

УТОЧНЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ЗГОРАННЯ СУЧАСНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ІНДИЦІРУВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ

Доктор технічних наук Гутаревич Ю.Ф.

Карев С.В., кандидат технічних наук Сирота О.В.

В даній статті показані внесені зміни, які враховують вплив рециркуляції відпрацьованих газів, до методики розрахунку процесу згорання сучасного бензинового двигуна з іскровим запалюванням. Достовірність методики розрахунку перевірена порівнянням розрахункових і експериментальних даних.

In the article shows the changes that take into account the influence of the method of calculating the process of combustion of modern petrol engine with spark ignition and exhaust gases recirculation. The reliability calculation method is tested by comparing calculated and experimental data.

Вступ

На кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету продовжуються дослідження по застосуванню комбінованого методу регулювання потужності.

В проведених раніше дослідженнях отримано, що при застосуванні цього методу покращується паливна економічність, але має місце зростання оксидів азоту NO_x , що в свою чергу призводить до погіршення токсичних показників двигуна [1-3].

Найбільш економічно вигідним та ефективним методом зниження оксидів азоту NO_x є застосування рециркуляції відпрацьованих газів (ВГ). Тому були проведені дослідження впливу рециркуляції ВГ на показники паливної економічності та токсичні показники двигуна при застосуванні комбінованого методу регулювання потужності. За результатами досліджень шестициліндрового бензинового двигуна з системою впорскування і зворотнім зв'язком отримано зниження концентрацій та масових викидів оксидів азоту NO_x , в результаті чого сумарні масові викиди шкідливих речовин, приведені до CO , зменшились до рівня за роботи на 6-ти циліндрах, а питома ефективна витрата палива g_e залишилась без змін. Тобто має місце покращення паливної економічності в порівнянні з роботою на 6 –ти циліндрах [4-6].

Для дослідження впливу рециркуляції ВГ на робочий процес проведено індицирування бензинового двигуна 6Ч 9.5/6.98 з системою впорскування та зворотнім зв'язком при комбінованому методі регулювання потужності, обладнаного системою рециркуляції ВГ, за режиму роботи $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ та $M_k = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Вплив рециркуляції ВГ на показники роботи двигуна визначався при коефіцієнті рециркуляції ВГ $R_{BG} = 11.5\%$, що відповідає оптимальному значенню за даного швидкісного та навантажувального режиму [7]. За результатами експериментальних досліджень були отримані осцилограми тиску в циліндрі за роботи на 3-х циліндрах з рециркуляцією ВГ та без неї.

Вирішення задачі. Для отримання індикаторних показників зокрема температури в циліндрах двигуна та інших показників робочого процесу, уточнена методика розрахунку процесу згорання на основі отриманих при індицируванні двигуна індикаторних діаграм робочого процесу в циліндрі та заміряних ефективних показників.

Основою методики розрахунку є праці МАДІ стосовно розрахунку показників робочого процесу на основі експериментально отриманих індикаторних діаграм [8].

З експериментальних індикаторних діаграм тиску в циліндрі в залежності від часу, які отримали при індицируванні двигуна, для подальших розрахунків визначається кількість точок в діаграмі, інтервал часу між двома точками, мкс, тривалість циклу, мкс, точна частота обертання n_d , хв^{-1} , крок розрахунку φ , град.

Методика розрахунку складається з наступних етапів:

- попередні розрахунки;
- розрахунок I ділянки. Проводиться розрахунок параметрів на ділянці індикаторної діаграми від $t.a$ (відповідає початку стиснення) до $t.c'$ (відповідає моменту подачі іскри в циліндрі двигуна).
- розрахунок II ділянки. Проводиться розрахунок від $t.c'$ до $t.b'$ (відповідає моменту відкриття випускного клапана).

Уточнення полягає у внесенні змін, які враховують застосування рециркуляції ВГ для кожного етапу розрахунку. Так як, сучасний бензиновий двигун на всіх режимах, крім номінального, працює на стехіометричній суміші, то розрахунок виконується за умов $\alpha \geq 1$.

Так, під час попередніх розрахунків додатково розраховуються, та вносяться зміни до розрахунку наступних величин.

