

Anatoliy Yakovenko, Leonid Pietrov*, Jacek Wasilewski**

ЕЛЕМЕНТИ ТЕОРІЇ ДВИГУНА ЗІ ЗМІННОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ ЙОГО УТВОРЮЮЧИХ

Анотація. Приведенні елементи теорії робочого процесу в торсіонному тепловому двигуні, в якому перетворення теплоти здійснюється за допомогою обертального руху камери згоряння.

Ключові слова: heat transformation, turning movement, combustion

ВВЕДЕНИЕ

Принцип роботи двигуна заснований на здійсненні в його циліндрах термодинамічних робочих циклів. Для здійснення такого циклу необхідна наявність наступних основних умов:

- теплова енергія газоутворюючого робочого тіла, яке спроможне змінювати свій об'єм;
- замкнута ємність, яка змінює об'єм для здійснення роботи розширеними газами.

Для перетворення теплоти у роботу, окрім наявності основних умов, необхідна певна послідовність протікання термодинамічних процесів: стиск робочого тіла, підвід тепла, розширення, відвід тепла.

Дійсний робочий цикл двигуна внутрішнього згорання відрізняється від теоретичного тим, що у реальному двигуні неможливо виконати умови та обмеження, які характеризують теоретичні цикли.

У реальному двигуні мають місце фізичні та хімічні зміни складу і об'єму робочого тіла. Згорання палива у циліндрі протікає не миттєво, а має протяжність. Внаслідок безперервної зміни температури робочого тіла теплоємність його також змінюється. Процес підводу тепла до робочого тіла практично здійснюється не при постійних, а при змінних об'ємі та тиску.

* Prof. dr Prof. dr Anatoliy Yakovenko, doc. Leonid Pietrov, Odeskiy Gosudrsvienniy Agrarniy Universytet, Ukraina

** Dr inż. Jacek Wasilewski, Akademia Rolnicza w Lublinie, Polska

Усе перелічене показує, що робочий процес у реальному двигуні здійснюється з додатковими, принципово можливо усуненими, витратами теплоти.

МЕТОДИКА ІССЛЕДОВАНИЙ

У дійсному робочому циклі реального двигуна необхідно здійснювати наступні процеси: наповнення циліндра горючою сумішшю; стиск, який підвищує її внутрішню енергію та створює благоприємні термодинамічні умови протікання наступних процесів; згорання з виділенням тепла; розширення продуктів згорання, коли теплова енергія перетворюється у роботу; випуск відпрацьованих газів, при якому залишене тепло виводиться в оточуюче середовище, а циліндр підготовляється для здійснення наступного циклу.

Тому окрім основних термодинамічних процесів: стиск, підвід тепла (згорання) та розширення, повинні здійснюватись допоміжні процеси газообміну – наповнення та випуск. Для реалізації процесів газообміну використовують чи частину ходу поршня при здійсненні основних процесів, чи додаткові два ходи поршня.

Всі теплові процеси робочого циклу двигуна здійснюються у надпоршньовому просторі циліндра – камері згорання.

Існуючим термодинамічним процесам відповідають наступні форми камер згорання двигунів: полу-сферична, шатрова, циліндрична, Г-образна, клинова.

Найбільш повно вимогам термодинамічних процесів відповідає полу сферична камера згорання. Коли прийняти ефективність, яка забезпечується полусферичною камерою за 1, тоді ефективність шатрової камери може бути оцінена як 0,99, клинкової – 0,985, циліндричної – 0,98, Г-образної – 0,93.

Загальним недоліком існуючих камер згорання є обслуговування пов'язаних з виконанням термодинамічних процесів важких рухомих деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ). Цей недолік можна усунути, коли створити рухому камеру згорання, у якій теплові процеси створювали б більш працездатний тепловий двигун.

Основними передумовами створення торсіонного теплового двигуна (ТТД) є наступні ствердження.

У торсіонному двигуні внутрішнього згорання об'єму газів при перетворенні теплоти у роботу здійснюється за допомогою обертального руху камери згорання.

