

УДК 681.3

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.
Національний технічний університет України «КПІ»
Ю.О. Шавурський, аспір.
Житомирський державний технологічний університет

ПОХИБКИ ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА

У статті отримано аналітичні вирази для розрахунків похибок термоанемометричного витратоміра, з яких можна визначити чисельні значення похибок.

Постановка проблеми. Важливою проблемою в даній статті є отримання аналітичних виразів основних похибок нового термоанемометричного витратоміра (ТАВ). Існує багато факторів, які впливають на точність ТАВ і не дозволяють проводити точні вимірювання біопалива в автомобільних двигунах. Тому для забезпечення нормальної роботи ТАВ, необхідно визначити основні похибки, які впливають на точність його роботи.

Аналіз досліджень, в яких започатковано вирішення даної проблеми і на які спирається автор. Показано, що новий термоанемометричний витратомір [3] має похибку через різницю прохідних перерізів між торцем вимірювального ежекторного сопла і поверхнею сопла двигуна при вимірюванні. Отримано аналітичні вирази для розрахунків похибок ТАВ та номограми на рис. 1, з яких легко визначити чисельні значення похибок.

Мета роботи – визначення основних похибок термоанемометричного витратоміра, які впливають на точність його роботи.

Викладення основного матеріалу. Якщо ТАВ настроюють за блоками кінцевих мір довжини або за деталлю, яка має кривизну, відмінну від кривизни сопла двигуна, то під час вимірювання виникає похибка через різницю прохідних перерізів між торцем вимірювального ежекторного сопла і поверхнею сопла двигуна при настроюванні та вимірюванні.

Збільшення площі витікання на f_R спричинює зростання витрат біопалива. Це рівносильно збільшенню вимірювального зазору. Додаткова прохідна площа [2]

$$f_R = 2\pi Rr - 4Rr \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2} \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi, \quad (1)$$

$$R = D, \quad 2r = d_2,$$

$$f_r = \frac{\pi D d_2}{2} - 2R 2r E, \quad f = \frac{\pi}{2} D d_2 - D d_2 E,$$

де R – радіус сопла двигуна,
 r – радіус вимірювального сопла.

Вираз $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2} \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi$ являє собою повний еліптичний інтеграл другого роду, значення якого залежне від відношення r/R і наведене, наприклад, у «П'ятизначних математичних таблицях» Б.І. Сегала і К.А. Семендяєва.

Якщо позначити даний інтеграл через E , то дана формула буде мати вигляд:

$$f_R = D d_2 \left(\frac{\pi}{2} - E \right), \quad (2)$$

де D – діаметр сопла двигуна.

При налаштуванні ТАВ по блоках кінцевих мір довжини і використанні циліндричного сопла двигуна виникає похибка [2]

$$\Delta Z_R = \frac{D}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - E \right).$$

Якщо настроювання ведеться по деталі з циліндричною поверхнею діаметром D_0 , а використовується сопло двигуна діаметром D , то похибка вимірювання [2]:

$$\Delta Z_R = \frac{D_0}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - E_0 \right) - \frac{D}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - E \right). \quad (3)$$

Для спрощення розрахунків, виконуваних під час експериментів з ТАВ, на рис. 1 показано залежність ΔZ_R від діаметра контрольованого сопла двигуна (від 5 до 500 мм) для вимірювальних сопел діаметром d_2 , що дорівнює 1, 2 і 3 мм, знайдено за (2).

З рис. 1 видно, що в разі безконтактного методу вимірювання кривизна поверхні істотно впливає на результати вимірювання витрат біопалива ТАВ.

