

УДК 65.050.9(2)2

В.О. Сацик, Д.О. Сомов

Луцький національний технічний університет

## **ВИКОРИСТАННЯ ВИТРАТОМІРІВ В УМОВАХ РІЗНОГО СКЛАДУ ТА СТАНУ СЕРЕДОВИЩА**

В.О. Сацик, Д.О. Сомов «Використання витратомірів в умовах різного складу та стану середовища». В статті відображено сучасні засоби обліку витрат речовин лідерів ринку виробництва. Наведено приклади побудови та принципу роботи, переваги та недоліки витратомірів які досить часто використовуються при автоматизації різних технологічних процесів. Подано рекомендації застосування витратомірів в залежності від умов технологічного процесу.

### **Постановка проблеми**

В практиці технологічних процесів досить часто доводиться стикатися із потоками вимірювань, які потребують:

- точності - для формування незміщеної оцінки досліджуваної змінної;
- ізносостійкості чутливої частини вимірювальної апаратури - для спрощення операцій обслуговування;
- мінімального часу перехідного процесу між станами вимірювального каналу;
- оперативності математичних обчислень при непрямих вимірюваннях.

В разі використання вимірювальної апаратури в потоковому режимі суттєво змінюються умови оцінки, що пов'язано із поведінкою середовища (змінною температури, в'язкості тощо), складом (наявністю газових утворень і зважених частин) та характером поведінки в потоці (розподілення, утворення вихрових потоків).

До недавнього часу виправдовуванням використання вітчизняної апаратури для вимірювання витрат в потоці вважалась низька її вартість, висока швидкість гарантованого обслуговування і достатня точність, яка забезпечувалась контролем якості в процесі виготовлення та багаточисленими стендовими випробуваннями.

Проте сьогодні незначна кількість вітчизняних виробників може собі дозволити утримувати сертифікаційну лабораторію для контролю якості виробів. Замовлення перевірки виробів в державній метрологічній службі чи у конкурента процедура не дешева. До того ж, на практиці всі комплектуючі для складання вітчизняних пристроїв мають іноземне походження, де якість не купиш дешево.

Висновок напрашується сам по собі. Вітчизняний пристрій, складений на підприємстві, у порівнянні із однаковими іноземними аналогами експлуатаційних та метрологічних характеристик, коштує дорожче.

Сьогодні лідерами світового виробництва витратомірів виступають виробники – Emerson, Endress&Hauser, Schwing, Yokogawa, Heinrichs, KEM, Hosco-Honsberg, SIKA, ABB, Schmidt Mess-und Regeltechnik, Siemens, Kobold. Щороку на вітчизняному ринку з'являються все нові бренди, продукція яких досить часто супроводжується не в повному обсязі (мінімум технічної документації) та високою ціною в певній мірі насторожує замовника.

Під час навчального процесу при виконанні курсових проектів, студентам ставиться завдання вибору технічних засобів автоматизації в залежності від умов робочого середовища. Студенти ж обмежуються вибором одного типу пристроїв або виробників, майже не враховуючи специфіку протікання технологічного процесу та умови експлуатації вимірювальної апаратури.

### **Постановка завдання**

На прикладі одного з лідерів світового ринку витратомірів Kobold в статті розглянути приклади застосування витратомірів, їх конструкції, принцип роботи та призначення.

### **Виклад основного завдання**

#### **Ротаметри**

Найбільш дешеві, прості і надійні є витратоміри поплавкового типу або ротаметри, які використовуються для обліку потоку малих витрат рідин (до 100 м<sup>3</sup>/год) і газів до 860Нм<sup>3</sup> у вертикальних трубопроводах (діаметром від 4 до 100 мм). Ротаметри мають точність вимірювання, яка досягає ±1% від всієї шкали вимірювання.

