

## АНАЛІЗ ПОХИБОК ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВИТРАТИ ГАЗІВ

Викладено основні підходи до створення структури високоточної інформаційно-вимірювальної системи витрати газів з «інтелектуальними датчиками» із використанням протоколу ModBus. Указано на переваги «гнучкої» структури вимірювальної системи порівняно із «жорсткою» структурою. Проаналізовано похибки, які впливають на роботу вимірювальної системи.

На підприємствах гірничо-видобувної та переробної галузей, теплостанціях особливо актуальним на сьогодні є наявність контролю витрат газів в розподілених системах, де датчики фізичних величин знаходяться на відстані десятків та сотень метрів один від одного і від основного обчислювального блоку. Якісні показники приладів та систем вимірювання витрат, які експлуатуються в Україні, у значній мірі не відповідають сучасним вимогам через невисокі метрологічні характеристики. Актуальність задачі точного вимірювання витрат газів підкріплена ще й проблемою постійного зростання тарифів на енергоносії, зокрема на природний газ. Тому є необхідність сформулювати можливі похибки інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) витрати газів та підходи до створення структури опитування датчиків та обробки отриманих даних [1].

Метою статті є аналіз можливих похибок в ІВС витрати газів за різної її конфігурації, а також визначення загальної похибки ІВС, обґрунтування структури ІВС витрати газів на підприємстві, яка б дозволяла легко вибирати тип датчиків, забезпечувала просту установку-заміну датчиків, а також можливість переконфігурації всієї системи.



Рис. 1. Функціональна схема ІВС з «жорсткою» структурою

Однією з найпоширеніших на сьогодні є ІВС з «жорсткою» структурою, що складається з завершених функціональних блоків, які отримують та обробляють дані лише від датчиків певного (наперед визначеного) типу, аналогових або цифрових, та не передбачає можливість зміни їх кількості та їх переконфігурацію. Протоколи обміну даними в системі такого типу можуть бути унікальними та оптимізованими під конкретну задачу. На рис. 1 показана функціональна схема такої системи.

Очевидно, що при такому підході ІВС витрати газів має такі недоліки: неможливість зміни конфігурації системи, все навантаження зі збору, обробки та перетворення даних лягає на основний обчислювальний блок, керування системою ефективно тільки на нижньому рівні.

В статті пропонується система витрати газів з «гнучкою» структурою. Система включає «інтелектуальні датчики» (модулі), які підтримують швидкий, завадостійкий мережевий протокол. Кожний модуль є універсальним взаємозамінним «інтелектуальним датчиком», який перетворює аналоговий сигнал в цифровий, має власну пам'ять та підтримує роботу в локальній мережі. Така система має вигляд автономних, віддалених один від одного модулів, які опитуються одним основним обчислювальним блоком (рис. 2).

Слід зауважити, що при такому підході кількість датчиків в кожному місці обліку газу, та власне число облікових місць в ІВС витрати газів можна легко програмно змінювати.

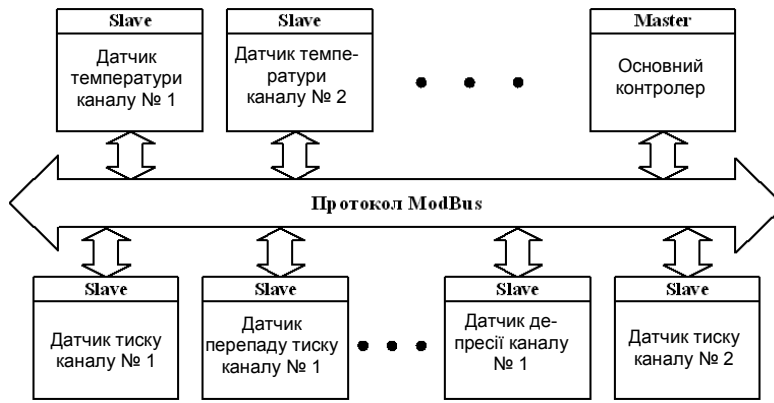


Рис. 2. Схема опитування «інтелектуальних датчиків» із використанням протоколу ModBus

В системі запроваджено сучасний протокол Modbus — послідовну магістраль, що забезпечує об'єднання в мережу «інтелектуальних датчиків» [3]. Протокол Modbus передбачає один активний пристрій в лінії (master), який опитує інші пасивні пристрої (slave). Протокол адресує до 255 пристроїв. Використання такого протоколу дозволяє: організувати високонадійні недорогі канали зв'язку, забезпечити швидкість передачі до 1 Мбіт/с, створити систему виявлення та корекції помилок, адаптувати протоколи до будь-якого фізичного середовища передачі даних.

При визначенні об'єму газу, зведеного до стандартних умов, вимірюються реальні параметри газу з обчислювача де враховуються похибки вимірювальних каналів. Загальна формула розрахунку похибки визначення об'єму газу подана у формулі:

$$\delta_V = \sqrt{\delta_{ВП}^2 + \delta_o^2 + \delta_P^2 + \delta_T^2 + \delta_K^2}, \tag{1}$$

де  $\delta_{ВП}$  — похибка вимірювального перетворювача витрати;  $\delta_o$  — похибка обчислювача;  $\delta_P$  — похибка вимірювання абсолютного тиску;  $\delta_T$  — похибка вимірювання температури;  $\delta_K$  — похибка розрахунку коефіцієнта стисливості.

