

УДК 621.43

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ВПУСКУ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА ІЗ ЗМІННИМ СТУПЕНЕМ СТИСКУ

М.І. Міщенко, Ю.В. Юрченко, О.В. Савенко, О.Ю. Коломієць
Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ «Донецький національний
технічний університет»

Описана методика побудови математичної моделі процесу впуску в умовах регулювання навантаження й ступеня стиску в бензиновому двигуні внутрішнього згорання. В основу розробленої моделі впускного трубопроводу покладені рівняння термодинаміки й гідравліки

Вступ

Однією з особливостей сучасного етапу розвитку транспортного двигунобудування є те, що поряд з безперервним удосконалюванням двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), виконаних за класичною схемою, ведуться роботи щодо створення принципово нових «нетрадиційних» двигунів. Це стосується розробки їхнього робочого процесу, що забезпечує високі вимоги щодо підвищення паливної економічності і зниження токсичності відпрацьованих газів.

Істотно поліпшити економічність роботи бензинового двигуна при одночасному зниженні токсичності можливо при регулюванні ступеня стиску на часткових навантаженнях, на яких двигун працює основну частину часу.

Постановка проблеми

Як показали дослідження багатьох фірм і організацій таких, як Ficht (Німеччина) [1], DaimlerChrysler (Німеччина) [2], SAAB (Швеція) [3], НАМІ (Росія) [2], Sandia (США) [4], FEV (Німеччина) [5], Honda (Японія) [6] та ін., основними перешкодами в застосуванні змінного ступеня стиску в ДВЗ є складність конструкції пристроїв зміни ступеня стиску, їхня низька надійність, підвищені механічні втрати в двигуні, значні витрати енергії на привод механізму зміни ступеня стиску та складність конструкції і зрівноважування двигуна. Крім того, в двигунах легкого палива через неефективність системи керування при різкому збільшенні навантаження не забезпечується відповідна зміна ступеню стиску, що приводить до детонації.

Для ДВЗ із змінним ступенем стиску стоїть завдання вибору як конструктивної схеми, так і параметрів робочого процесу, що можливо шляхом розробки певних методів розрахунку.

В даній роботі вдосконалена класична методика розрахунку робочого циклу бензинового двигуна з урахуванням змінного ступеня стиску в часткових режимах.

Основна частина

У двигуні з $\varepsilon_x = \text{var}$ характер процесу наповнення циліндра свіжим зарядом і початок стиску визначаються способом регулювання навантаження й ступеня стиску. На рис.1 показані процеси наповнення й стиску для чотирьох двигунів, що мають різні способи зміни ступеня стиску. Очевидно, що всі двигуни працюють по циклу Отто, однак у ДВЗ із організацією процесу впуску по способу Міллера (схема з) і способу Аткінсона (схема в) задіяні змінні фази газорозподілу для впускного клапана.

