

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ

*Доктор технічних наук Гутаревич Ю.Ф.,
Сирота О.В.*

Вступ. Відомо, що регулювання потужності двигунів з іскровим запалюванням (бензинових, газових) здійснюється дроселюванням паливоповітряної суміші. Такий метод регулювання є однією з причин значного погіршення паливної економічності цих двигунів в режимах холостого ходу і часткових навантажень. Тому безперервно йде пошук інших методів регулювання потужності таких двигунів. Одним з таких методів є комбінований метод, суть якого полягає в відключенні групи циліндрів в вказаних режимах роботи і значно меншому дроселюванні працюючих циліндрів. Одним з найбільш доступних способів відключення групи циліндрів є припинення подачі палива в циліндри без зміни системи газообміну.

Огляд публікацій. Дослідження комбінованого методу регулювання потужності проводилось в раніше виконаних роботах [1, 2, 3].

В цих дослідженнях експериментально встановлено що перехід від дроселювання до відключення групи циліндрів дозволяє покращити паливну економічність двигуна. Разом з тим, не проводилось детальних досліджень причин такого покращення паливної економічності.

Мета роботи. Метою роботи є визначення зміни індикаторних показників двигуна та механічних втрат в двигуні при переході від дроселювання до комбінованого методу регулювання потужності.

Рішення задачі. Для порівняння і обґрунтування можливості покращення паливної економічності двигуна при комбінованому методі регулювання потужності необхідно визначити індикаторні показники роботи двигуна і механічні втрати і порівняти їх з методом дроселювання при однакових ефективних енергетичних показниках двигуна (крутний момент, потужність, середній тиск).

Індицирування робочого процесу при різних методах регулювання потужності дозволяє порівняти індикаторні показники двигуна (середній індикаторний тиск, індикаторну потужність, індикаторний к.к.д.) , а з використанням заміряних ефективних показників визначити механічні втрати. Порівняння індикаторних показників і механічних втрат при дроселюванні і комбінованому методах регулювання дозволяє обґрунтувати доцільність переходу на комбінований метод з точки зору поліпшення паливної економічності двигуна.

Такі дослідження були проведені в Національному транспортному університеті. Дослідження проводились на двигуні 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 LE) з груповою системою впорскування. При комбінованому методі відключались три з шести циліндрів. Порівняння показників проводилось при крутному моменті 50 Нм і частоті обертання 2000 хв⁻¹. Вибір такого режиму пояснюється тим, що в цьому режимі ще не має місця збагачення суміші і двигун на трьох циліндрах працює з відкриттям дросельних заслінок, близьких до повного (розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_k = 14,5$ кПа при $n=2000$ хв⁻¹).

Для індицирування в циліндрі двигуна, який не відключається, встановлено перехідник для можливості передачі тиску з камери згоряння через рідинну оболонку до чутливого елемента. Для запису сигналу тиску використовувався високотемпературний тензометричний перетворювач тиску МИДА–ДИ–12П–081, сигнал з якого підсилювався і після відсіву високочастотного шуму подавався на USB осцилограф. Далі сигнал потрапляв на ПК, на якому встановлена програма для запису осцилограм “usbOscilloscope 2”. Одночасно здійснювався запис сигналів з датчика ВМТ, моменту проскакування іскри, кута відкриття дросельної

заслінки та розрідження у впускному трубопроводі. Приклад запису осцилограм з даних датчиків показано на рис. 1.

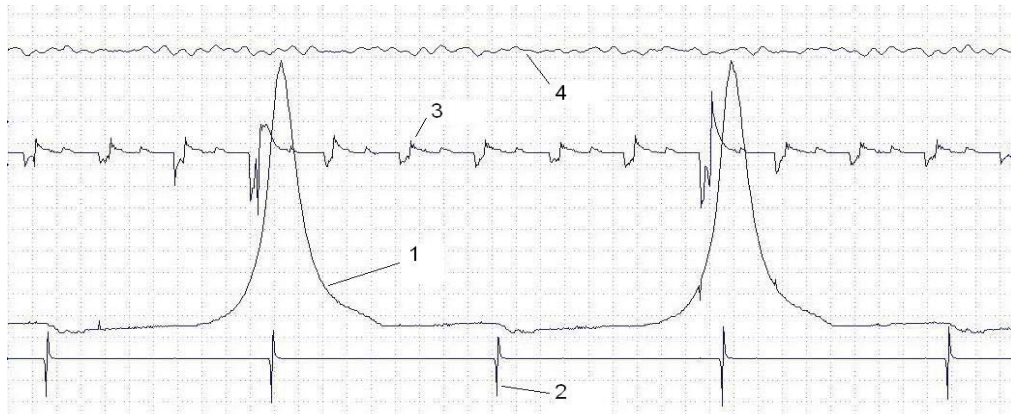


Рис. 1. Фрагмент запису осцилограми: 1) тиску, 2) ВМТ, 3) моменту проскакування іскри, 4) розрідження у впускному трубопроводі