Проведемо аналіз кожного із складників загальної похибки. Похибка розрахунку коефіцієнта стисливості  $\delta_K$ , відповідно до рекомендацій ІСО 5168, внаслідок похибки вимірювань вихідних даних визначають за формулою

$$\delta_{KD} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{k=1}^{N_q} \left[ \frac{K_{qk}^{\max} - K_{qk}^{\min}}{q_k^{\max} - q_k^{\min}} q_k \delta_{qk} \right]^2}, \tag{2}$$

де  $\delta_{KD}$  — похибка розрахунку коефіцієнта стисливості, пов'язана з вимірюванням даних;  $K$  — розрахований за вибраним методом коефіцієнт стисливості;  $q_k$  — позначення  $k$ -го параметра необхідних для розрахунку  $K$  даних;  $N_q$  — кількість параметрів вхідних даних;  $q_k^{\max}$  та  $q_k^{\min}$  — максимальне і мінімальне значення  $k$ -го параметра;  $K_{qk}^{\max}$  та  $K_{qk}^{\min}$  — максимальне і мінімальне значення розрахунку коефіцієнта стисливості.

Похибка вимірювання абсолютного тиску  $\delta_P$  та похибка вимірювання температури  $\delta_T$  визначається класом точності первинного вимірювального перетворювача для кожного із параметрів і береться з його паспорта. Зазвичай вона складає 0,5 або 0,25 відсотка звичайного, або 0,10 відсотка для точного первинного вимірювального перетворювача.

Похибка обчислювача, як окремого блоку ІВС витрати газів, береться відповідно до його технічної документації.

Похибку вимірювального перетворювача витрати  $\delta_{ВП}$  можливо визначити після вибору типу вимірювального перетворювача. На сьогодні є досить багато типів вимірювальних перетворювачів витрати, які базуються на різних фізичних властивостях газу:

- витратоміри змінного перепаду тиску;

- турбінні витратоміри;
- ультразвукові витратоміри;
- вихрові витратоміри;
- напірні трубки.

Наприклад, при вимірюванні витрати газу за допомогою стандартних звужуючих пристроїв, похибка розраховується за методом середніх квадратів похибок складових розрахунку витрати із врахуванням їх ваги в розрахунках. Наприклад, при використанні дифманометра із заданою шкалою перепаду тиску похибка вимірювального перетворювача матиме вигляд

$$\delta_{Q(\Delta p)} = \sqrt{\delta_{\alpha}^2 + \delta_{\varepsilon}^2 + \delta_{Re}^2 + \frac{1}{4}(\delta_{\rho n}^2 + \delta_{\Delta p}^2 + \delta_p^2 + \delta_T^2 + \delta_Z^2)}, \quad (3)$$

де  $\delta_{\alpha}$ ,  $\delta_{\varepsilon}$ ,  $\delta_{\Delta p}$ , ...,  $\delta_Z$  — граничні похибки вимірювання  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $\Delta p$ , ...,  $Z$  та інших величин, %.

Для точного розрахунку похибки вимірювального перетворювача за формулою (3) складові похибки розраховуються за іншими формулами, або беруться їх готові значення з таблиць.

Запропонована структура ІВС витрати газів окрім випадкової складової похибки вимірювання, що непрогнозовано змінюється у ряді вимірювань фізичної величини, містить прогнозовану систематичну похибку.

Випадкова складова похибки зумовлена випадковістю вимірюваної величини, зміною зовнішніх факторів, впливом на ІВС завод. Для оцінки його впливу зазвичай вибирають нормальний закон розподілу похибки (закон Гауса).

Систематична похибка ІВС витрати газів в нашому випадку включає в себе такі похибки. Інструментальну похибку — зумовлену недосконалістю виготовлення деталей перетворювача, схемних компонентів, електроніки. Суб'єктивну похибку — зумовлену особливостями людини завищувати або занижувати значення фізичної величини, наприклад, при калібровці чи налагодженні електронного вимірювального блоку. Методичну похибку — яка завжди виникає в цифрових ІВС внаслідок широкого використання фізичних констант та обмеженої розрядності процесорів. Похибку встановлення — яка зумовлена неможливістю абсолютно точно встановити перетворювач, відхиленням температури чи тиску в місці встановлення датчика від реального значення, наявністю зовнішніх полів тощо.

## Висновки

Запропонована ІВС витрати газів з «гнучкою» структурою дозволить спростити розробку складних систем обліку газу, а саме: змінювати кількість модулів та їх призначення, залишаючи незмінними інші елементи ІВС. Наведені формули за якими можна обчислити загальну похибку вимірювання об'єму газу, а також її складових. Розглянуті похибки присутні в цій і подібних вимірювальних системах, впливу яких на вимірювання необхідно позбутися, або мінімізувати.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник. — Івано-Франківськ: Сімік, 2004. — 160с.
2. Володарський С. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. — Вінниця: Велес, 2001. — 219 с.
3. Дементьєв С. Ю. Мікропроцесорний коректор об'єму газу з наднизьким енергоспоживанням // Вісник Хмельницького Національного університету. — 2005. — № 4. — С. 233—235.
4. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. — 455 с.
5. Modicon Modbus Protocol Reference Guide. — Massachusetts: MODICON Inc, 1996.

*Дементьєв Сергій Юрійович* — аспірант.

Кафедра автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет