

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ У ПОТОЦІ МОТОРНОГО ПАЛИВА, ЩО ПРОХОДИТЬ ЧЕРЕЗ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНИЙ ВИТРАТОМІР

Існує велике різноманіття варіантів побудови витратомірів різних типів. Сьогодні їх використання є надзвичайно актуальним у багатьох галузях науки і техніки: в автомобілебудуванні, в авіабудуванні, в суднобудуванні, в авіаційній галузі та інших. У зв'язку зі світовою енергетичною кризою, актуальним є використання альтернативних видів палив. Серед них одним із найбільш перспективних є біологічне паливо, а найдосконалішим вимірювачем витрати біологічного палива вважається термоанемометричний витратомір (ТАВ).

Принцип дії нового високоточного витратоміра полягає у нагріві потоку моторного палива та вимірюванні розподілу температурного поля, створеного нагрівачем, у цьому потоці. Зміни температурного поля уздовж потоку моторного палива пов'язані певною функціональною залежністю з величиною витрати цього палива. Тому, вимірюючи розподіл температурного поля уздовж осі потоку моторного палива, можна з високою точністю визначити його витрату. Для цього необхідно розробити математичну модель температурного поля та визначити конкретний вигляд указаної функціональної залежності.

В існуючих ТАВ для вимірювань теплового поля використовуються один або два термоперетворювачі, розташовані безпосередньо біля нагрівача або на деякій відстані по обидва боки від цього нагрівача. Математична модель існуючих витратомірів зводиться до рівняння теплового балансу нагрівача, що охолоджується потоком рідини або - до визначення різниці температур у двох фіксованих точках.

У розробленому новому високоточному витратомірі для підвищення точності визначення витрати моторного палива, використовуються групи термоперетворювачів. Таке рішення забезпечує визначення величини температурного поля у множині точок потоку моторного палива, а наступна алгоритмічна обробка отриманих значень на ЕОМ дозволяє компенсувати ряд похибок вимірювань. Тому для такого витратоміру необхідно створити нову математичну модель, що відображає детальний розподіл температурного поля в усіх точках потоку моторного палива, де встановлено термоперетворювачі.

У новій математичній моделі температурного поля у потоці біопалива, що проходить через ТАВ, враховано суттєві особливості: тепловий вплив нагрівача має постійну потужність; термоперетворювачі розташовано уздовж осі потоку біопалива, тому розподіл температур визначено уздовж однієї просторової координати; розглянуто як ламінарний, так і турбулентний режими течії біопалива; діапазон зміни початкової температури біопалива при експлуатації ТАВ може бути широким, тому введено корекцію ТАВ з урахуванням цієї зміни температури. При розрахунку теплового потоку між поверхнею нагрівача і середовищем біопалива, щільність теплового потоку представлено у вигляді закону Ньютона:

$$q = \alpha_{МП} \Delta T, \quad (1)$$

де  $\Delta T$  – перепад температур між поверхнею і навколишнім середовищем;

$\alpha_{МП}$  – коефіцієнт конвективної тепловіддачі моторного палива.

Отримано рівняння, що характеризує тепловий потік біопалива у нерухомому середовищі біопалива за рахунок його теплопровідності. Тепловий потік біопалива:

$$Q = -\lambda_{МП} A \frac{dT}{dR} = -\lambda_{МП} 4\pi R^2 \left(-\frac{R_H}{R^2}\right) (T_{МП0} - T_H) = 4\pi \lambda_{МП} R_H (T_{МП0} - T_H), \quad (2)$$

де  $T_H$  - температура на поверхні нагрівача,  $T_{МП0}$  - початкова температура моторного палива (біопалива).

Тепловий потік до середини радіусом  $R_H$  та площею поверхні  $S_H$  можна обчислити, використовуючи рівняння (1)

$$Q = q \cdot S_H = 4\pi R_H^2 (T_{МП0} - T_H). \quad (3)$$

Порівнюючи (1) і (2), отримуємо:

$$\alpha_{МП} = \lambda_{МП} / R_H. \quad (4)$$

Отримано вираз для розрахунку температури нагрівача при русі біопалива при  $V_n = const$  :

$$T_H = T_{МП0} + \frac{P_{дж}}{\pi \ell_H \cdot K_1} \cdot \left( \frac{\pi \nu_{МП} \cdot d_{mp}}{4W_{МП}} \right)^{K_2} \cdot (\mu_{МП} \cdot C_{МП})^{-K_3} \cdot (\lambda_{МП})^{1-K_3}, \quad (5)$$

де  $P_{дж}$  - потужність нагрівача;  $\mu_{МП}$  - коефіцієнт динамічної в'язкості біопалива;  $C_{МП}$  - теплоємність біопалива;  $\lambda_{МП}$  - в'язкість біопалива;  $d_{mp}$  - діаметр трубки ТАВ;  $W_{МП}$  - об'ємна витрата біопалива;  $K_1 = K_2 = 0,5$ ;  $\ell_H$  - довжина дроту.

Отримано формулу для обрахування об'ємної витрати біопалива:

$$W_{МП} = K_4 \cdot K_5 \cdot (T_{МПО} - T_H)^{\frac{1}{K_2}}, \quad (6)$$

де  $K_4 = \frac{\pi d_{mp}}{4} \cdot \left(\frac{P_{дж}}{\pi l_H}\right)^{\frac{1}{K_2}}$  – коефіцієнт, що враховує конструктивні параметри ТАВ,

$K_5 = v_{МП} \cdot (\mu_{МП} \cdot C_{МП})^{\frac{K_3}{K_2}} \cdot (\lambda_{МП})^{\frac{K_3-1}{K_2}} \cdot (K_1)^{\frac{1}{K_2}}$  – коефіцієнт, що враховує фізико-хімічні властивості біопалива та режим течії через витратомір.

На основі формул (5, 6) виконано чисельне моделювання на ЕОМ теплового балансу нагрівача у рухомому потоці палива через ТАВ. Використано параметри палива, що зведено у таблицю 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості моторних палив

№ з/п	Фізико-механічні параметри	Бензин,	ДП	Біопаливо
1	Густина, $кг/м^3$	750,0	805,0	865,0
2	Питома теплоємність, $кДж/(кг \cdot K)$	2,20	2,10	1,50
3	Коефіцієнт теплопровідності, $Вт/(м \cdot K)$	0,11	0,11	0,17
4	Коефіцієнт температуропровідності, $м^2/с$	$6,67 \cdot 10^{-8}$	$6,51 \cdot 10^{-8}$	$1,32 \cdot 10^{-7}$
5	Коефіцієнт динамічної в'язкості, $Па \cdot с = Н \cdot с / м^2 = кг/(м \cdot с)$	$0,37 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-3}$	$3,64 \cdot 10^{-3}$
6	Коефіцієнт кінетичної в'язкості $м^2/с$	$4,93 \cdot 10^{-7}$	$2,11 \cdot 10^{-6}$	$4,25 \cdot 10^{-6}$

Встановлено, що при мінімальних об'ємах алгоритмічних обчислень доцільним є використання визначення витрати біопалива на основі вимірювання температури нагрівача і початкової температури біопалива відповідно з формулою (6). Цим забезпечено точність вимірювання об'ємної витрати моторного палива 5,0 % при точності вимірювання температури нагрівача 1 %.