

І. В. Ділай, канд. техн. наук., доц.;

З. М. Теплох, д-р. техн. наук;

Ю. Б. Гіряк

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПЛІВКОВОГО ВИТРАТОМІРА

Запропоновано вдосконалений плівковий витратомір з мікропроцесорною системою керування, який забезпечує суттєве підвищення метрологічних і експлуатаційних характеристик.

Вступ

Плівковий витратомір (ПВ) застосовують для вимірювання малих і мікровитрат різних газів найчастіше в лабораторній практиці (зокрема, в газоаналітичній техніці) завдяки можливості самостійного виготовлення приладу користувачем [1, 2]. Проте таке виконання (наприклад, використання як мірної трубки хімічної бюретки з нанесеною у промислово виконанні шкалою, ручного секундоміра і гумового балона з водним розчином мила) не забезпечує достатньої точності вимірювання (похибка, зазвичай, більша кількох % для повітря) і задовільних експлуатаційних характеристик. Часто такий пристрій фактично є індикатором витрати (наприклад, для розчинних і хімічно активних газів нестійного складу) [2].

У [3] показано, що потенційні можливості плівкового методу вимірювання є доволі високими і можуть забезпечити створення високоточних плівкових витратомірів, що відповідають сучасним запитам, в діапазоні вимірювання $10^{-5} \dots 4$ (10) м³/год. і з граничною похибкою, яка не перевищує 0,1 %. Для реалізації цих можливостей усі елементи і системи ПВ, а також методики градуювання і вимірювання повинні відповідати досліджуваному середовищу, діапазону вимірюваної витрати і сучасному рівню техніки. У зв'язку з цим були розроблені методи проектування і конструювання мірних трубок (МТ) [4] та інших додаткових елементів і систем витратоміра [5, 6], а також методи градуювання ПВ [7].

Оскільки ПВ є приладом періодичної дії, а обладнання витратоміра додатковими пристроями перетворює його у доволі складний комплекс газових, рідинних, електричних, оптичних і теплових систем, то для автоматизації вимірювань, реалізації можливостей плівкового методу вимірювання, узгодженої взаємодії всіх елементів ПВ і забезпечення автоматичного відліку витрати необхідна автоматизована система керування його роботою.

Мета роботи — суттєве підвищення метрологічних і експлуатаційних характеристик ПВ завдяки вдосконаленню його устрою і автоматизації вимірювання на основі мікропроцесорної системи керування.

Будова приладу

Структурна схема вдосконаленого витратоміра наведена на рис. 1.

Визначальними елементами ПВ, від яких безпосередньо залежать точність, надійність і діапазон вимірювання є МТ з шаром плівкоутворюючого розчину (ПУ) на її внутрішній поверхні і рухомою плівкою рідини, яка індукує потік [4, 6]. У зв'язку з цим МТ у приладі обладнана низкою допоміжних пристроїв і систем, серед яких контроль шару ПУ на внутрішній поверхні МТ, контроль рухомої плівки, генерування плівки регламентованої форми, пристрій регламентованого руйнування плівки на виході МТ і оптичні відмітки каліброваного об'єму.

Важливим фактором підвищення метрологічних і експлуатаційних характеристик ПВ є підтримання постійної товщини шару плівкоутворювача на внутрішній поверхні МТ, а також одержання і підтримання рухомої плівки регламентованої форми протягом усього періоду проходження нею мірної трубки. Ці функції виконують пристрої кола плівкоутворювача (генератор плівок ГП, пристрій руйнування і відведення плівкоутворювальної рідини РВ, резервуар з плівкоутворювальною рідиною РР) і згладжувач імпульсів тиску від об'єкта вимірювань.

У вдосконаленому ПВ передбачена система автоматичного вимірювання часу набирання каліброваної дози газу, побудована на основі оптоелектронних пар (джерела ДВ випромінювання, фіксатори ФП проходження плівки), які фіксують моменти досягнення рухомою плівкою променів світла між джерелами і відповідними фіксаторами.

