

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛІКУ ШВИДКОЗМІННИХ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

© Кріль О.В., Кріль Б.А., 2007

Розглянуто результати розробки та впровадження системи вимірювання витрати швидкозмінних газових потоків, в якій окремі витратомірні пристрої виконані на базі методу змінного перепаду тиску зі швидкою обробкою алгоритму розрахунку витрати вільнопрограмованими контролерами, об'єднаними в мережу і інтегрованими в систему верхнього рівня керування виробництвом.

Results of development and implementation of gas flow rate measurement system for rapidly varying flows are considered in this paper. The flow rate meters in this system are based on pressure differential devices with fast processing of flow rate calculation algorithm by PLCs united into a network and integrated in SCADA system.

Постановка проблеми. В багатьох технологічних процесах виникає проблема вимірювання витрати газових середовищ, в яких витрата дуже швидко змінюється в значних межах. Для прикладу, зміни витрати з частотою 0,1–1 Гц та амплітудою в межах 0,2–1 від максимального значення характерні для сучасних швидкоплинних технологічних процесів. Але сьогодні не існує методик досліджень та нормування динамічних похибок витратомірів, динамічні похибки не вказуються в метрологічних характеристиках приладів, інколи не вказується час опитування первинних перетворювачів за багатопараметричного методу визначення витрати газових середовищ та час обробки алгоритму. Багато методів вимірювання витрати та приладів, що їх реалізують, мають доволі високі метрологічні характеристики під час вимірювань в статичному режимі, але є малоприсадибними для вимірювання швидкозмінних потоків через великі динамічні похибки.

Аналіз відомих технічних рішень. Аналіз існуючих методів для вимірювання витрати швидкозмінних газових потоків проведений стосовно можливого застосування для розв'язання конкретної задачі – вимірювання витрати вуглекислого газу в пивоварному виробництві на таких вітках: загальній лінії подачі вуглекислого газу на всі виробництва; лінії подачі вуглекислого газу на технологію розливу в пляшкову тару; лінії подачі вуглекислого газу на технологію розливу в поліетиленову тару; лінії подачі вуглекислого газу на технологію розливу в КЕГи; лінії подачі вуглекислого газу на технологію очищення і фільтрування; лінії збору вуглекислого газу з технології очищення і фільтрування. Загальною особливістю цих перерахованих вимірювань є те, що за зміни витрати в широких межах змінюється абсолютний тиск газу і відповідно його густина. Ці обидві зміни дуже динамічні через інтенсивну роботу різного запірного обладнання, яке у великій кількості встановлюється в усіх інтенсивних сучасних технологіях. Встановлені раніше два витратоміри: коріолісовий і вихровий давали великі розбіжності порівняно з розрахунковими даними зі споживання вуглекислого газу на перераховані вище процеси та даними, які були одержані ваговим методом під час реалізації надлишків рідкого вуглекислого газу іншим споживачам.

Мета роботи – в'яснити причини появи цих розбіжностей для встановлених приладів та пошук більш придатного методу для вимірювання витрати швидкозмінних газових потоків.

Виклад основного матеріалу. Для розв'язання поставленої задачі пророблялося три методи вимірювання витрати газових потоків: коріолісовий, вихровий та метод змінного перепаду тисків.

Інші методи не бралися до уваги як малоприматні для розв'язання поставленої задачі. Аналіз сфери застосування з описом принципу дії інших методів можна знайти у [1, 2].