© В.О. Сацик, Д.О. Сомов

При використанні клапанів з електроприводом і кульових виконавчих механізмів є ймовірність виникнення удару поплавка і сидловини трубки ротаметра. Виробник Kobold постійно проводить наукові розробки з метою покращення характеристик даного типу витратомірів. Так, вже в 1986 році Klaus Kobold зареєстрував науковий патент «Поплавковий витратомір» (US № 04573361) на витратомір, конструкція якого дозволяє отримати точність вимірювання до 0,5 % від шкали діапазону в рамках вимірювання витрати 0,1-5 л/хв і до 1% в межах вимірювального діапазону 2-20 л/хв і більше. Конструкція витратоміра в 2001 році була удосконалена компанією Kobold Messring («Витратомір» EP № 10507 461) – покращилась конструкція складових частин, які обмежують верхнє і нижнє положення вимірювального поплавка. Така будова та форма поплавкової камери дозволяє без злипання поплавка працювати в рідинах з дисперсністю частин до 400 мкм.

У виробництві таких витратомірів компанія застосовує хімічно стійкі матеріали – трогамід, полісульфон, хастеллой (стійкий до корозії сплав). Елементи пристрою рухаються в робочому середовищі і не мають жорстких механічних конструкцій, стійкі до зношування, змінюють температуру із робочим середовищем, що визначає зменшення їх забруднення.

Як правило, такі витратоміри укомплектовані релейними пристроями з двома стійкими станами у вигляді безконтактного датчика, який реагує на положення поплавка. Klaus Kobold розробив метод безконтактного вимірювання позиції поплавка в камері поплавкового витратоміра «Пристрій для вимірювання через потік потенційно ненавантаженого елемента» (US № 4611105).

Досить часто при використанні витратомірів без компенсації вимірювання в'язкості можуть виникати помилки до 2500 % від дійсного значення. При вимірюванні малих величин витрати відносно розмаху вимірювання приладу також існує проблема значної помилки вимірювання (до 500 % від реального значення). Спеціальні конструкції витратомірів поплавкового типу Klaus Kobold («Метод і обладнання для вимірювання витрати», US № 4938078, 1990 рік) передбачають компенсацію вимірювання в'язкості середовища для великих меж вимірювання в'язкості (1-540 мм<sup>2</sup>/с) і малих значеннях витрати (до 0,5 л/хв), що дуже важливо при зміні складу і температури робочого середовища.

Використання кольорових матеріалів і нержавіючої сталі в конструкції поплавкової камери дозволяють використовувати такі витратоміри в потоках з тиском до 350 бар.

Недоліками витратомірів є необхідність встановлення їх на вертикальних трубопроводах, непридатність для вимірювання витрат середовищ з високим тиском і температурою.

### **Лопатеві витратоміри**

В конструкції витратомірів лопатевого типу Kobold застосовується рухома система лопатки. Ця система на відміну від системи із гнучкою лопаткою має ряд переваг:

- більш стійка до зношування (система не змінює робочих характеристик при остаточній деформації);

- менш чутлива до неоднорідного середовища в потокові.

Лопатеві витратоміри здатні вимірювати витрату чистих однорідних рідин (до 4500 м<sup>3</sup>/год) з невеликою в'язкістю або газів (із швидкістю потоку до 9 м/с) і можуть успішно використовуватись з тиском середовища до 25 бар і температурі до 120 °С.

Переваги лопатевих витратомірів:

- пружний вимірювальний механізм, завдяки якому головний вимірювальний елемент не залежить від сили тяжіння;

- можливість монтування в будь-якому положенні;

- конструкція змінного сопла в моделі DPT і лопатки Kobold забезпечує підвищену точність лопатевого витратоміра.

Наявність пружини в пристрої негативно відображається на лінійності по діапазону вимірювань, а падіння тиску хоча є досить значним, проте меншим в разі використання діафрагми.

### **Турбінні витратоміри**

Ще один простий і надійний спосіб вимірювання витрат рідких і газоподібних мас – використання лопатевих турбінок, швидкість обертання яких прямопропорційна витраті речовини. Klaus Kobold у 1986 році розробив свою конструкцію витратоміра такого типу – «Пристрій для вимірювання потоків газу або рідини» (US № 04567777), який забезпечує досить високу точність вимірювання (до 1% від діапазону) та малу інерційність у вимірювальному каналі.

