

The next link in the information transmission is the final receiving device with mains power supply and a permanent connection to the Internet.

In the case of creating a system for transmitting readings from domestic meters or automation of an industrial facility, it is necessary to additionally study the terrain, the material type and housing density, the presence of green spaces in the signal path, etc. All these factors affect the system structure, especially the determination of the required repeaters number.

These problems solution is possible with the help of a denser repeaters placement and their number increase. But such a quantitative change causes an increase in the signal transit time from the most distant metering instrument to the receiving device and increases the risk of loss or distortion of the transmitted data.

The modern network technologies use makes it possible to automate an object of any complexity. At the same time, along with traditional wired technologies, various modern radio technologies are being introduced (LoRaWAN, NB-IoT).

Such technologies allow significantly speed up and simplify the process of meters readout automation, including those of different models and manufacturers [2]. Today, the creation of data transmission systems from metering instruments becomes available, even in the residential sector. We are talking about apartment buildings, housing estates, massifs, etc. Such objects are characterized by a large number of metering units and their dense location in comparison with industrial facilities.

The technology choice for the information network deployment is limited by the current state of a certain object (a new building at the design or settlement stage, a populated house) and the special aspects of the metering unit's location for a separate apartment.

Keywords: meter, readings, data system, automated system, technologies.

References

- [1] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 1”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 59(1), с. 95 – 101, 2020. DOI: 10.20535/1970.59(1).2020.210037.
- [2] А. В. Писарець, Є. В. Писарець, “Автоматизовані системи передачі показань від приладів обліку енергоносіїв. Частина 2”, *Вісник КПІ. Серія приладобудування*, Вип. 60(2), с. 79 – 86, 2020. DOI: 10.20535/1970.60(2).2020.221452.

УДК 681.121.84

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ МАСОВОЇ ВИТРАТИ СУХОЇ НАСИЧЕНОЇ ПАРИ ЗА ДОПОМОГОЮ СОПЛА ISA 1932

Майданович І. Р., Лесовой Л. В.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

E-mail: iryna.maidanovych.avm.2018@lpnu.ua, techinfoflow@yahoo.co.uk

При вимірюванні масової витрати плинного енергоносія, до якого відноситься і суха насичена пара, широке застосування набув метод змінного перепаду тиску. Первинним перетворювачем при застосуванні цього методу

найчастіше застосовують діафрагму з кутовим способом відбору перепаду тиску. Єдиним недоліком цього звужувального пристрою є велика втрата тиску на діафрагмі при максимальному значенні витрати. Для відносного діаметра $\beta = 0,303154$ звужувального пристрою, як для діафрагми з кутовим способом відбору тиску [1], так і для сопла ISA 1932 [2], втрати тиску Δp при максимальному значенні масової витрати [1 – 3] сухої насиченої пари, становлять відповідно 89,7 % і 83 %, а для відносного діаметра $\beta = 0,303154$ – відповідно 45,5 % і 30,9 % від верхньої границі вимірювання перепаду тиску на дифманометрі. Тому для вимірювання масової витрати q_m сухої насиченої пари застосовують стандартний звужувальний пристрій, такий як сопло ISA 1932.

Масову витрату сухої насиченої пари розраховують відповідно до [2] за рівнянням

$$q_m = \frac{\pi d^2}{4} C E K_{\text{ш}} \varepsilon \sqrt{2 \Delta p \rho}, \quad (1)$$

де d – діаметр горловини сопла ISA 1932 при температурі середовища t ; C – коефіцієнт витікання сопла ISA 1932; E – коефіцієнт швидкості входу; $K_{\text{ш}}$ – поправковий коефіцієнт, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу; ε – коефіцієнт розширювання енергоносія; Δp – перепад тиску на соплі ISA 1932; ρ – густина сухої насиченої пари за температури t [4].

Коефіцієнт витікання C сопла ISA 1932 відповідно до [2] і [3] розраховують за рівнянням

$$C = 0,99 - 0,2262 \beta^{4,1} - (0,00175 \beta^2 - 0,0033 \beta^{4,15}) \left(\frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{1,15}, \quad (2)$$

де Re – число Рейнольда, значення якого визначають за рівнянням [3]

$$\text{Re} = \frac{4 q_m}{\pi D \mu}, \quad (3)$$

μ – динамічна в'язкість сухої насиченої пари за робочої температури сухої насиченої пари [4].

Коефіцієнт швидкості входу E відповідно до [3] визначають за рівнянням

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}}. \quad (4)$$

Значення коефіцієнта розширення ε плинного енергоносія відповідно до [2], [3] розраховують за рівнянням

$$\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\kappa \tau^{\frac{2}{\kappa}}}{\kappa - 1} \right) \left(\frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 \tau^{\frac{2}{\kappa}}} \right) \left(\frac{1 - \tau^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{1 - \tau} \right)}, \quad (5)$$

де κ – показник адіабати сухої насиченої пари; значення τ обчислюють за

виразом

$$\tau = 1 - \frac{\Delta p}{p}. \quad (6)$$

Рівняння (5) можна застосовувати за значень $\Delta p/p \leq 0,25$.