Годинна витрата рециркульованих відпрацьованих газів по відношенню до 1 кг палива, кг/кг

$$G_{pг} = \frac{G_{pгг}}{G_n}, \quad (1)$$

де $G_{pгг}$ - годинна витрата рециркульованих ВГ, кг/год;

G_n - годинна витрата палива, кг/год;

Кількість молів рециркульованих відпрацьованих газів:

$$M_{pг} = \frac{G_{pгг}}{\mu_{гг}}, \quad (2)$$

де $\mu_{гг}$ - молекулярна маса ВГ, кг/кмоль;

Так як, при застосуванні рециркуляції ВГ свіжий заряд складається з палива, повітря та рециркульованих ВГ, то кількість свіжого заряду розраховується за наступною формулою:

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{\mu_n} + \frac{G_{pгг}}{\mu_{гг}}, \quad (3)$$

де μ_n - молекулярна маса палива, кг/кмоль;

α - коефіцієнт надміру повітря;

При застосуванні рециркуляції ВГ кількість продуктів згорання збільшується за рахунок додавання рециркульованих ВГ:

$$M_2 = \frac{C_T}{12} + \frac{H_T}{2} + 0.21(\alpha - 1)L_0 + 0.79\alpha L_0 + \frac{G_{pгг}}{\mu_{гг}}, \quad (4)$$

де L_0 - теоретична необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива;

При розрахунку I-ої ділянки приймається, що робоча суміш складається з:

- повітря;
- бензину;
- залишкових газів;
- рециркульованих ВГ;

З урахуванням рециркульованих ВГ розраховується наступні величини:

Внутрішня енергія робочої суміші в т. «а», $\frac{Дж}{кг}$:

$$\begin{aligned} U_a = & \alpha L_0 (20.44 + 0.0057208(T_0 + \Delta T - 273))(T_0 + \Delta T - 273) + \\ & + \frac{1}{\mu_n} 2.36\mu_n (T_0 + \Delta T - 273) + M_1 \gamma (a_r + b_r (T_r - 273))(T_r - 273) +, \\ & + M_{pг} (a_r + b_r (T_{сум} - 273))(T_{сум} - 273) \end{aligned} \quad (5)$$

де T_0 - температура повітря, К;

ΔT - підігрів свіжого заряду, К;

T_r - температура залишкових газів в циліндрі двигуна на початку стискання, К;

$T_{сум}$ - температура робочої суміші на початку стискання, К;

a_r, b_r - коефіцієнти у формулі теплоємності ВГ;

Коефіцієнти у формулі теплоємності робочої суміші:

$$A_a = \alpha L_0 20.44 + \frac{1}{\mu_n} 2.36 + M_2 \gamma a_r + M_{p_2} a_r ; \quad (6)$$

$$B_a = \alpha L_0 0.0057208 + M_2 \gamma b_r + M_{p_2} b_r , \quad (7)$$

де γ - коефіцієнт залишкових газів;

Температура в т. c' , К :

$$T_{c'} = \frac{V_c P_c \ln 30}{8314(\alpha L_0 + \frac{1}{\mu_n} + M_{p_2})(1 + \gamma)G_n} , \quad (8)$$

де V_c - об'єм камери згорання в т. c' , m^3 ;

P_c - тиск в циліндрі в т. c' , Па;

i - кількість працюючих циліндрів;

n - частота обертання колінчастого вала, xv^{-1} ;

При розрахунку II-ої ділянки приймається, що робоче тіло складається з бензину, повітря, продуктів згорання, залишкових газів та рециркульованих ВГ. Під час розрахунку II-ої ділянки враховується вплив рециркуляції в наступних величинах.