Такі пристрої малочутливі до фізичних властивостей потоку і не потребують при монтажеві довгих лінійних ділянок (10 x DN на вході і 5 x DN після пристрою). Значний гідравлічний опір механічної конструкції турбінного витратоміра обмежує спектр його застосування.

Присутність рухомих механічних частин в безпосередньому контакті із середовищем негативно відображається на експлуатаційних характеристиках турбінних витратомірів. Характерні недоліки таких витратомірів – необхідність індивідуального градування, а також те, що їх покази в значній мірі залежать від щільності середовища. Із зменшенням щільності знижується частота обертання турбіни і зростає поріг чутливості. Klaus Kobold у 1983 році роботою «Компенсація інструментальної помилки схеми вимірювання витрати» (US №4581946) ввів поправочний коефіцієнт, який враховує методичну помилку вимірювання витрати і дозволяє скорегувати покази витратоміра для конкретного робочого середовища.

Зміна просторової орієнтації змінює умови роботи підшипників і тому може впливати на градувальну залежність, особливо при малих витратах. Конструкція витратомірів Kobold забезпечує незначний момент тертя в підшипниках від загального моменту опору, що дозволяє проводити заміну зношених без перевірки градування витратомірів.

Умови роботи опор досить складні - частота обертання турбінок доходить до декількох сотень обертів за секунду, тому такий тип витратомірів використовується в переважній більшості для вимірювання витрат рідких речовин, які мають змазуючі властивості.

У виробництві контактних елементів турбінних витратомірів Kobold використовуються полімери Rython для турбіни, а для ущільнених прокладок полімери PFM або Kalres (зареєстрована торгівельна марка E.I. Du Pont de Nemours & Co., Wilmington, USA), що дозволяє поєднувати високу стійкість до корозії з низькою вартістю пристрою.

### Витратомір на основі принципу Пелтона

На перекір вузького динамічного діапазону, який визначає принцип роботи тангенціальної турбіни Kobold пропонує широкий спектр моделей для різних значень рідинних і газових потоків. Так для малих витрат рідин (0,013-0,1 л/хв) існує витратомір на основі принципу Пелтона, котрий використовує вакуум, що утворений камерою Пелтона і основним потоком речовини (рисунок 1).

Даний принцип також успішно працює з великими потоками середовища (з трубопроводами з DN 300), при вимірюванні потоку газу, води, конденсату, малов'язких вуглеводнів та інших хімікатів. Пристрій необхідний тоді, коли, при малих впливах на потік, необхідно забезпечити високу точність (0.2-1 % від діапазону вимірювання) і динамічний діапазон (до 280:1) вимірювань з лінійністю по діапазону вимірювань (до 1%). При цьому витрата напору в потокові менша за витрату в турбінних витратомірах.

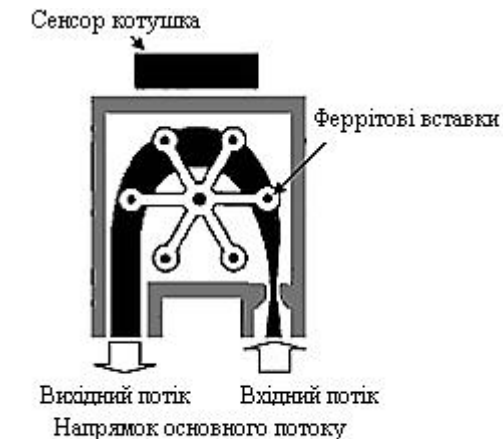


Рис.1. Схема витратоміра на основі принципу Пелтона

Установка витратоміра вимагає горизонтального орієнтування труб, а також ділянки ламінарного потоку, віддаленого від пристрою (за 24 x DN до і 5 x DN після). При виготовленні вимірювального пристрою використовується нержавіюча сталь V4A Supra з високою фізико-хімічною пружністю або титан.

