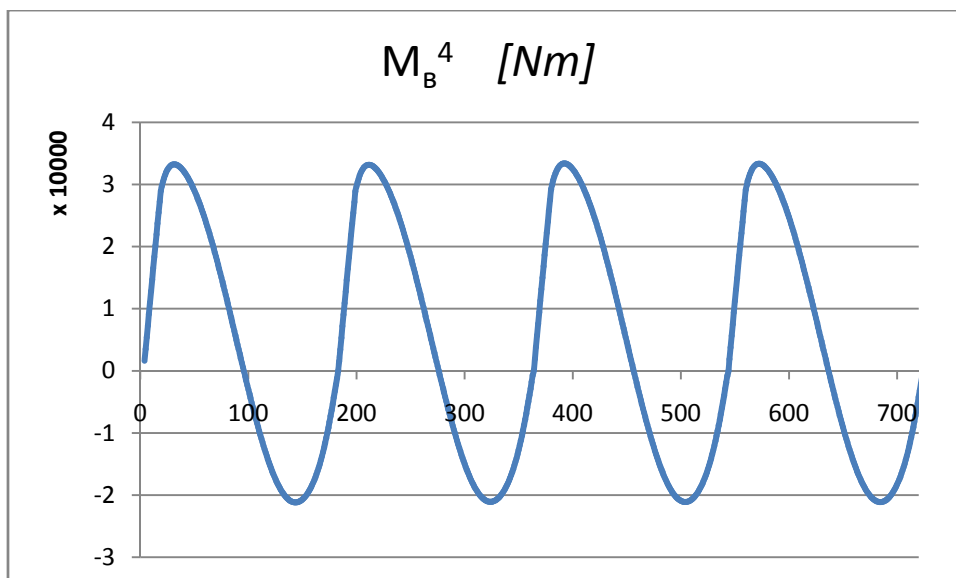
Фиг. 5

Изменението на въртящия момент при едноцилиндров двигател, съгласно (14) при така определената сумарна сила е показано на фиг. 6.



Фиг. 6

Въртящия момент при четирицилиндров двигател за двете завъртания на колянвия вал е илюстриран на фиг. 7.



Фиг. 7

В заключение може да се каже, че е представена една методика, при която се определя точно (без приближения) инерционната сила действаща върху буталото на коляно-мотовилков механизъм и с опростен термодинамичен модел – газовата сила. С методиката се определя изменението на въртящия момент при едноцилиндров четиритактов двигател с вътрешно горене и сумарния въртящ момент при четирицилиндров четиритактов двигател. Методиката може да се прилага при начални динамични изследвания на двигатели с вътрешно горене.

#### ЛИТЕРАТУРА:

[1] Мутафчиев М. Н., Двигатели с вътрешно горене – монография, София, 2009, стр. 146

[2] Мутафчиев М. Н., Ръководство за курсово проектиране на двигатели с вътрешно горене, София, ВТУ „Тодор Каблешков”, ISBN 978-954-12-0198-5, 2011, стр. 114

# METHODOLOGY FOR DETERMINING ACTING ON THE CRANKSHAFT FORCES AND MOMENTS

**Detelin Vasilev, Marian Mutafchiev**  
[dvasilev@vtu.bg](mailto:dvasilev@vtu.bg), [marian\\_mutafchiev@abv.bg](mailto:marian_mutafchiev@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.*  
*Bulgaria*

**Key words:** *crankshaft mechanism, inertia force, gas force*

**Abstract:** *This paper presents a simple thermodynamic model to determine the gas force and accurate (without approximation) determine the inertial force. Based on this the total force and torque on the one-cylinder and four-cylinder four-stroke internal combustion engines are found.*