Об'єм, який звільняється при крученні камери згорання, назовемо робочим об'ємом камери згорання; об'єм камери згорання, який стискається при крученні камери згорання – об'ємом стиску камери згорання; об'єм камери згорання, який звільняється та стискається – повним об'ємом камери згорання торсіонного двигуна.

Відношення повного об'єму камери згорання торсіонного двигуна назовемо ступенем стиску торсіонного двигуна.

Ступень стиску торсіонного двигуна показує, у скільки разів зменшується робочий об'єм камери згорання, а разом з ним і об'єм робочої суміші при крученні камери згорання.

Отже, об'єм камери згорання торсіонного двигуна являється основним чинником зміни об'єму газів при перетворенні теплоти у роботу при крученні (обертальному русі) самої камери згорання.

Вільний рух камери згорання торсіонного двигуна викликається дією об'ємних сил, прикладених до часток паливної суміші всередині камери згорання. Виникнення об'ємних сил обумовлено неоднорідним характером спалювання паливної суміші. У такому випадку умови тепловіддачі визначаються формою, розташуванням та розмірами камери згорання торсіонного двигуна.

При запалюванні паливної суміші виникають циркуляційні токи, які утворюють замкнуті контури.

Внаслідок значної складності теплообміну при русі паливної суміші у обмеженому просторі камери згорання торсіонного двигуна будемо розглядати робочий процес як перетворення теплоти у роботу при крученні камери згорання.

На рис. 1 показано запропоноване навантаження торсіонного двигуна.

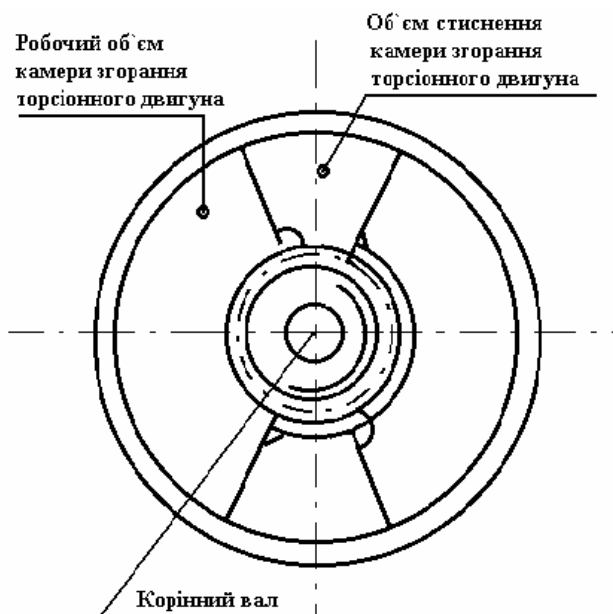


Рис.1. Схема навантаження торсіонного двигуна типу ТТД

Fig. 1. Draft of TTD engine loading

Для спрощення розрахунків приймемо за основу схему шатрової камери згорання. Прийнята схема камери згорання дозволяє найбільш упорядковано зробити розкладку діючих силових факторів при згоранні паливної суміші в камері згорання та їх вплив на створення її крутіння у обертальному русі (рис. 2).

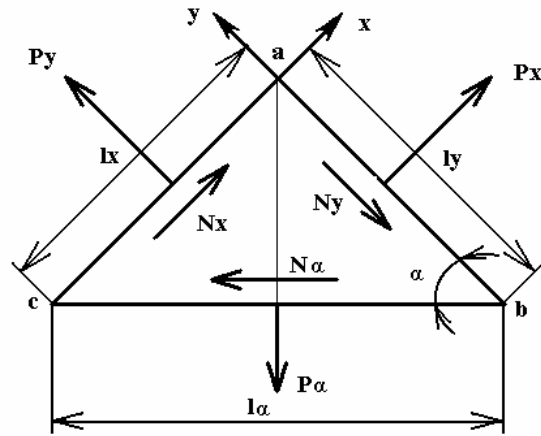


Рис. 2 Схема розкладки тиску газів у камері згорання ТТД.

