

## **УДК 681.121**

*Ю. В. Івасик студент гр.ПК-61м (магістр), В. Г. Баженов к.т.н., доцент  
НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРУ ПАЛИВА**

**Анотація.** У даній статті проаналізовано сучасні системи подачі палива та основні вимоги до них. На основі цього аналізу запропоновано схему контролю витрати палива. Також було розглянуто таку проблему, як контроль витрати палива в трубах малого діаметру. Наведені розрахунки витрат та проведено аналіз похибок.

**Ключові слова:** Ультразвуковий витратомір, контроль витрат палива, п'єзоелектричний перетворювач, розхід.

#### **ВСТУП**

В даний час однією з головних проблем як аграрних компаній так і компаній, що займаються вантажоперевезенням, є необхідність контролю витрат палива. З урахуванням активного зростання цін, для багатьох власників такого бізнесу зменшення витрат палива стає все більш актуальним питанням. Позначається це і на споживачах, адже розхід палива впливає на ціну готового продукту чи послуги. Тому, враховуючи всі ці питання, зростають вимоги до систем контролю палива. Є потреба виконувати контроль «online», і відповідно виникає необхідність отримання інформації в цифровому виді.

#### **ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ВИТРАТОМІРІВ**

Витратоміри, що сьогодні використовуються, можна умовно розділити на 2 типи: механічні та електронні.

Встановлення та використання механічних витратомірів на автомобілях з бензиновими двигунами нерентабельне, оскільки бензин висушує рухомі частини, і датчики часто виходять з ладу, на відміну від дизпалива, яке змащує їх. Однак на дизельних двигунах вони часто засмічуються через низьку якість палива і тому мають потребу в регулярному технічному обслуговуванні. Також такі витратоміри невандалостійкі та мають великі розміри.

Щодо електронних - то найбільш поширеними та найбільш точними є ультразвукові витратоміри. Їх основними перевагами є:

- Відсутність елементів, що перешкоджають потоку;
- Зносостійкість деталей;
- Відсутність рухомих частин;
- Вандалостійкість.

В більшості сучасних систем подачі палива наступний принцип роботи: насос качає паливо по колу безперервно, в той же час безпосередньо в двигун паливо потрапляє різними порціями в залежності від навантаження та числа обертів двигуна.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Дослідивши та проаналізувавши системи подачі палива та проблеми, які виникають при контролі витрат палива, запропоновано наступну схему контролю витрати палива, яка зображена на рис. 1.

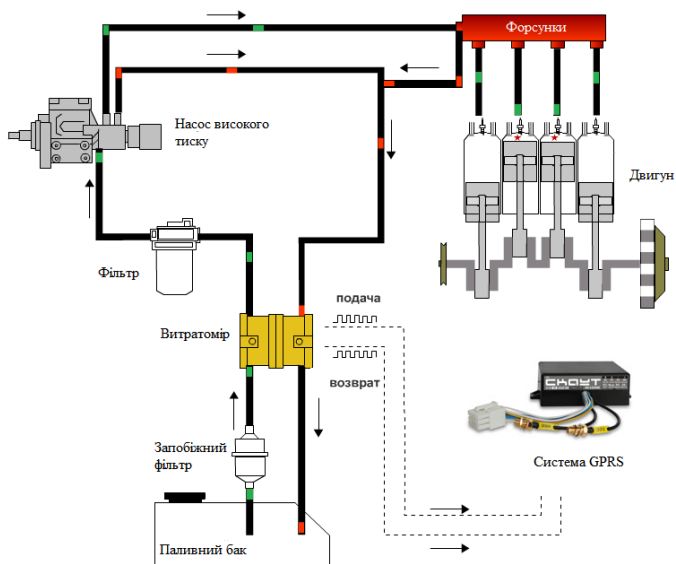


Рисунок 1. Схема контролю витрати палива

Визначення витрат пропонується здійснювати за рахунок визначення різниці між об’ємом подачі та об’ємом «зворотки» палива. Ця схема є оптимальною і не вимагає додаткового втручання в паливну систему. Також вона може встановлюватися з системою GPRS моніторингу, за допомогою якої можна контролювати не тільки витрати, а також і місце знаходження транспортного засобу в режимі «online».

Оскільки трубка подачі палива всього 10 мм, то звичайні схеми розміщення перетворювачів ультразвукових витратомірів використовувати фізично не можливо. Адже дуже важливо підібрати дисковий перетворювач достатнього діаметру, так як відомо, що чим більша площа перетворювача – тим більша і його чутливість, а відповідно й менша похибка виміру. Для вирішення даної проблеми запропоновано використати схему розташування перетворювачів ультразвукових витратомірів, яка показана на рис. 2.

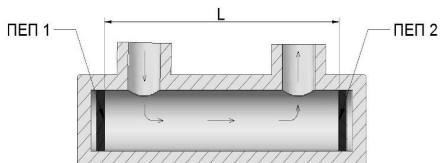


Рисунок 2. Схема розміщення перетворювачів ультразвукового витратоміру: ПЕП 1,2 -п’єзоелектричний перетворювач, L – відстань між ПЕП 1 та ПЕП 2

Ця схема дозволяє отримати більшу довжину L з дисковими перетворювачами достатнього діаметру, оскільки випромінювання направлено вздовж

осі труби.