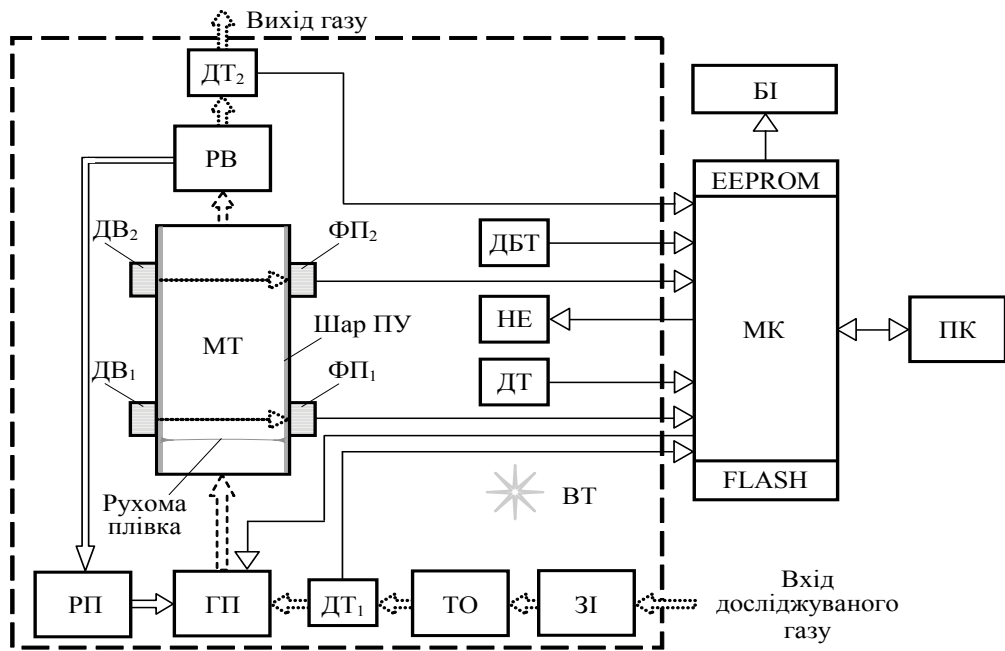


Рис. 1. Структурна схема автоматизованого ПВ:

МТ — мірна трубка; ДВ₁, ДВ₂ — джерела випромінювання, встановлені відповідно на нижній і верхній відмітках каліброваного об'єму МТ; ФП₁, ФП₂ — фіксатори проходження рухомою плівкою нижньої і верхньої відміток; ГП — генератор плівок; ТО — теплообмінник; ЗІ — згладжувач імпульсів; РП — резервуар з ПУ; РВ — пристрій руйнування плівок і відведення ПУ; МК — RISC-мікроконтролер; БІ — блок індикації; ДТ, ДТ₁, ДТ₂ — давачі температури; ДБТ — давач барометричного тиску; НЕ — нагрівальний елемент; ВТ — вирівнювач температури; ПК — персональний комп'ютер;

⇒ — канал газу; ⇄ — канал: плівка + газ; — оптичний канал;
 ⇒ ⇒ — канал плівкоутворювача; — інформаційний канал; — тепловий контур (термостат)

Цю функцію можна зrealізувати щонайменше двоюкою, а саме використати послаблення (затінення) світлового потоку між давачем і приймачем рухомою плівкою, або зафіксувати відбитий світловий промінь від поверхні рухомої плівки в МТ витратоміра. Як ФП доцільним є використання мікросхеми типу ОРТ фірми Burr-Brown з розміщенням в її корпусі операційним підсилювачем, а як ДВ — світлодіоди з довжиною випромінювання, яка забезпечує необхідну (максимальну) спектральну чутливість ФП.

Задля усунення впливу температури досліджуваного і навколишнього середовищ у ПВ передбачена система стабілізації температури газу в МТ, основними елементами якої є теплообмінник ТО, давачі ДТ температури, нагрівальний елемент НЕ, вирівнювач температури ВТ. Сигнал на ввімкнення-вимкнення нагрівача НЕ згідно із заданим законом регулювання надходить від мікроконтролера МК за програмою, записаною в його пам'ять. Окрім цього вимірюють температуру газового потоку високоточними давачами ДТ₁ на вході в МТ і ДТ₂ на її виході (наприклад, DS18B20 фірми Dallas Semiconductor), а також значення барометричного тиску давачем ДБТ для введення корекції в отримане значення витрати.