Fig. 2. Draft of gases pressure distribution in TTD combustion chamber

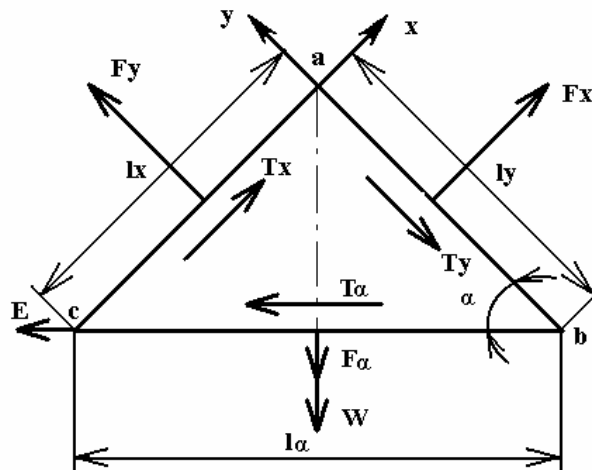


Рис. 3. Схема розкладки силових факторів у камері згорання торсіонного двигуна.

Fig. 3. Draft of force vectors distribution in an engine combustion chamber

РЕЗУЛЬТАТИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Прикладемо до звільненої камери згорання (рис.2) тиски газів, які виникають при запалюванні паливної суміші. Будемо вважати, що поздовжні N_x , N_y , N_α та нормальні тиски P_x , P_y , P_α розподілені рівномірно.

Виберемо систему координат: осі x та y з гранями камери згорання **ac** та **ab**.

Позначимо тиски газів P_x та N_x паралельні осі X , а P_y та N_y – паралельні осі Y .

Нормальні тиски газів P_x , що діють на днище камери згорання, яке нахилено під кутом α до поверхні камери згорання позначимо через $P\alpha$, поздовжні тиски по цьому днищу – через $N\alpha$.

Помноживши кожен з тисків на площу поверхні, по якій воно діє, одержимо систему зосереджених сил (рис.3) $F_x, F_y, F\alpha, T_x, T_y, T\alpha$, які прикладені у центрах ваги поверхні камери згорання:

$$\left. \begin{aligned} F_x &= P_x \cdot l_x \cdot l_z; F_y = P_y \cdot l_x \cdot l_z; F = P\alpha \cdot l\alpha \cdot l_z \\ T_x &= N_x \cdot l_x \cdot l_z; T_y = N_y \cdot l_y \cdot l_z; T\alpha = N\alpha \cdot l\alpha \cdot l_z \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Розглянемо випадок, коли камера згорання урівноважена. Тоді сили у (1) повинні задовольняти всім рівнянням рівноваги.

Складемо наступні рівняння рівноваги:

$$\sum E = F\alpha - (F_x + T_x) \cdot \cos \alpha - (F_y - T_y) \cdot \cos(90^\circ - \alpha) = 0 \quad (2)$$

$$\sum W = T\alpha - (F_x + T_x) \cdot \sin \alpha + (F_y - T_y) \cdot \sin(90^\circ - \alpha) = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_0 = T_y \cdot \frac{dx}{2} + T_x \cdot \frac{dy}{2} = 0 \quad (4)$$

Тут E, W – система координат, яка проходить через центр ваги O .

Підставивши у рівняння (4) вирази T_x та T_y з рівняння (1), отримаємо:

$$\sum M_0 = N_y \cdot l_y \cdot l_z \cdot \frac{l_x}{2} + N_x \cdot l_x \cdot l_z \cdot \frac{l_y}{2} = 0 \quad (5)$$

відкіля

$$N_y = -N_x \quad (6)$$

Висновок: поздовжні тиски газів по двом взаємно перпендикулярним поверхням камери згорання рівні по абсолютній величині та зворотні по знаку.