Для визначення дійсних значень тиску і отримання індикаторної діаграми зміни тиску в циліндрі сигнал напруги від датчику тиску оцифровувався з частотою дискретності 50 кГц і переводився в дійсні значення тиску за допомогою коефіцієнтів, які були визначені з тарувальних графіків. Після видалення електричних аномалій від інших датчиків та визначення моменту проскакування іскри і ВМТ отримувались розгорнуті індикаторні діаграми для розрахунку індикаторних показників циклу. Приклад розгорнутої індикаторної діаграми при роботі двигуна на трьох циліндрах при частоті обертання $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ і зовнішньому навантаженні $M_k = 50 \text{ Нм}$ ($N_e=10,47 \text{ кВт}$) показано на рис. 2.

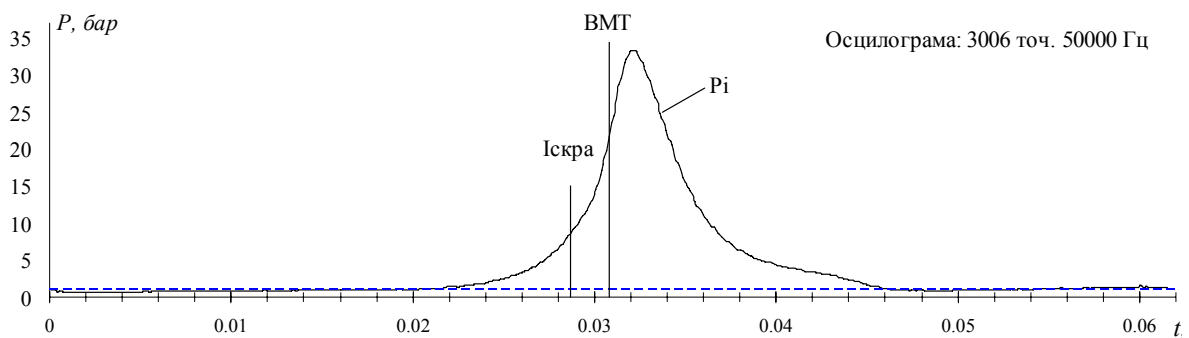


Рис. 2. Розгорнута індикаторна діаграма тиску

Для розрахунку з розгорнутої індикаторної діаграми визначались кількість точок в діаграмі, інтервал часу між двома точками, *мс*, тривалість циклу, *мс*, точна частота обертання $n, \text{ хв}^{-1}$, крок розрахунку $\varphi, \text{ град}$, кут випередження запалювання $\Theta, \text{ град п.к.в.}$

Для розрахунку індикаторних показників циклу і характеристик тепловиділення з індикаторних діаграм використовувалась програма в середовищі Mathcad, розроблена на кафедрі “Двигуни і теплотехніка” [4].

В ході розрахунку були визначені такі величини:

Для побудови індикаторної діаграми в системі координат $P - V$ визначалось поточне значення об'єму циліндра від кута повороту колінчастого вала, яке описується формулою, м^3 :

$$V_i = \frac{V_h}{\varepsilon - 1} + 0,5 \cdot V_h \cdot [1 - \cos \varphi_i + \frac{S}{8 \cdot L} \cdot (1 - \cos 2\varphi_i)], \quad (1)$$

де V_h - робочий об'єм циліндра, m^3 ; ε - ступінь стискання; S - хід поршня, m ;
 L - довжина шатуна, m ; φ_i - поточне значення кута повороту кривошипа, *град п.к.в.*

Для визначення показників робочого процесу двигуна з індикаторних діаграм методом чисельного інтегрування визначалась корисна робота циклу, яка описується виразом, $H\cdot m$:

$$L_i = \int_{360}^{540} PdV - \int_{180}^{360} PdV + \int_0^{180} PdV - \int_{540}^{720} PdV. \quad (2)$$

де P – поточне значення тиску, *бар*;

dV - зміна об'єму робочого тіла, внаслідок переміщення поршня, m^3 .

Використавши ці дані визначали середній індикаторний тиск в циліндрі, Pa :

$$P_i = \frac{L_i}{V_h}, \quad (3)$$

індикаторну потужність, kW :

$$N_i = \frac{L_i \cdot i \cdot n_d}{30 \cdot \tau}, \quad (4)$$

де i - кількість циліндрів; τ – тактність двигуна,

індикаторний к.к.д. двигуна як відношення роботи до енергії витраченого палива:

$$\eta_i = \frac{3600 \cdot N_i}{H_u \cdot G_{пал}}, \quad (5)$$

де $G_{пал}$ – годинна витрата палива, $kg/год$;

H_u – нижча теплота згоряння палива, $Dж/кг$. Для бензину $H_u = 44000 Dж/кг$.