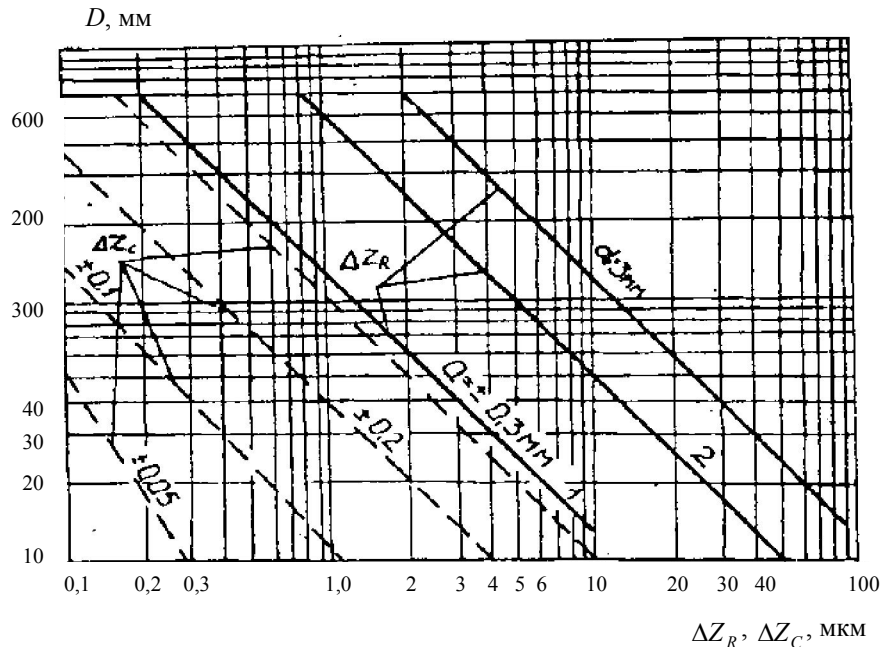


Рис. 1. Графік залежності ΔZ_R і ΔZ_C

Вплив зміщення сопла двигуна.

У процесі експлуатації під впливом вібрації можливе відтискування контрольованого сопла двигуна, у результаті чого воно зміщується відносно осі вимірювального сопла ежектора. Таке зміщення спричиняє зміну площі витікання з вимірювального сопла, що рівносильне зміні вимірювального зазору. Додаткова площа при зміщенні сопла двигуна

$$f_C = 2\pi Rr - Rr \int_0^{2\pi} \sqrt{1 - \left(\frac{a + r \sin \varphi}{R}\right)^2} d\varphi, \tag{4}$$

де a – зміщення сопла двигуна відносно осі.

Розклавши підінтегральний вираз у степеневий ряд і відкинувши всі члени, починаючи з третього, після інтегрування дістанемо

$$f_C = \frac{\pi r}{2R} (2a^2 + r^2). \tag{5}$$

Додаткова площа витікання f_C включає в себе і площу f_R з (2). Тому похибка, яка виникає тільки при зміщенні осі сопла відносно осі сопла двигуна, визначається різницею площ $f_C - f_R$

$$\Delta Z_C = \frac{1}{2D} (2a^2 + r^2) - \frac{D}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - E\right). \tag{6}$$

На рис. 1 показано залежність $\Delta Z_C(D)$; значення a змінювалось від $\pm 0,05$ до $\pm 0,3$ мм, а діаметри контрольованих сопел двигуна – від 15 до 500 мм.

Вплив шорсткості поверхні сопла двигуна.

Під час вимірювання витрат палива контактним способом положення щупа визначають виступи поверхні сопла двигуна. При безконтактному методі вимірювання ТАВ показує менший обсяг витрат, ніж при контактному методі, щуп торкається вершин гребінців сопла двигуна і виникає похибка ΔZ [2]:

$$\Delta_{Z_w} = R_Z - R_a, \quad (7)$$

де R_Z – середня висота нерівностей; R_a – середня висота нерівностей середньої лінії профілю.

Якщо ввести коефіцієнт заповнення поверхні: $K = \frac{R_a}{R_Z}$, то

$$\Delta_{Z_w} = R_Z(1 - K). \quad (8)$$

Отже, для різних класів шорсткості поверхні зразкового та контрольованого сопла двигуна, похибка вимірювання

$$\Delta_{Z_w} = 0,5(R_{Z_d} - R_{Z_{об}}), \quad (9)$$

де R_{Z_d} – середня висота нерівностей контрольованого сопла двигуна;

$R_{Z_{об}}$ – середня висота нерівностей зразкової деталі.

На рис. 2 зображено залежність $\Delta_{Z_w}(R_Z)$.

Для зменшення похибки вимірювання, залежної від шорсткості поверхні, потрібно ТАВ настроювати за зразком, рівноцінним за шорсткістю контрольованого сопла двигуна, або вводити відповідну поправку до результатів вимірювань, яка визначається формулою (9).

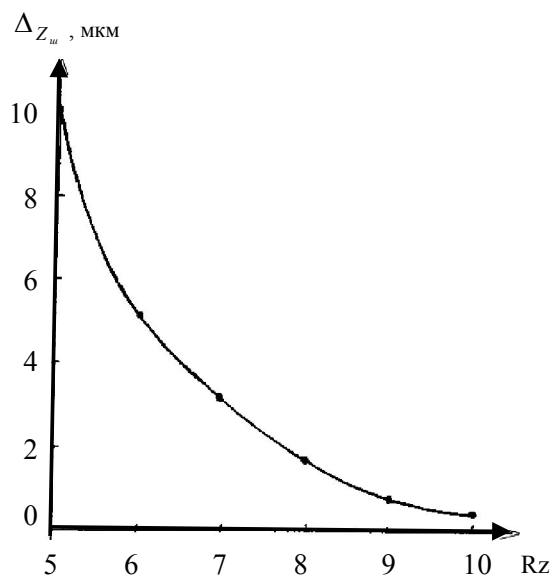


Рис. 2. Вплив шорсткості поверхні сопла двигуна на результати контролю

Висновки. Встановлено, що при безконтактному методі вимірювань ТАВ показує менший об'єм витрат, ніж при контактному методі, при якому щуп торкається вершини гребінців сопла двигуна і виникає похибка. Отримано аналітичні вирази для розрахунків відповідних похибок.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Безвесільна О.М. Витратометрія : підручник / О.М. Безвесільна, Ф.Я. Загавора. – К. : Либідь, 1996. – 184 с.
2. Безвесільна О.М. Елементи і пристрої автоматики та систем управління. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем : підручник / О.М. Безвесільна. – Житомир : ЖДТУ, 2008. – 700 с.
3. Високоточний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації : заявка на винахід / О.М. Безвесільна, Ю.О. Подчашиїнський, А.В. Ільченко, Ю.О. Шавурський. – № а 2009 03 869 від 21.04.2009 р.

БЕЗВЕСІЛЬНА Олена Миколаївна – Заслужений діяч науки і техніки України, доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «КПІ».

Наукові інтереси:

- гравіметричні системи;
- методи та прилади вимірювання механічних величин.

ШАВУРСЬКИЙ Юрій Олександрович – аспірант кафедри автоматизації і комп’ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- вимірювання витрат палива;
- алгоритмічна обробка вимірювальної інформації на ЕОМ.

Подано 06.10.2009

Безвесільна О.М., Шавурський Ю.А. Похибки термоанемометричного витратоміра
Безвесильная Е.Н., Шавурский Ю.А. Погрешности термоанемометрического расходомера
Bezvesilnaya E.N., Shavursky Y.A Of errors of termoanemometrisheskikh flowmeters

УДК 681.3

Погрешности термоанемометрического расходомера / Е.Н. Безвесильная, Ю.А. Шавурский

В статье получены аналитические выражения для расчета погрешностей термоанемометрических расходомеров, из которых можно определить численные значения погрешностей

УДК 681.3

Of errors of termoanemometrisheskikh flowmeters / E.N. Bezvesilnaya, Y.A Shavursky

Poluchen analytical expressions for the calculation of errors of termoanemometrisheskikh flowmeters from which easily to define the numeral values of errors