

УДК 621.436.2

Корніленко К.І. асистент кафедри автомобілів та автомобільного господарства
Науковий керівник Сдвижкова О.О., д.т.н., професор кафедри прикладної математики

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЖИВЛЕННЯ В ДВИГУНІ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ГІБРИДНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ

Гібридні автомобілі мають два типи двигунів: двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) (наприклад, бензиновий або дизельний двигун) та електричний двигун.

Обидва типи двигунів працюють разом, але залежно від ряду факторів можуть функціонувати окремо або одночасно [1].

Метою роботи є дослідження енергетичної ефективності гібридної енергоустановки, яка поєднує в собі двигун внутрішнього згорання та електричну силову установку, та можливостей удосконалення процесів тепломасопередачі в поршневому двигуні.

Основними фізичними параметрами є температура стінок, температура газів, коефіцієнт теплопередачі та кінетика горіння.

Опишімо процеси загального тепломасообміну в поршневому двигуні системою диференціальних рівнянь, що враховують передачу тепла між газами у циліндрі двигуна та його стінками [2].

Енергетичний баланс для газів описується формулою [3]:

$$\frac{d}{dt}(m \cdot c_p \cdot T_g) = \dot{Q}_{\text{впуск}} - \dot{Q}_{\text{гор}} - \dot{Q}_{\text{втр}},$$

де m – маса робочого тіла, паливної суміші, кг; c_p – теплоємність при постійному тиску, Дж/кг·°С; T_g – температура газів у циліндрі, °С; $\dot{Q}_{\text{впуск}}$ – кількість тепла, що надходить при впуску, Дж; $\dot{Q}_{\text{гор}}$ – кількість тепла, виділеного під час горіння палива, Дж; $\dot{Q}_{\text{втр}}$ – теплові втрати через стінки циліндра, Дж.

Для вирішення проблем загального тепломасообміну у поршневих двигунах можуть використовуватися більш складні системи математичних рівнянь, які враховують не тільки передачу тепла через стінки, а й масообмін із середовищем. Наприклад, рівняння для моделювання втрат тепла через стінки та оптимізацію охолодження [3]:

$$\frac{dT_g}{dt} = \frac{1}{m \cdot c_p} [\dot{Q}_{\text{гор}} - h \cdot A \cdot (T_g - T_w) - k \cdot (T_g - T_{\text{cool}})],$$

де k – коефіцієнт тепловіддачі від газів до охолоджувальної рідини.

Припустимо, матричне рівняння виглядає наступним чином:

$$X(t + 1) = AX(t) + BU(t),$$

де $X(t)$ – вектор стану системи в момент часу (t); A – матриця коефіцієнтів системи, яка характеризує теплові процеси в двигуні; B – матриця впливу зовнішніх факторів, що враховує потоки відновленого тепла та інші зовнішні параметри; $U(t)$ – вектор вхідних даних, таких як температура охолоджувальної рідини, потужність відновленого тепла та інші зовнішні умови.

Тоді матричний опис системи загального тепломасообміну, тобто вектор стану $X(t)$ включає наступні основні параметри [3]:

$$X(t) = \begin{bmatrix} T_g(t) \\ T_w(t) \\ Q_{\text{втр}}(t) \\ E_{\text{відн}}(t) \end{bmatrix},$$

де $T_g(t)$ – температура робочого тіла (газів) у циліндрі на момент часу, °С; $T_w(t)$ – температура стінок циліндра на момент часу, °С; $Q_{\text{втр}}(t)$ – кількість втрат тепла через стінки, °С; $E_{\text{відн}}(t)$ – кількість відновленого тепла, яке може бути використане для додаткового енергозабезпечення системи, °С.

Матричне рівняння для прогнозування температури та тривалості роботи двигуна виглядає так:

$$\begin{bmatrix} T_g(t+1) \\ T_w(t+1) \\ Q_{\text{втр}}(t+1) \\ E_{\text{відн}}(t+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - h \cdot \frac{A}{m \cdot c_p} & h \cdot \frac{A}{m \cdot c_p} & 0 & 0 \\ h \cdot \frac{A_w}{m_w \cdot c_w} & 1 - h_w \cdot \frac{A_w}{m_w \cdot c_w} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -\eta \\ 0 & 0 & \eta & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} T_g(t) \\ T_w(t) \\ Q_{\text{втр}}(t) \\ E_{\text{відн}}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{Q_{\text{гор}}}{m \cdot c_p} \\ 0 \\ 0 \\ \dot{Q}_{\text{викор}} \end{bmatrix},$$

де h, h_w – коефіцієнти тепловіддачі відповідно для газів і стінок циліндра; A, A_w – площі поверхні тепловіддачі; m, c_p – маса газів і теплоємність при постійному тиску; m_w, c_w – маса та теплоємність стінок циліндра; η – коефіцієнт ефективності відновлення тепла; $Q_{\text{гор}}$ – кількість тепла, виділеного під час горіння палива; $\dot{Q}_{\text{викор}}$ – кількість відновленого тепла, яке використовується для додаткового живлення.

В роботі проведено моделювання тепломасообміну в поршневому двигуні та виконано дослідження впливу експлуатаційних умов (номінальний режим роботи ДВЗ, робота двигуна при перевантаженні, робота двигуна при зниженій температурі охолоджувальної рідини) на процес загального тепломасообміну в поршневому двигуні

Список використаних джерел:

1. Lyashuk O. L., Plekan U. M., Cz`on` O. P., Gevko V. R. Rozvy`tok texnologij gibry`dny`x sy`lovy`x ustanovok avtomobiliv. *Central`noukrayins`ky`j naukovy`j visny`k. Texnichni nauky`*. 2023. 8(39). I. 139–146. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).1.139-146](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).1.139-146).
2. Екологічні аспекти автотранспортного комплексу: монографія / І.Е. Линник, О.І. Лежнева, Є.В. Дорошко та ін. Харків : Видавництво «Смугаста типографія», 2020. 194 с.
3. Шапко В. Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії двигунів внутрішнього згорання: підручник. Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2023. 180 с.