Запис індикаторної діаграми виконувався з частотою 50 кГц, що більше 3000 точок зміни тиску на одній індикаторній діаграмі при частоті обертання двигуна 2000 $xв^{-1}$, що дає змогу вважати визначення роботи циклу методом чисельного інтегрування виконаним з високою точністю.

В результаті обробки десяти індикаторних діаграм при роботі двигуна з різною кількістю працюючих циліндрів отримані індикаторні показники робочого процесу в окремому циліндрі і двигуна в цілому. В табл. 1 наведені індикаторні показники двигуна, визначені за роботи на трьох циліндрах при ефективній потужності 10,47 кВт при $n = 2000 xв^{-1}$.

Таблиця 1. Індикаторні показники двигуна за роботи на трьох циліндрах ($N_e=10,47 kW$, $n=2000 xв^{-1}$).

3ц	$n, xв^{-1}$	L_i, Hm	P_i, MPa	N_i, kW	η_i
		2000	349.385	0.70628	17.1194

В табл. 2 наведені індикаторні показники, отримані за роботи на шести циліндрах в тому-же режимі роботи двигуна $N_e=10,47 kW$, $n=2000 xв^{-1}$.

Таблиця 2. Індикаторні показники двигуна за роботи на шести циліндрах ($N_e=10,47$ кВт, $n=2000$ хв⁻¹).

бц	$n, \text{хв}^{-1}$	$L_i, \text{Нм}$	$P_i, \text{МПа}$	$N_i, \text{кВт}$	η_i
	2000	180.451	0.36474	18.1528	0.29094

В наведених таблицях індикаторний к.к.д., який характеризує паливну економічність, визначений з середньоквадратичною абсолютною похибкою $\sigma_x=0,0008577$ (для випадку роботи на трьох циліндрах) та $\sigma_x=0,00044$ (для шести циліндрів), що свідчить про надійність порівняння паливної економічності за величиною отриманих в процесі обробки індикаторних діаграм значень η_i .

Як видно з наведених в таблицях даних, перехід на роботу на трьох циліндрах дозволяє підвищити індикаторний к.к.д. η_i з 0,29094 до 0,30826, тобто паливна економічність двигуна за рахунок покращення робочого процесу поліпшується на 5,6 %.

Крім того, як видно з таблиць, для отримання однакової ефективної потужності ($N_e=10,47$ кВт при $n=2000$ хв⁻¹) необхідна індикаторна потужність на трьох циліндрах зменшується, що свідчить про те, що механічні втрати в двигуні при переході на роботу з трьома циліндрами зменшується. Визначена потужність механічних втрат при роботі двигуна на шести циліндрах складає 7,68 кВт, на трьох циліндрах – 6,65 кВт. Така зміна механічних втрат також поліпшить паливну економічність двигуна, так як механічний к.к.д. при комбінованому методі регулювання в даному режимі складає $\eta_m=0,6115$, при дроселюванні - $\eta_m=0,5767$. Тоді ефективний к.к.д. при комбінованому методі дорівнює $\eta_e=0,188$, при дроселюванні - $\eta_e=0,168$, тобто можна очікувати поліпшення паливної економічності двигуна за роботи в даному режимі близько 11 %. Експериментально заміряна годинна витрата бензину в цьому режимі складає при комбінованому методі $G_{нал}=4,56$ кг/год, при дроселюванні - $G_{нал}=4,88$ кг/год. Зниження витрати палива складає близько 7 %. Отримана різниця в величині поліпшення паливної економічності пояснюється великою групою факторів, які впливають на індикаторні та ефективні показники роботи.

Разом с тим, можна стверджувати, що при переході від методу регулювання потужності дроселюванням до комбінованого методу паливна економічність бензинового двигуна поліпшується в результаті покращення робочого процесу і зменшення механічних втрат.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вплив методу регулювання потужності бензинового двигуна на механічні втрати / Гутаревич Ю.Ф., Редзюк А.М., Дядченко В.Л., Мержієвська Л.П. // Вісник НТУ. – 2007. - № 15.
2. Редзюк А.М., Говорун А.Г., Корпач А.А., Скибарко С.И. Исследование переходных режимов работы бензинового двигателя при отключении части цилиндров. Двигателестроение, 1989, №11.
3. Гутаревич Ю.Ф., Дядченко В.Л., Великорода О.С. До визначення показників роботи двигуна з системою впорскування при регулюванні його потужності відключенням групи циліндрів//Вісник НТУ.- 2005. -№10. - С. 162-166.
4. Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення ВР №01152. Україна. Програма розрахунку індикаторних показників циклу і характеристик тепловиділення за експериментальними індикаторними діаграмами двигуна внутрішнього згорання / В.П. Матейчик, М.П. Цюман (Україна). – 2 с.; 22.12.2009.