Мікропроцесорна система на основі мікроконтролера МК керує роботою всіх елементів ПВ і виводить на блок індикації БІ результати визначення витрати (об'ємної чи масової) для робочих чи нормальних умов. На сьогодні найдоцільнішим для побудови такої системи керування є застосування RISC-мікроконтролера, зокрема, із найпоширеніших, які продукують фірми Microchip, Atmel та інші [8, 9].

Результати досліджень

Значення об'ємної витрати Q газу протягом окремого вимірювання обчислюють згідно із залежністю

$$Q = V/\tau, \tag{1}$$

де τ — час набирання каліброваної дози газу, тобто час проходження рухомою плівкою відстані між каліброваними оптичними відмітками МТ; V — калібрований об'єм МТ витратоміра.

Зведене до нормальних умов значення об'ємної витрати Q_H визначають за формулою

$$Q_H = Q \cdot P/P_H \cdot T_H/T, \tag{2}$$

де P і T — абсолютний тиск і усереднена абсолютна температура досліджуваного газу;

$$P_H = 101325 \text{ Па}; T_H = 273,15 \text{ К (або } 293,15 \text{ К)}.$$

Усереднене значення температури газу визначають за показами давачів ДТ₁ і ДТ₂:

$$T = (t_1 + t_2)/2 + 273,15, \tag{3}$$

де $t_1 = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n t_{1i}$, $t_2 = 1/n \cdot \sum_{i=1}^n t_{2i}$; t_{1i} , t_{2i} — поточні значення температури досліджуваного газу, виміряні відповідно ДТ₁ і ДТ₂ протягом часу τ ; n — кількість виконаних вимірювань.

Значення масової витрати G газу можна розрахувати згідно із залежністю

$$G = \rho_H Q_H, \tag{4}$$

де ρ_H — густина газу за нормальних умов (тиску P_H і температури T_H).

Визначення витрати за робочих умов здійснюють з використанням залежності (2) і з урахуванням того, що тиск і температура (P і T) тут набувають значень відповідно P_p і T_p .

Алгоритм роботи

Блок-схема алгоритму роботи ПВ показана на рис. 2.