Сама турбінка Пелтона виконана із поліпропілена з опорною віссю із вольфраму і сапфіру, що дозволяє використовувати пристрій в контакт з такими хімічно - активними речовинами, як сірчана та соляна кислоти.

В мало бюджетних рішеннях використовуються витратоміри з аксіальною турбіною, подібною до турбіни Пелтона. Для виготовлення лопаток використовується поліпропілен, поліоксиметилен, для виготовлення осі обертання – сапфір або кераміка.

Пристрій з корпусом із нержавіючої сталі дозволяє використовувати такі витратоміри при тискові до 100 бар. Зазвичай, ці пристрої використовують для вимірювання чистих рідин з малою в'язкістю. Klaus Kobold зареєстрував патент на конструкцію витратоміра по способу безконтактної передачі витрат (Патент US № 05099699 «Індикатор витрати, або витратомір», 1992 рік).

Оскільки для безконтактної системи зчитування швидкість обертання лопаток, як і у витратомірів Пелтона, використовується ефект Холла. Необхідно, щоб рідини попередньо були очищені від металевих домішок та часток феромагнітних матеріалів. Для забезпечення попередньої очистки в потоці рідини, Kobold пропонує використовувати магнітний фільтр MFR, яким комплектується пристрій на вимогу замовника.

Конструкція витратоміра дозволяє виконувати обслуговування по місцю експлуатації без демонтажу несучої частини, відповідає Директиві європейської комісії по обладнанню, яке використовується під тиском PED 93/27/ЕС і регламентує використання пристрою для роботи з небезпечними рідкими речовинами.

Ще однією інновацією є розробка витратоміра з інтегрованою заслінкою – «Дозуючий пристрій і система для точного дозування потоку» (US № 05816448, 1998 рік). Таке рішення дозволяє зменшити запізнення реакції виконавчого механізму на вимірювання витрати, наприклад, при зміні тиску в трубопроводі. Універсальний витратомір успішно використовується в системах підтримання співвідношення компонентів, де основні вимоги ставляться у відповідності до технологічних рецептур продукції.

Досить високі характеристики динамічного діапазону 1-200 л/год з точністю до 1% від шкали вимірювання при допустимих змінах в'язкості робочого середовища 5-100 мм<sup>2</sup>/с може забезпечити поршневий витратомір Kobold. Робочі частини із кольорових матеріалів, крім довговічності пристрою, дозволяють використовувати витратомір при тиску середовища до 40 бар. Рахунок витрати здійснюється безконтактним датчиком на основі ефекту Холла. Рухома конструкція поршневої системи створює значно менші витрати напору в основному потоці вимірюваного компоненту.

Простота конструкції, відсутність негативних ефектів в методиці забезпечують високу точність навіть в мініатюрних моделях з нижньою межею вимірювання 0,005 л/хв.

Оскільки витратомір має вмонтований фільтр для очистки середовища від зважених часток з розміром комірки 40, тому для повного оберту поршнів у витратомірах такого типу достатньо прокачати 0,01 см<sup>3</sup> речовини. Ці витратоміри мають широке розповсюдження для вимірювання фармацевтичних рідин, ароматизаторів в парфумерії і харчовому виробництві, рідких поживних речовин в біологічних агрегатах, рідких газів у хімічній промисловості.

### **Шестерневі витратоміри**

Для вимірювання витрати особливо в'язких мас (до 100 000 мм<sup>2</sup>/с) застосовуються шестерневі витратоміри, конструкція яких подібна до конструкції ротаційного насоса. Виробництво витратомірів Kobold з корпусом із нержавіючої сталі дозволяє працювати під тиском до 630 бар і 150 °С. Під дією проштовхуючої маси в шестерневому витратомірі обертаються шестерні, які утворюють суцільну перегородку перед потоком речовини.