Підставимо в рівняння (2) та (3) вирази сил з рівняння (1):

$$\sum E = P\alpha \cdot l\alpha \cdot l_z - (P_x \cdot l_y + N_x \cdot l_x) \cdot l_z \cdot \cos \alpha - (P_y \cdot l_x - N_y \cdot l_y) \cdot l_z \cdot \sin \alpha = 0 \quad (7)$$

$$\sum W = N\alpha \cdot l\alpha \cdot l_z - (P_x \cdot l_x + N_x \cdot l_x) \cdot l_z \cdot \sin \alpha + (P_y \cdot l_x - N_y \cdot l_y) \cdot l_z \cdot \cos \alpha = 0 \quad (8)$$

Скоротивши у (7) та (8) на $l\alpha, l_z$, та враховуючи, що

$$\frac{l_x}{l\alpha} = \sin \alpha, \frac{l_y}{l\alpha} = \cos \alpha,$$

Одержимо:

$$P\alpha - (Px \cdot \cos \alpha + Nx \cdot \sin \alpha) \cdot \cos \alpha - (Py \cdot \sin \alpha - Ny \cdot \cos \alpha) \cdot \sin \alpha = 0 \quad (9)$$

$$N\alpha - (Px \cdot \cos \alpha + Nx \cdot \sin \alpha) \cdot \sin \alpha + (Py \cdot \sin \alpha - Ny \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha = 0 \quad (10)$$

Замінімо Ny на $-Nx$ у формулах (9) та (10):

$$P\alpha = Px \cdot \cos^2 \alpha + Py \cdot \sin^2 \alpha + Nx \cdot \sin 2\alpha \quad (11)$$

$$N\alpha = \frac{Px - Py}{2} \cdot \sin 2\alpha - Nx \cdot \cos 2\alpha \quad (12)$$

Визначимо по формулі (11) суму нормальних тисків газів у двох взаємно повернутих камерах згорання, для одної з яких кут α_0 , а для другої $\alpha_0 + 90^\circ$:

$$\begin{aligned} P\alpha_0 + P\alpha_{\alpha_0+90^\circ} &= [Px \cdot \cos^2 \alpha_0 + Py \cdot \sin^2 \alpha_0 - Nx \cdot \sin 2\alpha_0] + \\ &+ [Px \cdot \cos^2 (\alpha_0 + 90^\circ) + Py \sin^2 (\alpha_0 + 90^\circ) + Nx \cdot \sin 2 \cdot (\alpha_0 + 90^\circ)] = \\ &= (Px + Py) \cdot (\sin^2 \alpha_0 + \cos^2 \alpha_0) = Px + Py \end{aligned}$$

$$P\alpha_0 + P\alpha_l = Px + Py = const \quad (13)$$

ВИСНОВОК

1. Формули (11) та (12) дозволяють визначити значення нормальних та поздовжніх тисків газів у рухомій камері згорання для її крутіння, коли відомі тиски Px , Py та $Nx = -Ny$ на поверхнях, які формують камеру згорання.

2. Сума величин нормальних тисків газів на поверхнях, які формують камеру згорання, є величина постійна.

ЛІТЕРАТУРА

1. Орлина А.С., Круткова М. Г.; 1980: Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. М.: Машиностроение, 288 с.
2. Сандомирський М. Г., Бойко М. Ф., Лебедєв А. Г. та ін.: За ред. проф А. Г. Лебедєва, 2000: Трактори та автомобілі. 4.1. Автотракторні двигуни : Навч. посібн. – К.: Вища школа.–357 с.

ELEMENTS OF A THEORY OF AN ENGINE WITH CHANGEABLE COMBUSTION
CHAMBER GEOMETRY

Summary. The elements of working process theory in head engine, in which, transformation of heat is done with the help of the turning movement of the combustor, are given.

Keywords: heat transformation, turning movement, combustion

Recenzent: Prof. dr hab. Zbigniew Burski