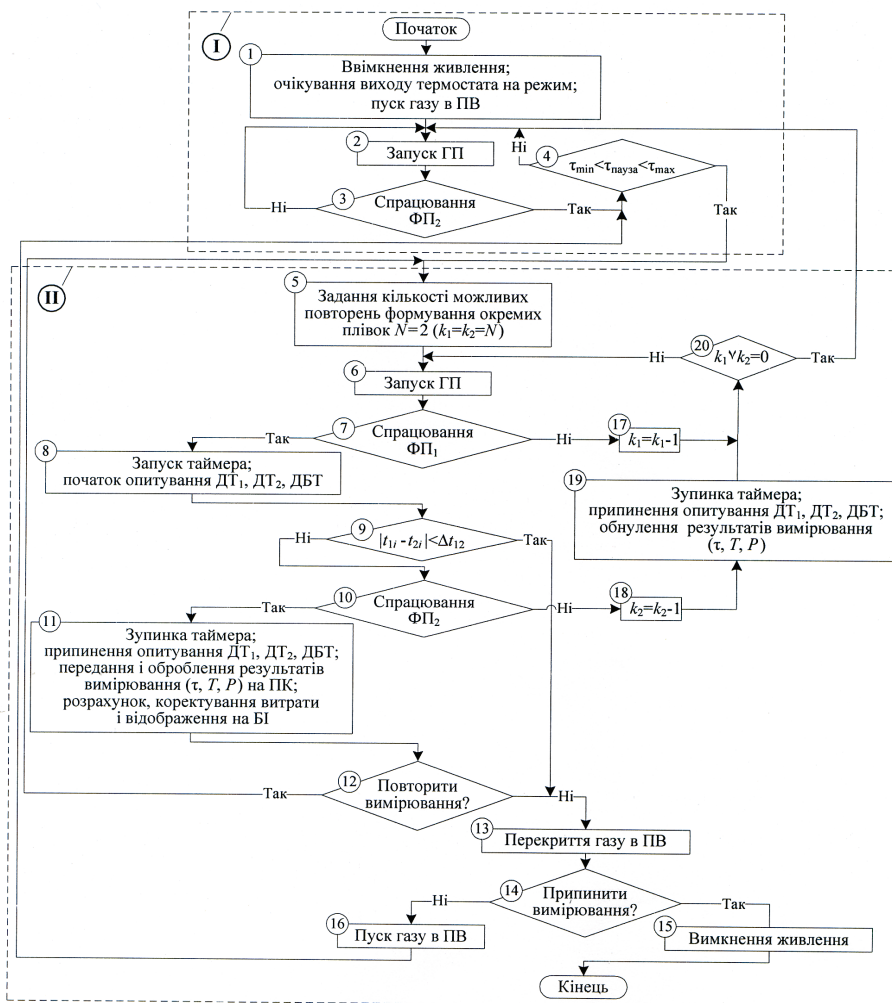


Рис. 2. Узагальнена блок-схема алгоритму роботи автоматизованого ПВ: блок I — підготовка ПВ до роботи; блок II — вимірювання витрати

Вимірюванню витрати (блок II), як видно із блок-схеми, передують підготовки ПВ до роботи (блок I). Цей етап починається з виведення температури всіх елементів ПВ на задане значення. Стабілізація температури на заданому рівні є сигналом мікроконтролера для пуску газу в ПВ з витратою $Q_c \approx (Q_{\min} + Q_{\max})/2$ (Q_{\min} , Q_{\max} — відповідно мінімальне і максимальне значення витрати, які можна виміряти МТ каліброваного об'єму V) (блок 1) і запуску генератора ГП для формування серії плівок (блок 2), які поступово змочують внутрішню поверхню МТ і утворюють на ній нормований шар ПУ. Плівка, яка першою досягає верхньої каліброваної відмітки, викликає спрацювання ФП₂ (блок 3), що є сигналом готовності ПВ до вимірювання. Якщо після цього з якихось причин (наприклад, неготовності користувача) за визначений часовий проміжок $\tau_{\text{паузи}}$ не надійшов сигнал початку вимірювання, то згідно з алгоритмом відбувається перехід на блок 2 і знову здійснюється змочування внутрішньої поверхні МТ. Час $\tau_{\text{паузи}} \in [\tau_{\min}; \tau_{\max}]$, де τ_{\min} — мінімально необхідний час формування нормованого шару МТ; τ_{\max} — часовий інтервал після проходження останньої плівки, за яким починається деградація (зокрема, висихання, стікання) нормованого шару на внутрішній поверхні МТ. Значення τ_{\min} і τ_{\max} визначають експериментально для кожної МТ.

Вимірювання витрати ПВ починається з формування одинарної рухомої плівки (блок 6), яка в своєму русі перетинає нижню відмітку каліброваного об'єму МТ, внаслідок чого спрацює ФП₁ (блок 7) і на його виході з'являється імпульсний сигнал, який запускає таймер, ДТ₁, ДТ₂ і ДБТ (блок 8). З цього моменту починається відлік часу τ проходження плівкою каліброваного об'єму МТ і опитування датчиків тиску і температури, які вимірюють відповідні параметри досліджуваного потоку газу і значення яких далі використовують у перерахунку витрати. Якщо ж протягом часу τ_1 (максимальна тривалість руху плівки на підвідній ділянці до нижньої відмітки МТ) не спрацював ФП₁ (наприклад, з якихось причин зруйнувалася плівка), то в алгоритмі передбачене повторне формування плівки (повернення до блоку 6). Кожна невдала спроба проходження нижньої відмітки каліброваного об'єму МТ витратоміра модифікує значення k_1 лічильника (блок 17) і якщо воно (значення) стає рівним нулю (для перевірки призначений блок 20), то здійснюється повторне змочування внутрішньої поверхні МТ (перехід на блок 2). У блоці 5 передбачено не більше двох спроб ($N = 2$; $k_1 = N$) для запуску плівкою ФП₁, а в разі його спрацювання не більше двох спроб ($k_2 = N$) для запуску плівкою ФП₂. Коли ж ФП₂ не спрацює протягом τ_2 (час проходження плівкою каліброваного об'єму МТ за мінімальної швидкості), значення k_2 лічильника також модифікується (блок 18), а далі зупиняється таймер, припиняється опитування датчиків і обнулюються результати невдалої спроби вимірювання (блок 19). Далі в залежності від кількості невдалих спроб (перевіряє блок 20) відбувається перехід на блок 2 або 6. За успішного проходження плівкою каліброваного об'єму МТ спрацює ФП₂, зупиняється таймер, припиняється опитування ДТ₁, ДТ₂, ДБТ, а отримані результати вимірювань використовують для розрахунку потрібного виду витрати (блок 11).