Кількість продуктів згорання, $\frac{кмоль}{кг.бенз}$:

$$M_{n.z.} = (\frac{C_T}{12} + \frac{H_T}{2} + 0.21(\alpha - 1)L_0 + 0.79\alpha L_0 + \frac{G_{p_2}}{\mu_{62}})(1 + \gamma) ; \quad (9)$$

Коефіцієнти у формулі теплоємності продуктів згорання в процесі згорання в інтервалі температур від 1000 до 2700 :

$$A_T = (48.56 \frac{C_T}{12} + 31.9253 \frac{H_T}{2} + 25.5463(0.21(\alpha - 1)L_0) + 24.4326(0.79\alpha L_0))(1 + \gamma + \gamma_{p_2}) , \quad (10)$$

де $\gamma_{p_2} = \frac{M_{p_2}}{M_1}$;

(11)

$$B_T = (0.0021738 \frac{C_T}{12} + 0.0059854 \frac{H_T}{2} + 0.021951(0.21(\alpha - 1)L_0) + 0.0016517(0.79\alpha L_0))(1 + \gamma + \gamma_{p_2}) ; \quad (12)$$

Склад продуктів згорання в i -му інтервалі II-ої ділянки:

$$(M_{CO_2})_i = \frac{C_T}{12} \chi , \quad (13)$$

$$(M_{H_2O})_i = \frac{H_T}{2} \chi , \quad (14)$$

$$(M_{O_2})_i = (0.21(\alpha - 1)L_0) \chi , \quad (15)$$

$$(M_{N_2})_i = (0.79\alpha L_0) \chi , \quad (16)$$

де χ - коефіцієнт тепловиділення;

Кількість продуктів згорання з паливоповітряної суміші:

$$(M_{nз})_i = (M_{CO_2})_i + (M_{H_2O})_i + (M_{O_2})_i + (M_{N_2})_i; \quad (17)$$

Кількість паливоповітряної суміші:

$$(M_{nc})_i = (\alpha L_0 + \frac{1}{\mu_n})(1 - \chi); \quad (18)$$

Кількість суміші рециркульованих ВГ та залишкових ВГ:

$$M_{pз} = M_{pз} + M_{1\gamma}; \quad (19)$$

Температура в циліндрі в i -му інтервалі II-ої ділянки, K :

$$T_i = \frac{(P_i V_i) n 30i}{8314((M_{nз})_i + (M_{nc})_i + M_{pз}) G_n}; \quad (20)$$

Висновки. Внесені зміни до математичної моделі дозволили отримати індикаторні показники та інші показники робочого процесу сучасного бензинового двигуна при застосуванні рециркуляції ВГ. Достовірність методики розрахунку підтверджується порівнянням розрахункових і експериментальних даних. Розрахований для вказаного вище режиму роботи двигуна середній індикаторний тиск дорівнює 0.497 мПа, з врахуванням середнього тиску механічних втрат 0.24 мПа, розрахунковий середній ефективний тиск дорівнює 0.247 мПа, а розрахунковий за експериментальними даними 0.487 мПа. Похибка складає 2%.

Література:

1. Матейчик В.П. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей совершенствование способа отключения группы цилиндров: Дис... канд. техн. наук: 05.04.02. // В.П.Матейчик - К., 1990. - 231 с.
2. Ковбасенко С.В. Покращення показників багатоциліндрових бензинових двигунів з відключенням групи циліндрів: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03. // С.В.Ковбасенко – К., 2000. – 289 с.
3. Дядченко В.Л. Підвищення паливної економічності багатоциліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03. //В.Л.Дядченко - К., 2010 – 172с.
4. Гутаревич Ю.Ф. Поліпшення показників багатоциліндрових бензинових двигунів застосуванням удосконаленого комбінованого методу регулювання потужності / Ю.Ф. Гутаревич, О.В.Сирота, С.В. Карев // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту. - Горлівка: ДНТУ, 2011. – Вип. 1(12). - С. 47–52.
5. Гутаревич Ю.Ф. Поліпшення екологічних показників сучасного бензинового двигуна при регулюванні потужності відключенням групи циліндрів / Ю.Ф. Гутаревич, С.В. Карев // Вісник центрального наукового центру транспортної академії України. - К.: Автошляховик України, 2011. – Вип. 14. - С. 29–31.
6. Гутаревич Ю.Ф. Удосконалення комбінованого методу регулювання потужності сучасного бензинового двигуна. / Ю.Ф. Гутаревич, С.В.Карев // Вісник Національного транспортного університету. - К.: НТУ, 2010. – Вип. 20. - С. 15–18.
7. Гутаревич Ю.Ф. Вплив рециркуляції відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники сучасного бензинового двигуна/ Гутаревич Юрій, Карев Станіслав/ Systems and means of motor transport (selected problems), Rzeszow 2011