Коріолісові витратоміри добре зарекомендували себе для вимірювання витрати рідких середовищ зі змінною густиною [3]. Динаміка зміни витрати рідинних потоків значно повільніша, значення густини середовища приблизно на три порядки більші, межі зміни густини істотно менші. Значно важчим завданням для цього методу є вимірювання витрати газових потоків через істотно меншу густину газового середовища і ширші межі зміни значення цієї густини. Це призводить до великих похибок вимірювання густини газового середовища в робочих умовах. Власна частота коливань резонансної системи витратоміра невелика і лежить у межах 100 Гц, зміна цієї частоти від густини газового середовища незначна, а сама залежність – нелінійна. Для прикладу, у вібраційних густиномірах газових середовищ власна частота коливань резонансної системи значно вища і знаходиться в межах 1–3 кГц. Для сучасної мікропроцесорної техніки не є проблематичним вимірювання періоду навіть одного коливання резонансної системи з достатньою точністю, але тут власне, важко виділити цей період через зміну вимірюваного параметра та вплив вібрацій, які супроводжують реальний технологічний процес. Тому час вимірювання частоти зростає через необхідність усереднення результатів вимірювання, а точність вимірювання недостатня через малу зміну частоти резонансної системи за зміни густини. Аналогічна ситуація виникає під час вимірювання фазового зсуву між коливаннями різних ділянок резонансної системи, за якими визначають витрату. Цей фазовий зсув через знову ж таки малу густину газового середовища є невеликим, і його точно виміряти важко, особливо за накладання коливань витрати потоку та вібрацій технологічного обладнання. Початок діапазону вимірювання для цього методу має подібні проблеми, що і для інших методів, тобто вимірювання фазових зсувів, які близькі до нульових, відсікає значну частину початку діапазону вимірювання. Вищесказане переважно стосується статичного режиму вимірювання витрати. В динамічному режимі з'являються інші чинники, які призводять до появи похибок і розглядатимуться нижче узагальнено для трьох методів.

У вихровому методі вимірювання витрати виникає та сама проблема врахування густини газового середовища в робочих умовах [3]. Незважаючи на те, що вихрові витратоміри належать до масових методів вимірювання витрати, густина входить у функцію перетворення через критеріальні залежності і це не може бути підставою для твердження, що ці витратоміри достатньо точно враховують густину середовища в робочих умовах. Виробники рекомендують їх застосовувати виключно для визначених сталих робочих параметрів середовища або доповнювати їх манометром абсолютного тиску, термометром та обчислювальним пристроєм для розрахунку густини газового середовища в робочих умовах. Виходить складний, дорогий та повільно функціонуючий витратомір. Інша проблема – вимірювання частоти або періоду пульсацій тиску доріжок Кармана в умовах зміни витрати та вібрацій технологічного обладнання подібна до проблеми вимірювання частоти резонансної системи в коріолісових витратомірах. Частота їх теж невисока і не перевищує кількох десятків Гц.

Метод змінного перепаду тисків для вимірювання витрати газових середовищ може застосовуватися тільки за наявності вимірювання абсолютного тиску та температури і розрахунку за цими вимірюваннями густини газового середовища в робочих умовах [4]. Його перевагою є значно простіша реалізація первинного перетворювача витрати і можливість дуже швидкого вимірювання перепаду тисків та абсолютного тиску, особливо під час застосування тензорезисторних перетворювачів тиску. Вужчий діапазон вимірювання сьогодні вважають майже вирішеною проблемою через високі метрологічні характеристики вимірювачів різниці тисків і можливість підігнати межі вимірювання під будь-яке потрібне значення витрати [4, 5]. Дві істотні нелінійності: одна – квадратична залежність перепаду тисків від витрати; друга – коренева залежність вихідного значення сигналу витрати від сигналу від вимірювача перепаду тисків разом з часовими характеристиками складових по ходу вимірювального каналу є джерелами істотних динамічних похибок.

Коротко слід охарактеризувати динамічні властивості об'єктів, для яких розв'язувалась ця задача.