Для контролю за роботою датчиків ДТ₁, ДТ₂ передбачене порівняння поточних результатів вимірювання ними температури (t_{1i} і t_{2i}) досліджуваного газу (блок 9) протягом часу руху плівки між нижньою і верхньою каліброваними відмітками МТ. Якщо різниця результатів їх вимірювань перевищить задане значення Δt_{12} , то в алгоритмі відбудеться перехід на завершення вимірювання (блоки 13—15) для виявлення причини розбіжностей.

В алгоритмі також передбачена можливість зв'язку мікропроцесорної системи з ПК для передавання результатів вимірювань (часу, тиску і температури) і подальшого їх оброблення та візуалізації розрахованого значення витрати на моніторі, а також реалізація керування роботою ПВ із ПК.

Результати вимірювань можна обробити і звести до потрібного вигляду витрати також за допомогою мікроконтролера з подальшим відображенням цього значення на блоці індикації БІ (блок 11).

У разі необхідності проведення подальших вимірювань (блок 12) алгоритм передбачає перехід на блок 5 і далі повторюється вже описана вище послідовність дій. Якщо виникає потреба у припиненні вимірювань (блок 14), то перекривається потік газу (блок 13) і вимикається живлення всієї системи (блок 15). Блок 14 також передбачає можливість повернення до вимірювання для чого вмикається електроклапан пуску газу в ПВ (блок 16) і відбувається перехід на блок 4.

Алгоритм роботи витратоміра, а відповідно і його конструкція можуть бути змінені в залежності від умов використання ПВ і забезпечення необхідної точності вимірювання витрати. Так, наприклад, в лабораторних умовах, де температура оточуючого середовища є сталою, можна відмовитись від стабілізації температури в ПВ.

Висновки

Розроблена мікропроцесорна система керування ПВ дає можливість узгодити роботу всіх його складових, що забезпечує оптимальний режим роботи приладу в цілому і автоматичного визначення потрібного виду витрати газу. Окрім того, розроблена система достатньо просто інтегрується з ПК і забезпечує подання необхідної для користувача інформації у цифровій формі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ : справочник : Кн. 1 / П. П. Кремлевский. — СПб. : Политехника, 2002. — 409 с.
2. Френкель Б. А. Измерение малых и микрорасходов продуктов нефтехимических производств / Б. А. Френкель. — М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1973. — 116 с.
3. Теплох З. М. Аналіз похибок плівкового витратоміра газу / З. М. Теплох, О. З. Парнета // Вимірювальна техніка та метрологія. Міжвідомчий наук.-техн. збірник. Вип. 62. — Львів, 2003. — С. 114—119.
4. Ділай І. В. Розрахунок і оптимізація конструкції мірних трубок плівкових витратомірів / І. В. Ділай, О. З. Парнета, З. М. Теплох // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація», 2007. — № 581. — С. 104—110.
5. Теплох З. М. Генератори плівок мікровитратомірів газів / З. М. Теплох, О. З. Парнета // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація», 2002. — № 460. — С. 78—81.
6. Теплох З. М. Робоча рідина плівкового витратоміра / З. М. Теплох, О. З. Парнета // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація», 1999. — № 378. — С. 73—76.
7. Теплох З. М., Парнета О. З. Похибки визначення каліброваного об'єму газу в бюретці плівкового витратоміра / З. М. Теплох, О. З. Парнета // Вісник НУ «Львівська політехніка». Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. — 2001. — № 432. — С. 121—125.
8. Катцен С. ПІС микроконтроллеры. Полное руководство / С. Катцен. — М. : Додэка-XXI, 2010. — 656 с.
9. Трамперт В. AVR-RISC микроконтроллеры / В. Трамперт. — К. : МК-Пресс, 2006. — 464 с.

Рекомендована до друку кафедрою метрології та промислової автоматики

Стаття надійшла до редакції 23.02.11

Рекомендована до друку 11.03.11

Ділай Ігор Володимирович — доцент, *Теплох Зеновій Миколайович* — старший науковий співробітник.

Кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів;

Гіряк Юрій Богданович — асистент кафедри приладів точної механіки.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів