

Ільченко А.В., доцент кафедри автомобілів
і транспортних технологій, к.т.н., доц.
Державний університет «Житомирська політехніка»

ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРУБКИ ТЕПЛООВОГО ВИТРАТОМІРА НА РАДІАЛЬНИЙ ТЕПЛОВИЙ ПОТІК

Необхідність обліку витрат рідких палив на автомобільному транспорті не викликає сумнівів. Це також актуально для стаціонарних силових установок, що мають в своєму складі двигуни внутрішнього згорання. Для обліку витрат палив на транспорті найбільш переважно використовувати теплові витратоміри [1-2].

Відомі описи деяких конструкцій теплових витратомірів, де наводяться їх технічні характеристики. Але інформація впливу їх геометричних параметрів на процес вимірювання витрат палив на транспорті в науковій літературі обмежена. Також відсутні детальні відомості повної реалізації їх переваг при використанні на транспорті, особливостей конструкції, додаткових шляхів зменшення похибки вимірювання витрат палив.

Мета дослідження: визначити вплив геометричних параметрів трубки теплового витратоміра (діаметрів трубки та нагрівача), які треба враховувати під час його проектування, налагодження, використання тощо, для зменшення похибки вимірювання витрат палив двигунами внутрішнього згорання.

Параметром руху потоку рідини в такому витратомірі є кількість речовини, що протікає через переріз трубопроводу в одиницю часу та загальна кількість перенесеної речовини (повна витрата).

В трубках теплових витратомірів (калориметричних та термоанемометричних) аналізують передачу тепла в осьовому напрямку. Треба враховувати також і радіальну передачу тепла, яка впливає на осьову, і відповідно, на похибку вимірювання.

Відомо, що радіальний тепловий потік у трубці теплового витратоміра з циліндричною стінкою (лінійна щільність теплового потоку) залежить від конструктивного коефіцієнта трубки теплового витратоміра [2, 3]:

$$K_k = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad (1)$$

де d_1 – діаметр нагрівача, м;

d_2 – зовнішній діаметр трубки витратоміра, м.

Діаметр трубки пов'язаний з її максимальною пропускною спроможністю, що повинно забезпечувати максимальні витрати, на які розраховано процес виміру. Таким чином вказаний діаметр повинен мати певну величину, зменшувати яку не можна. З (1) можна зробити висновок, що конструктивний коефіцієнт, і відповідно радіальний тепловий потік, в залежності від діаметра трубки витратоміра буде зменшуватися, якщо:

$$\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right) > 2\pi \quad (2)$$

або:

$$\frac{d_2}{d_1} > e^{2\pi} \approx 534 \quad (3)$$

З конструктивних міркувань забезпечити відношення діаметра трубки теплового витратоміра до діаметру нагрівача рівним 534 не є зручним для використання на транспорті. Як варіант, можна запропонувати використання максимально тонкий дротяний нагрівач, розташований уздовж осі трубки витратоміра.

Встановлено, що в процесі вибору діаметра трубки теплового витратоміра треба враховувати не тільки її пропускну здатність, але і теплопровідність матеріалу, для зменшення впливу на радіальний тепловий потік, який, в свою чергу впливає на осьовий тепловий потік, тобто на похибку вимірювання витрати палива [2, 3].

Якщо в якості матеріалу трубки теплового витратоміра використовується, наприклад, ебоніт (0,16 Вт/(м·К)), коефіцієнт радіальної теплопровідності трубки теплового витратоміра дорівнює 0,0652. А якщо використовувати трубку з відносно високою теплопровідністю і як матеріал вибрати, наприклад, монель (14,9 Вт/(м·К)), коефіцієнт радіальної теплопровідності трубки теплового витратоміра збільшиться до 0,1092. Сплав металів 95% Al+3-5% Cu+0,5% Mg як матеріал трубки теплового витратоміра з ще більш високою теплопровідністю (181 Вт/(м·К)) дасть вже незначне збільшення коефіцієнта радіальної теплопровідності трубки теплового витратоміра до 0,1099 [1-3].

Щоб повністю виключити вплив теплопровідності матеріалу трубки теплового витратоміра на радіальний тепловий потік, тобто на похибку вимірювань витрат палив, необхідно знайти таке значення коефіцієнта теплопровідності матеріалу трубки, при якому коефіцієнт її радіальної теплопровідності дорівнює одиниці. Розрахунки показують, що це можливо лише теоретично, оскільки таких матеріалів немає у природі. Тобто повне усунення радіальної передачі тепла в трубці теплового витратоміра за рахунок вибору матеріалу трубки неможливе. У тому числі використання зовнішньої теплоізоляції трубки витратоміра не може звести до нуля радіальний тепловий потік, оскільки температура нагрівача завжди більша за температуру навколишнього середовища (температури ізоляції).

Виключити спільний вплив конструктивного коефіцієнта та коефіцієнта радіальної теплопровідності трубки теплового витратоміра на радіальний тепловий потік при вимірюванні витрат палив можна спробувати, прирівнявши їх до одиниці:

$$\frac{2\pi}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \frac{\lambda_2 \lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1} = 1 \quad (4)$$

З (4) можна встановити краще відношення діаметра трубки теплового витратоміра до діаметру нагрівача за умови мінімального їхнього спільного впливу та впливу теплопровідності трубки на радіальний тепловий потік (похибка вимірювання витрат) палив, що рухаються в трубці витратоміра. Для зменшення впливу радіального теплового потоку на осьовий тепловий потік (і таким чином на похибку вимірювання витрати палива двигунів внутрішнього згорання) необхідно вибирати такі конструктивні параметри (матеріал та діаметр трубки теплового витратоміра, діаметр нагрівача), щоб відношення зазначених діаметрів відповідало матеріалу трубки теплового витратоміра.

Відношення d_2/d_1 для матеріалів з коефіцієнтом теплопровідності 0,16 ...12 Вт/(м·К) має бути в межах 0,507...1,984. Це зменшить вплив радіального теплового потоку на осьовий і таким чином зменшення похибки вимірювання витрати палива. Залежно від значень коефіцієнтів теплопровідності матеріалу трубки теплового витратоміра вони повинні змінюватись залежно (табл.).

Таблиця 1 - Залежність зміни d_2/d_1 від теплопровідності матеріалу трубки теплового витратоміра (за умови зменшення впливу його радіального теплового потоку на осьовий тепловий потік)

Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Залежність (значення)	Достовірність апроксимації
0,16...6	$d_2/d_1 = 0,1182 \ln(\lambda_2) + 1,7959$	0,9
6...12	$d_2/d_1 = 0,0028 \lambda_2 + 1,954$	0,95
>12	$d_2/d_1 = 1,99$	-

Висновки. Для зменшення похибки вимірювання витрати палива внаслідок зменшення впливу радіального теплового потоку в тепловому витратомірі на осьовий тепловий потік (без урахування теплопровідності палива та матеріалу трубки витратоміра) необхідно зменшувати діаметр нагрівача та збільшувати діаметр трубки теплового витратоміра. При цьому необхідно також обов'язково враховувати теплопровідність матеріалу трубки теплового витратоміра.

Література

1. Безвесільна, О.М. Високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації / О.М. Безвесільна, Ільченко А.В. Подчашенський Ю.О., Шавурський Ю.О // Патент на винахід № 90985, МПК (2009) F02M 5/00. Заявлено 19.10.09, надрук. 10.06.10., бюл. № 11
2. Bezvesilna, O. Heat transfer in the thermo-anemometric flowmeter for biofuels / Bezvesilna, O., Kamiński, M., Ilchenko, A. // Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017, 550, стр. 505–511
3. Korobiichuk, I. A mathematical model of the thermo-anemometric flowmeter / Korobiichuk, I., Bezvesilna, O., Ilchenko, A., ...Nowicki, M., Szewczyk, R. // Sensors (Switzerland), 2015, 15(9), стр. 22899–22913, 097/.