Для знаходження масової витрати сухої насиченої пари для зменшення втрат тиску на соплі ISA 1932 також необхідно зменшити втрати тиску на внутрішній поверхні вимірювального трубопроводу. Для цього внутрішню поверхню вимірювального трубопроводу виготовляють таким чином, щоб значення відносної шорсткості було меншим за мінімально допустиме значення, яке наведене в [2]. Тоді значення поправкового коефіцієнта, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу буде дорівнювати одиниці.

Підставлянням значень коефіцієнта витікання C сопла ISA 1932, яке визначене за рівнянням (2), і числа Рейнольда, яке розраховане за рівнянням (3) до рівняння (1), отримаємо рівняння для визначення масової витрати сухої насиченої пари, яке буде залежати від цієї масової витрати у вигляді

$$q_m = A \left[1 - \frac{10^{6,9} \beta^2 (0,00175 - 0,0033 \beta^{2,15})}{(0,99 - 0,2262 \beta^{4,1}) \left(\frac{4}{\pi D \mu} \right)^{1,15} q_m^{1,15}} \right], \quad (7)$$

Значення коефіцієнта A після спрощення обчислюють за рівнянням

$$A = 1,0996135 (1 - 0,2284848 \beta^{4,1}) d^2 E \epsilon \sqrt{\Delta p \rho}. \quad (8)$$

Як бачимо, рівняння (7) для визначення масової витрати сухої насиченої пари, є рівнянням невизначеного типу, тобто $q_m = f(q_m)$ і може бути вирішене або ітераційним шляхом або за допомогою іншої математичної моделі витратоміра змінного перепаду тиску, яка визначає масову витрату сухої насиченої пари.

Відповідно до ітераційного методу, наведеного у [3], визначають значення відносного відхилення δ_{q_m} , яке розраховують за рівнянням

$$\delta_{q_m} = 100 \frac{|q_{m_{i-1}} - q_{m_i}|}{q_{m_i}}, \quad (9)$$

де $q_{m_{i-1}}$ – попереднє значення масової витрати сухої насиченої пари; q_{m_i} – поточне значення масової витрати сухої насиченої пари.

Розрахунок масової витрати сухої насиченої пари завершують, коли відносне відхилення δ_{q_m} буде меншим за 0,001 %. Тому застосування ітераційного методу для визначення масової витрати сухої насиченої пари

збільшує час та об'єм пам'яті, який надається мікроконтролеру або мікропроцесору для вирішення цієї задачі.

Врахувавши рівняння (2), (3) і підставивши їх у рівняння (7), після спрощення отримаємо рівняння для визначення масової витрати сухої насиченої пари при застосуванні звужувального пристрою сопло ISA 1932

$$q_m = A \left\{ 1 - B \left[1 - B \left(1 - B_1 \right)^{-1,15} \right]^{-1,15} \right\}, \quad (10)$$

де

$$B = \frac{B_0}{A^{1,15}}; \quad (11)$$

$$B_0 = 10635,46 \frac{\beta^2 (1 - 1,885714 \beta^{2,15})}{1 - 0,2284848 \beta^{4,1}} (D\mu)^{1,15}; \quad (12)$$

$$B_1 = \frac{B_0}{1600862 (D\mu)^{1,15}}. \quad (13)$$

Рівняння (10), (8), (11) – (13) було перевірено для контрольних точок, отриманих за допомогою стандартизованої програми “САПР “Расход-РУ” [4] і відносно відхилення становило менше за 0,001 %. Це дозволяє застосовувати рівняння при вимірюванні масової витрати сухої насиченої пари за допомогою мікропроцесорів та мікроконтролерів, які використовують у обчислювачах витрати та кількості середовища та у вимірювальних комплексах.

Ключові слова: вимірювання витрати, суха насичена пара, сопло ISA1932, система обліку.

Література

- [1] ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009 (ИСО 5167-2:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги (ГОСТ 8.586.2–2005(ИСО 5167-2:2003), IDT; ISO 5167-2:2003, MOD)
- [2] ДСТУ ГОСТ 8.586.3:2009 (ИСО 5167-3:2003). Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини і газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 3. Сопла та сопла Вентурі. Технічні вимоги. (ГОСТ 8.586.3–2005(ИСО 5167-3:2003), IDT; ISO 5167-3:2003, MOD).
- [3] Є. Пістун, Л. Лесовой, *Нормування витратомірів змінного перепаду тиску*. Львів, Україна: Видавництво Інституту енергоаудиту та обліку енергоносіїв, 2006.
- [4] Є. Пістун, Л. Лесовой, Ф. Матіко, Д. Марковський, та Р. Лесовой, *САПР “Расход-РУ”. Комп'ютерна програма. Посібник користувача*. Львів: Видавництво Інституту енергоаудиту та обліку енергоносіїв, 2007.