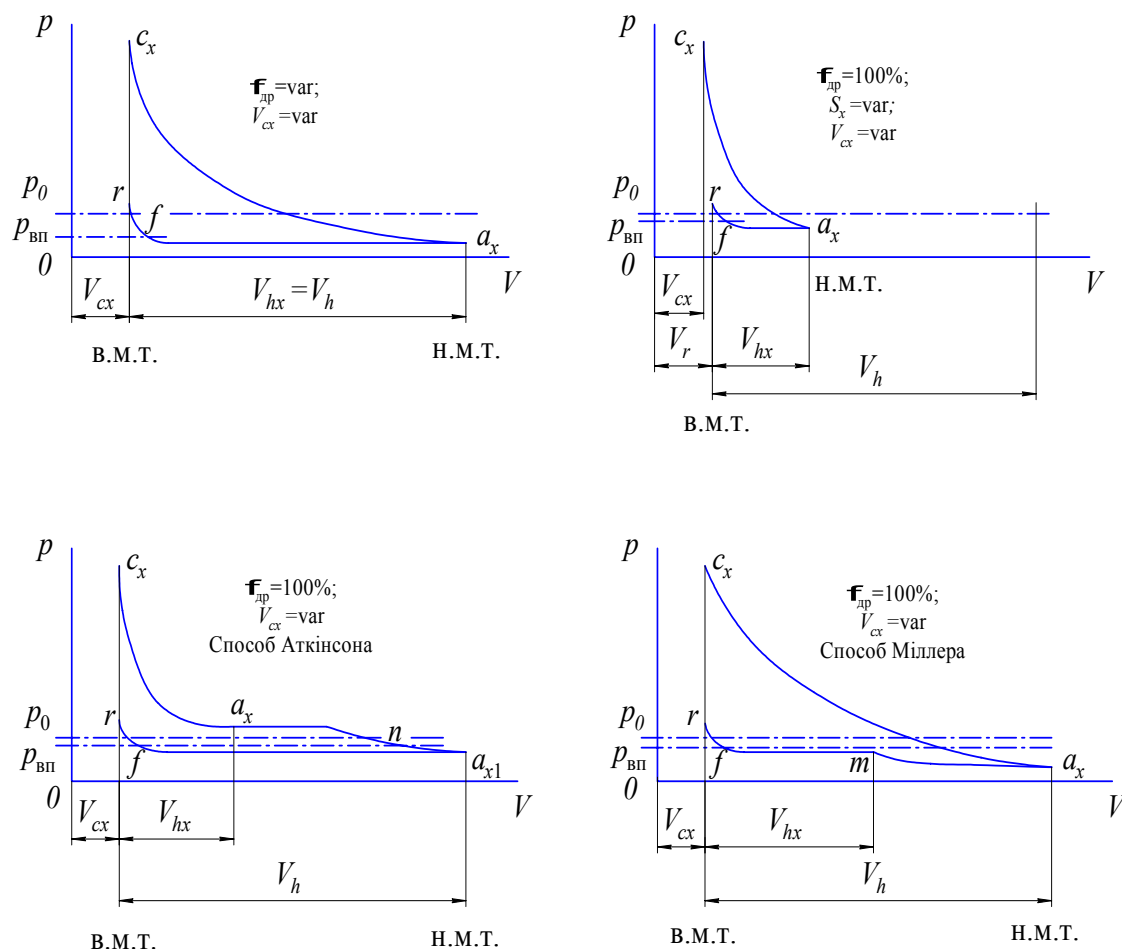


Рис. 1. Схеми процесів наповнення – стиску на частковому режимі двигуна при різних способах регулювання навантаження й ступеня стиску

Математична модель враховує кінематику двигуна, а також варіанти регулювання як навантаження двигуна, так і ступеня стиску по методах Міллера й Аткінсона.

При відкритому впускному клапані в циліндр надходить кількість свіжого заряду, рівне $dm_{\text{вп}}$, а із циліндра може витікати назад у впускний трубопровід кількість заряду (наприклад, залишкові газу), рівне $dm_{\text{вит}}$.

Для розрахунку робочого процесу на ділянці впуску будемо визначати поточні параметри стану в циліндрі двигуна p , V , T і кількість робочого тіла m , використовуючи наступні рівняння в диференціальній формі:

1. Рівняння збереження маси

$$dm = dm_{\text{вп}} - dm_{\text{вит}}, \quad (1)$$

де dm – зміна маси заряду в циліндрі.

2. Рівняння балансу енергії перетворене до виду

$$dp = \left[\frac{k}{k-1} \left(\frac{p_{\text{вп}}}{\rho_{\text{вп}}} dm_{\text{вп}} - \frac{p}{\rho} dm_{\text{вит}} - pdV \right) + dQ \right] \frac{k-1}{V}.$$

3. Рівняння стану для ідеального газу

$$pV = mRT, \quad (2)$$

Об'єм циліндра в розглянутий момент часу визначається кутом φ по формулі

$$V = V_r + 0,5V_{hx} y(\varphi). \quad (3)$$

Тут V_{hx} – регульований робочий об'єм одного циліндра;

$y(\varphi)$ – кінематична функція переміщення поршня, що для різних типів двигунів має свій вид.

Визначимо $dm_{\text{вп}}$ і $dm_{\text{вит}}$ з відомого рівняння витрати газу Сен-Венана-Ванцеля