Відомо, що швидкість ультразвуку залежить також і від температури середовища, тому пропонується вимірювати і температуру палива, та використовувати ці значення для корекції результатів виміру. Також пропонується виконувати калібрування витратоміру при непрацюючому двигуні, тобто коли швидкість його в системі подачі палива дорівнює нулю.

Об'єм витрат палива розрахуємо за наступною формулою:

$$Q_i = S \cdot l \quad (1)$$

де,  $S$  – це площа перерізу трубки, і вона дорівнює:

$$S = \pi \cdot R^2 \quad (2)$$

$l$  – шлях, пройдений паливом за  $\tau_{\text{вим}}$ .

$R$  – радіус трубки.

$$l = \tau_{\text{вим}} \cdot v_n \quad (3)$$

$\tau_{\text{вим}}$  - час вимірювання;

$v_n$  - швидкість палива.

Швидкість палива визначається з наступної формули:

$$v_n = \frac{c^2 \cdot \Delta\varphi}{2 \cdot L \cdot f \cdot 360^\circ} \quad (4)$$

де,

$c$  – швидкість розповсюдження ультразвуку в паливі;

$\Delta\varphi$  - фазовий зсув ультразвукових коливань;

$L$  – відстань між п'єзоелементами;

$\omega$  – кругова частота коливань.

Фазовий зсув  $\Delta\varphi$  ультразвукових коливань дорівнює:

$$\Delta\varphi = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta\tau \quad (5)$$

де,  $f$  - частота ультразвукових коливань;

$\Delta\tau$  - різниця часу проходження ультразвуку за та проти потоку палива.

$$\Delta\tau = \frac{2L \cdot v_c}{c^2} \quad (6)$$

Повний об'єм витрати палива дорівнює сумі об'ємів  $Q_i$ :

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (7)$$

Рівняння виміру буде мати наступний вигляд:

$$Q_i = \pi \cdot R^2 \cdot k \cdot \tau_{\text{вим}} \cdot \frac{c^2 \cdot \Delta\varphi}{2 \cdot L \cdot f \cdot 360^\circ} \quad (8)$$

Для визначення сумарної похибки, головний вклад в яку вносять нестабільність частоти  $f$ , зміна швидкості  $c$  та вимірювання різниці фази  $\Delta\varphi$  використаємо формулу визначення диференціалів:

$$dQ = \frac{\partial Q}{\partial c} \cdot dc + \frac{\partial Q}{\partial(\Delta\varphi)} \cdot d(\Delta\varphi) + \frac{\partial Q}{\partial f} \cdot df \quad (9)$$

де,  $\frac{\delta Q}{\delta c}$ ,  $\frac{\delta Q}{\delta(\Delta\varphi)}$ ,  $\frac{\delta Q}{\delta f}$  - це коефіцієнти впливу.

Отримаємо наступний вираз:

$$dQ = \frac{2 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot k \cdot \tau_{\text{визм}} \cdot c \cdot \Delta\phi}{2 \cdot L \cdot f \cdot 360^\circ} \cdot dc + \frac{\pi \cdot R^2 \cdot k \cdot \tau_{\text{визм}} \cdot c^2 \cdot \Delta\phi}{2 \cdot L \cdot f \cdot 360^\circ} \cdot d(\Delta\phi) - \frac{\pi \cdot R^2 \cdot k \cdot \tau_{\text{визм}} \cdot c \cdot \Delta\phi}{2 \cdot L \cdot f \cdot 360^\circ} \cdot df \quad (10)$$

Для зручності коефіцієнти впливу  $\frac{\delta Q}{\delta c}$ ,  $\frac{\delta Q}{\delta(\Delta\varphi)}$ ,  $\frac{\delta Q}{\delta f}$  позначимо як  $K_1, K_2, K_3$

Оскільки ці похибки є випадковими величинами, то пропонується використати наступну формулу:

$$\sigma = \sqrt{K_1 \cdot (\Delta c)^2 + K_2 \cdot (\Delta\varphi)^2 + K_3 \cdot (\Delta f)^2} \quad (11)$$

## ВИСНОВОК

Швидкість поширення ультразвуку в рідкому середовищі, як відомо, визначається тільки її фізичними властивостями. Оскільки ці властивості залежать від температури, концентрації домішок і тиску в середовищі, то і швидкість поширення ультразвуку ( $c$ ) є функцією цих факторів. Таким чином, одним з основних джерел похибок ультразвукових контрольно-вимірювальних систем, в тому числі і витратомірів, є залежність швидкості звуку робочого середовища від температури, складу та інших факторів середовища. Для отримання максимальної точності на всьому діапазоні вимірювань, а також при дуже малих швидкостях потоків, необхідно використовувати схеми температурної компенсації, що гарантують високу точність.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Цапенко В. К. Основи ультразвукового неруйнівного контролю / В. К. Цапенко, Ю. В. Куц. – Київ: НТУУ "КПІ", 2009. – 431 с.
2. Антоненко С. С. Контроль та вимірювання параметрів рідин і газів / С. С. Антоненко, Е. В. Колісніченко. – Суми: СумДУ, 2009. – 199 с.
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества / П. П. Кремлевский. - Справочник. — 4е изд. — Л.: Машиностроение, 1989. — 701 с.