Технологічна лінія подачі вуглекислого газу на одну з перерахованих вище технологій складається з джерела вуглекислого газу, ряду пристроїв, встановлених по напрямку руху потоку – регулятори тиску прямої дії, регулювальні клапани, кінцевий споживач, наприклад, пристрій періодичної дії для насичення вуглекислим газом напою. Усі ці пристрої з'єднані трубопроводами діаметром близько 40 мм, а сама технологія працює зі змінною продуктивністю. Сам витратомір встановлюється ближче до джерела вуглекислого газу після попереднього регулятора прямої дії та відсічного вентиля. Приблизний частотний діапазон пульсацій витрати та тиску показано вище. Але ще, крім того, такий об'єкт залежно від продуктивності джерела вуглекислого газу та кінцевого споживача має різну динамічну характеристику за зростання і за спадання витрати. Тобто може йти швидко наростання витрати під час відкривання регулювальних клапанів і збільшення продуктивності лінії і повільне зменшення витрати за зменшення продуктивності лінії, або навпаки. Сама динамічна характеристика такого об'єкта істотно нелінійна. Це призводить до зміщення результатів вимірювання витрати в бік завищення або заниження за недостатньої швидкодії первинних перетворювачів або обчислювального пристрою і наявності статичних нелінійностей у функції перетворення вимірювального каналу з витрати або густини.

Цікавими є взаємні зміни абсолютного тиску газу та витрати в такій лінії. Залежно від місця встановлення та продуктивності джерела вуглекислого газу і кінцевого споживача, різного послідовного розміщення регулювального клапана і витратоміра по ходу потоку абсолютний тиск газу і витрата можуть змінюватись з одним знаком або з протилежними. Разом з часом дискретизації, який є сумірним з часовими характеристиками змін потоку, це приводить до ефекту диференціювання показів з додатним чи від'ємним знаком, через те, що вимірювання абсолютного тиску газу чи густини (залежно від вибраного методу вимірювання витрати) і вимірювання перепаду тисків чи витрати рознесені в часі. Подібне явище диференціювання відоме і добре описане для широтно-імпульсних регуляторів для випадків, коли часові параметри широтно-імпульсного модулятора і об'єкта регулювання сумірні.

Такі явища майже однаково впливають на усі розглянуті методи вимірювання витрати, яким властиві нелінійності чи по каналу вимірювання густини в робочих умовах, чи по каналу вимірювання витрати та часові затримки під час вимірювань та обробки інформації. Тому для розв'язання поставленої задачі було вибрано метод змінного перепаду тисків, для якого можна мінімізувати час одержання первинної інформації та швидко обробити алгоритм розрахунку витрати. Під час реалізації не застосовувались багатопараметричні давачі через низьку швидкодію.

Технічна реалізація витратоміра за методом змінного перепаду тиску для швидкозмінних газових потоків має такий вигляд.

Як звужувальний пристрій вибрано нестандартний звужувальний пристрій, який розраховувався за правилами розрахунку нестандартних звужувальних пристроїв [6]. Конструктивною особливістю звужувальних пристроїв на малі діаметри трубопроводів є незручність закріплення діафрагми, її центрування, проблеми з точним дотриманням геометричних розмірів як самої діафрагми, так і кільцевих камер відбору тисків. Тому звужувальні пристрої виготовлено у вигляді зварних моноблоків, за бажання з каліброваними ділянками трубопроводів і гніздом для термометра опору. Розраховані геометричні розміри діафрагми і кільцевих камер відбору тисків контролювались після виготовлення та після зварювання і в алгоритм розрахунку витрати вносились скореговані дані.

Решта обладнання з огляду на подальшу інтеграцію в існуючу систему верхнього рівня керування виробництвом та потенційних функціональних можливостей малопотужного вільно-програмованого контролера вибрано виробництва фірми Siemens. Це є дифманометр типу Sitrans P серії DSIII, перетворювач абсолютного тиску Sitrans P серії Z, вільнопрограмований малопотужний контролер типу S7-200 з дворядковою панеллю відображення TD-200 та модулем для організації контролерної мережі Profibus DP. Особливістю застосованого контролера є доволі висока швидкодія за невеликої ціни і можливості інтеграції в загальнозаводську контролерну мережу. Кількість повних циклів обробки алгоритму розрахунку витрати 10 за 1 с, вхідні сигнали від перетворювачів перепаду тиску, абсолютного тиску та температури – аналогові струмові 4–20 мА.