$$\left. \begin{aligned}
 dm_{\text{вп}} &= M_{\text{вп}} f_{\text{вп}} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_{\text{вп}} c_{\text{вп}} \left[\left(\frac{p}{p_{\text{вп}}} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_{\text{вп}}} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} d\alpha && \left. \begin{aligned}
 &\text{при } p \leq p_{\text{вп}}, \\
 &p/p_{\text{вп}} > \beta_{\text{кр}};
 \end{aligned} \right\} \\
 dm_{\text{вп}} &= -M_{\text{вп}} f_{\text{вп}} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p c \left[\left(\frac{p_{\text{вп}}}{p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_{\text{вп}}}{p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} d\alpha && \left. \begin{aligned}
 &\text{при } p > p_{\text{вп}}, \\
 &p_{\text{вп}}/p > \beta_{\text{кр}}.
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned}
 m_{\text{вп.кр}} &= M_{\text{вп}} f_{\text{вп}} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p_{\text{вп}} c_{\text{вп}} \sqrt{\beta_{\text{кр}}^{\frac{2}{k}} - \beta_{\text{кр}}^{\frac{k+1}{k}}}} d\varphi && \left. \begin{aligned}
 &\text{при } p \leq p_{\text{вп}}, \\
 &p/p_{\text{вп}} \leq \beta_{\text{кр}}.
 \end{aligned} \right\} \\
 dm_{\text{вп.кр}} &= -M_{\text{вп}} f_{\text{вп}} \frac{1}{6n} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p c \sqrt{\beta_{\text{кр}}^{\frac{2}{k}} - \beta_{\text{кр}}^{\frac{k+1}{k}}}} d\alpha && \left. \begin{aligned}
 &\text{при } p > p_{\text{вп}}, \\
 &p_{\text{вп}}/p \leq \beta_{\text{кр}}.
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Тут $\mu_{\text{вп}}$, $\mu_{\text{вит}}$ – коефіцієнти витрати впускного клапана в період відповідно впуску й витікання заряду;

$f_{\text{вп}}$, $f_{\text{вит}}$ – поточна площа прохідного перерізу впускного вікна при впуску й витіканні заряду;

$p_{\text{вп}}$, $\rho_{\text{вп}}$ і p , ρ – тиск і густина відповідно у впускному трубопроводі перед впускним клапаном і в циліндрі;

φ – кут повороту колінчастого вала від в.м.т. в °п.к.в.;

n – частота обертання колінчастого вала у хв^{-1} ;

$\beta_{\text{кр}}$ – критичне відношення тисків.

Поточний коефіцієнт наповнення

$$\eta_{V_{\text{ц}}} = \frac{m}{V h_x c_0} = \frac{4m}{\pi D^2 S_x c_0} \quad (6)$$

Індикаторна робота процесу впуску

$$L_{\text{вп}} = \int_{V_r}^{V_{ax}} p dV, \quad (7)$$

Висновки

Для розрахунково-теоретичних досліджень розроблена математична модель процесу впуску чотиритактного бензинового двигуна з регульованим ступенем стиску. У модель входять математичні підмоделі, що описують термодинамічні параметри у впускному трубопроводі й циліндрі двигуна. Процеси розраховувалися на ЕОМ шляхом чисельного інтегрування диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутта 4-го порядку. Підтверджено адекватність математичної моделі.

Розроблені алгоритми й програми процесу впуску двигуна дають можливість оцінити вплив режимних і конструктивних параметрів двигуна на показники впускної системи.

Бібліографічний список

1. Neuartiger Zweitaktmotor mit keramischen Werkstoffen wurde ausgezeichnet: Weniger ist oft mehr Seifeit Eberhant // AMZ: Auto Mot. Zubehoer. – 1989. – 77, № 9. – S. 78 - 79.

2. Зленко М.А., Кутенев В.Ф., Тер-Мкртчян Г.Г. Некоторые вопросы создания бензинового двигателя с регулируемой степенью сжатия // Проблемы конструкции двигателей и экология: Сб. науч. тр. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 1999. – Вып. 224. – С. 21-38.

3. «Saab Reveals Unique Engine Concept That Offers High Performance and Low Fuel Consumption.» Internet. 4 May 2001. Available <http://www.saabnet.com/tsn/press/000318.html>.

4. Pouliot H. N., Robinson C. W. and Delameter W. R. Variable- Displacement Spark-Ignition Engine Final Report. Report № SAND77-8299, Sandia Laboratories, Livermore, California, May 1978.

5. Kemper H., Baumgarten H., Habermann K., Yapici I. K., Pischinger .On the Road Towards Consequent Downsizing Engine with Continuously Variable Compression Ratio in a Demonstration Vehicle / MTZ worldwide Edition 2003. – No.:05.

6. Пат. EP 1496219 A1, F02B 75/04, Variable compression ratio engine // Shiraishi K.; Заявл. 08.07.2003; Оpubл. 07.07.2004.