

## ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМІРЮВАЧА ПУЛЬСУЮЧОГО ПОТОКУ ДВОФАЗНОГО СЕРЕДОВИЩА

© В. Дмитрів, І. Дмитрів, 2017

Львівський національний аграрний університет, Львів, Україна

Для вимірювання змінних витрат витратоміри повинні відповідати високим динамічним характеристикам, які забезпечують швидкодію вимірювання. Важливим параметром витратоміра є постійність часових характеристик для всього діапазону вимірювання. Для прикладу, інтенсивність молоковіддачі є в межах від 0 до 6 л/хв, а динаміка процесу руху молоко-повітряної суміші змінюється протягом одного циклу роботи пульсатора, який становить 0,9...1,1 с. Тому визначальним параметром при розробці перетворювача інтенсивності молоковіддачі є стала часу, яка зумовлює динамічні характеристики витратоміра [1, 2].

За основу конструкції витратоміра взято розроблений термоанемометричний вимірювач кількості молока [2]. Основу вимірювача складають сприймальні елементи датчика (рис.), які становлять мостову схему вимірювання зміни напруги та перетворення її в дискретний цифровий сигнал. Сприймаючі елементи працюють в режимі заданого розбалансу напруг мостової схеми. Вимірюється розбаланс напруги, що виникає в результаті відбору тепла і змінюється опір елементів через зміну швидкості руху потоку.

Уточнено математичну модель термоанемометра з врахуванням розміщення сприймальних елементів відносно корпусу вимірювача, відсутність їх контакту з корпусом [3]. Тепловиділення сприймальними елементами залежить від швидкості середовища, схему розподілу теплового потоку наведено на рис.

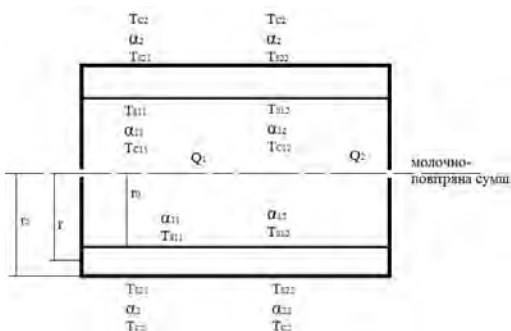


Рис. Схема розподілу температур

Присутні два джерела виділення теплоти  $Q_1$  і  $Q_2$ , від кілець. В результаті руху суміші присутній конвективний теплообмін. На зовнішній границі циліндра присутня стаціонарна теплопровідність. Рівняння теплового балансу сприймаючого елемента запишеться у вигляді [1, 3]:  $Q_K = Q_C + Q_{CT} + Q_K$ ,

де  $Q_K$  - теплота від сприймаючого кільця;  $Q_C$  - теплота, що забирається потоком суміші;  $Q_{CT}$  - теплота, що виділяється на зовні

і корпус;  $Q_K$  - теплота, що затрачається на розігрів кільця.

Температура сприймального кільця при розігріві його силою

струму  $I$  розраховується за залежністю [1, 3]:

$$T_{S1} = \left[ I^2 R + \alpha_1 2\pi r_0 l T_{c1} + \frac{4\pi^2 \lambda r_0}{\ln \frac{r_2}{r_0}} T_{c1} \left( 1 + \frac{\lambda}{r_2 \alpha_2 \ln \frac{r_2}{r_0}} \right)^{-1} + m C_k T_{S1} \right] \cdot \left[ \alpha_1 2\pi r_0 l_k + \frac{4\pi^2 \lambda r_0}{\ln \frac{r_2}{r_0}} \left( 1 + \frac{\lambda}{r_2 \alpha_2 \ln \frac{r_2}{r_0}} \right)^{-1} + m C_m \right]^{-1}$$

де  $T_{S1}$  - температура розігріву сприймального кільця, град.;  $T_{c1}$  - температура молока, град.;  $T_{c2}$  - температура навколишнього середовища, град.;  $I$  - сила струму живлення сприймальних елементів, А;  $R$  - опір сприймальних елементів, Ом;  $r_0$  - внутрішній радіус корпусу, м;  $r_2$  - зовнішній радіус корпусу, м;  $\lambda$  - коефіцієнт теплопровідності матеріалу корпусу, Вт/(м·град);  $\alpha_1$  - коефіцієнт тепловіддачі молока, Вт/(м<sup>2</sup>·град);  $\alpha_2$  - коефіцієнт тепловіддачі повітря, Вт/(м<sup>2</sup>·град).

Розміщення сприймальних елементів всередині циліндричного корпусу первинного перетворювача на деякій віддалі від внутрішньої поверхні характеризується відстанню між ними, яка залежить від потужності, що підводиться до мостової схеми і теплотехнічних характеристик середовища та матеріалу корпусу. Віддаль

обґрунтовується таким чином, щоб температурні поля від двох елементів не впливали на температуру одного з них. Можна припустити, що існує в полі первинного вимірювача така границя розподілу температурних полів, де температура є на 10 ÷ 15 % нижча від температури холоднішого елемента [3].

Розповсюдження теплового потоку з внутрішнім джерелом теплоти є рівномірним і розподіленим по периметру циліндра і шириною не більше 0,2 мм. Інтенсивність об'ємного виділення теплоти можна подати, як  $q_v = q/\Delta V$ , де  $q_v$  - інтенсивність об'ємного виділення теплоти, Вт/м<sup>3</sup>;  $q$  - кількість теплоти, що виділяється елементом за рахунок проходження електричного струму,  $q = I^2 \cdot R$ , Вт;  $\Delta V$  - приріст об'єму, в якому розповсюджується тепловий потік,  $\Delta V = \left(\frac{\pi \cdot x^2}{2}\right) \cdot (2 \cdot \pi(r_0 + x))$ , м<sup>3</sup>;  $\frac{\pi \cdot x^2}{2}$  - площа поперечного перерізу на відстані  $X$  від джерела теплоти;  $2 \cdot \pi(r_0 + x)$  - довжина круга на відстані  $X$  від джерела теплоти.

Якщо прийняти, що температура елемента (джерела теплоти) буде змінюватися тільки вздовж вісі  $X$ , то диференціальне рівняння в розглядуваному випадку запишеться [3]

$$\frac{d^2T}{dX^2} + \frac{q}{\lambda \cdot \pi^2 \cdot X^2 \cdot (r_0 + X)} = 0 \quad (1)$$

В результаті інтегрування рівняння (1) за граничних умов:  $X=0, T=T_{s1}$  для першого кільця і  $T=T_{s2}$  для другого кільця, температуру кілець відповідно визначимо з рівнянь:

$$T = T_{s1} + \frac{q}{\lambda \cdot \pi^2 \cdot r_0} \cdot \ln\left(\frac{r_0}{r_0 + X}\right) - \frac{q \cdot X}{\lambda \cdot \pi^2 \cdot r_0} \left(\frac{X}{2} + \frac{1}{r_0} \cdot \ln\left(\frac{r_0}{X} + 1\right)\right), \quad T = T_{s2} + \frac{4 \cdot q}{\lambda \cdot \pi \cdot r_0} \cdot \ln\left(\frac{r_0}{r_0 + X}\right) - \frac{4 \cdot q \cdot X}{\lambda \cdot \pi \cdot r_0} \left(\frac{X}{2} + \frac{1}{r_0} \cdot \ln\left(\frac{r_0}{X} + 1\right)\right).$$

При напрузі живлення 3,0 В і інтенсивності потоку 1,0 ÷ 2,0 л/хв температура в площині розподілу теплових полів сприймальних елементів змінюватиметься від 37 до 20 °С при зміні відстані між кільцями від 0,3 до 3,3 мм. При критичних умовах охолодження (температурні процеси проходять адіабатично) і напрузі живлення 0,75 В (в режимі слідкування) оптимальна віддал між сприймальними елементами буде становити 10,5 мм [3].

Перехідний процес термоанемометра описується рівнянням [4]:

$$m \cdot c \cdot (a + b \cdot v^n)^{-1} \cdot T + T_E = I^2 \cdot R \cdot (a + b \cdot v^n)^{-1} + T_C,$$

де  $m$ ,  $c$  - маса і питома теплоємність термоелемента;  $(a + b \cdot v^n)$  - коефіцієнт тепловіддачі на одиницю довжини термоелемента;  $T_E$ ,  $T_C$  - відповідно температури термоелемента і середовища;  $I$ ,  $R$  - відповідно сила струму і опір термоелемента.

Стала часу  $\tau_1$  для даного типу вимірювачів розраховуємо за залежністю:  $\tau_1 = m \cdot c / (a + b \cdot v^n)^{-1} = m \cdot c / (\alpha \cdot S_E)$ , де  $\alpha$ ,  $S_E$  - відповідно коефіцієнт тепловіддачі і площа термоелемента.

Дослідження термоанемометричного витратоміра інтенсивності молоковіддачі [4] показали, що із збільшенням інтенсивності молоковіддачі коефіцієнт тепловіддачі росте, відповідно стала часу зменшується. Аналогічно із збільшення температури кілець, зменшується стала часу.

Аналіз перехідних процесів витратоміра показав, що стала часу значно залежать від коефіцієнта тепловіддачі  $\alpha$ , який пропорційний  $v^n$  або  $Q^n$ , де  $v$  і  $Q$  - відповідно швидкість і об'ємна витрата.

Для турбулентних потоків показник степеня  $n = 0,8$ . При  $Re < 5 \cdot 10^4$  показник  $n$  зменшується до 0,4-0,5 і нижче при ламінарному режимі руху вимірюваного середовища. Відносна похибка при вимірюванні пульсуючих потоків вимірювача не перевищує 3 %, при турбулентному режимі ( $n=0,8$ ) відносна похибка наближається до 1 % [3].

Стала часу перетворення лежить в межах 0,03-0,007 с при частоті пульсації потоку 1 Гц  $\pm 5$  % [4].

1. Дмитрів В.Т. Математична модель проточного термоанемометричного вимірювача інтенсивності молоковіддачі / В.Т. Дмитрів // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 1997. - № 1. - С. 49-58. 2. Дмитрів В.Т. Уніфікований термоанемометричний вимірювач інтенсивності молоковіддачі стосовно АСК ТП машинного доїння корів / В.Т. Дмитрів // Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. - Випуск №49. - Глава: ННЦ ІМЕСГ, 2005.- С. 368-373. 3. Дмитрів В.Т. Термоанемометричний вимірювач пульсуючих потоків двофазних середовищ / В.Т. Дмитрів, І.В. Дмитрів, І.І. Максимів // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - Львів. Львів. національний агроуніверситет, 2013.- № 17. - С. 71-79. 4. Дмитрів В.Т. Динамічні характеристики витратомірів стосовно АСК ТП машинного доїння / В. Дмитрів, Я. Жінчин, Г. Дмитрів і ін. (6 авт.) // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2005. - № 9. - С. 255-263.