На панель відображення в основне вікно виведено поточну витрату вуглекислого газу, кількість вуглекислого газу, в допоміжному вікні відображено значення перепаду тисків на діафрагмі, абсолютний тиск та температуру перед діафрагмою. Ця інформація передається на верхній рівень керування, на її основі формується тренд зміни витрати, архівується інформація про кількість вуглекислого газу та формується журнал аварійних повідомлень про перевищення значення поточної витрати. На початку діапазону вимірювання застосоване маскування початкових показів на рівні 5 % від діапазону вимірювання.

На ВАТ “Львівська пивоварня” впроваджено шість таких витратомірів для перерахованих вище потоків, об’єднано їх в загальнозаводську контролерну мережу з архівацією результатів на одному з комп’ютерів автоматизованих робочих місць операторів. Верхні межі вимірювання витратомірів такі: 1 шт. – 1000 кг/год, 1 шт. – 250 кг/год; 4 шт. – 160 кг/год. Розрахована за [6] максимальна зведена похибка вимірювання не перевищувала 1,67 % і це значення було підтверджене ваговим методом під час пропускання через витратомір газифікованого з рідкого стану вуглекислого газу. Додаткову динамічну похибку після випробувань витратомірів ми оцінили на рівні 3 % за періодичних пульсацій витрати з частотою 0,2 Гц з максимальною амплітудою. Упродовж двох місяців щоденно аналізувались покази розробленого витратоміра і встановленого на цій же вітці та задіяного в системі керування збором з бродильного відділення, очищенням і зрідженням вуглекислого газу коріюлісового витратоміра. Тренди записів показали, що розроблений витратомір має значно кращі динамічні характеристики і значні розбіжності в показах з’являлися саме в моменти швидких частих періодичних змін витрати потоку вуглекислого газу. Додатково встановлено, що розроблений витратомір значно стійкіший до забруднення смолоподібним осадом, який в незначних кількостях конденсувався з вуглекислого газу навіть після очищення. Ефект самоочищення, який добре виражений для коріюлісових витратомірів на рідинах, у цьому випадку був явно недостатній.

За рахунок впровадження цієї системи вдалося уникнути істотних розбалансів обліку кількостей вуглекислого газу, що циркулює у виробництві та реалізується іншим споживачам, відстежити місця витікання та оптимізувати роботу допоміжного запірного обладнання на лініях подачі вуглекислого газу. Позитивний ефект від впровадження перевірявся за матеріальними балансами та у випадках, коли витрату вуглекислого газу можна було перевірити ваговим методом за газифікації рідкого вуглекислого газу. Але питання нормування динамічних похибок витратомірів для вимірювання витрати швидкозмінних газових потоків, питання опису та нормування можливих тестових параметрів пульсуючого газового потоку, як це зазначено на початку роботи, є відкритими і можуть бути сферою детальніших досліджень спеціалістів, які працюють в області вимірювання витрати.

Висновки. Витратоміри змінного перепаду тиску з швидкою обробкою алгоритму розрахунку витрати дають змогу мінімізувати динамічні похибки та точніше враховувати зміну густини під час вимірювання витрати та кількості швидкозмінних газових потоків.

1. Кремлевский П.П. *Расходомеры и счетчики количества: Справочник.* – Л.: Машиностроение, 1989. – 704 с. 2. Андрійшин М.П., Канєвський С.О., Карпаш О.М. та ін. *Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник.* – Івано-Франківськ: ПП “Сімик”, 2004. – 160 с. 3. *Расходомеры. Счетчики. Тематический каталог.* – Челябинск: Изд-во ЗАО ПГ “Метран”, 2006. – № 3, вып. 5. – 314 с. 4. Пістун Є.П., Лесовой Л.В. *Нормування витратомірів змінного перепаду тиску.* – Львів: Вид-во ЗАТ “Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв”, 2006. – 576 с. 5. Пістун Є.П., Дубіль Р.Я., Матіко Ф.Д. *Розширення діапазону вимірювання витрати методом змінного перепаду тиску // Вимірювальна техніка та метрологія: Міжв. наук.-техн. зб.* – Львів, 2001. – № 58. – С. 147–151. 6. *Методика выполнения измерений с помощью специальных сужающих устройств: РД 50-411-83.* – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 54 с.