Для передачі інформації про швидкість потоку використовується і безконтактна система, а у випадку застосування обертальних шестерінок із кераміки для передачі положення – ефект Холла (реакція на вмонтований магніт). У випадку застосування шестерень із нержавіючої сталі, для індикації положення використовується безконтактний індуктивний датчик. Для запобігання помилки доводиться використовувати попередню магнітну фільтрацію. Дана конструкція забезпечує точність вимірювання до 0,3 % від вимірювального діапазону з відхиленням повторних результатів до 0,005 % при нижньому граничному вимірюванні 0,008 л/хв.

### **Шестеренчасті витратоміри**

Є у Kobold і малобюджетні моделі, де матеріалом корпусу і обертального механізму виступає поліоксиметилен, осі виконані, як і раніше, з нержавіючої сталі. Шестеренчасті витратоміри отримали широке розповсюдження у виробництві паливно-мастильних матеріалів (гідравлічні мастила, змазуючі речовини), полімерних компонентів, клеїв, барвників і лаків.

Єдиним недоліком шестеренчастих витратомірів є високий рівень робочого шуму (до 72 Дб), а також витрата напору при обертанні шестерень. При цьому витрата напору збільшується з ростом в'язкості робочого середовища. Проблема шуму вирішується використанням гвинтових витратомірів. Застосування такого типу пристроїв дозволяє отримати менші витрати потоку при більшому діапазоні вимірювання в'язкості 1-5000 мм<sup>2</sup>/с.

Конструкція гвинтових витратомірів розрахована для вимірювання речовин з високою щільністю і швидкістю потоку. Такий тип витратомірів застосовується для високоточного

вимірювання витрати високов'язких, а також рідин, які підігріваються. Особливо широке застосування для лако-фарбних, дозувальних, нафтопереробних і клейподаючих установок.

Представлений модельний ряд Kobold забезпечує верхню межу до 2000 л/хв. Роликотітшовна конструкція кріплення обертальних елементів витратоміра Kobold дозволяє мінімізувати витрати і при обертанні гвинта. Гвинтові витратоміри менш чутливі до дрібних частин у речовині в порівнянні із турбінними, або шестеренчатими витратомірами, проте тут також необхідно застосовувати фільтр.

Завдяки виключно високій точності вимірювання витратоміра (до 0,3%) дана конструкція отримала популярність серед лідерів ринку. Швидкість обертання обертових частин вимірюється безконтактним індуктивним датчиком. Конструкція гвинтового витратоміра Kobold є досить ремонтпридатною і не містить «глухих» вузлів. При супроводженні такого продукту Kobold можлива заміна датчика обліку, підшипникових опор, обертального гвинта і ущільнювальних прокладок, якими виробу комплектуються на вимогу замовника.

Таким чином, в технологічних процесах, робоче середовище яких змінюють склад і температуру, застосовують спеціальні витратоміри поплавкового типу.

Лопатеві витратоміри здатні вимірювати витрату чистих однорідних рідин (до 4500 м<sup>3</sup>/год) з невеликою в'язкістю або газів (із швидкістю потоку до 9 м/с) і можуть успішно використовуватись при тиску середовища до 25 бар та температурі до 120 °С.

Для малих витрат рідин (0,013-0,1 л/хв) варто використовувати витратоміри на основі принципу Пелтона.

Вимірювання витрат фармацевтичних рідин, ароматизаторів у парфумерії і харчовому виробництві, рідких поживних речовин у біологічних агрегатах, рідких газів у хімічній промисловості застосовується поршневий витратомір виробника Kobold.

Облік витрат, особливо в'язких мас (до 100 000 мм<sup>2</sup>/с), проводиться шестерневими витратомірами.

Для точного вимірювання витрат високо-в'язких рідин та рідин, які підігріваються, варто використовувати шестеренчасті витратоміри. Особливо широко застосовуються витратоміри даного типу у лако-фарбних, дозувальних, нафтопереробних і клейподаючих установках.

Турбінні витратоміри використовуються для вимірювання витрат рідких речовин, які мають змазуючі властивості.

1. А.В. Горобець // Мир автоматизации № 6 ст.60-63.
2. [www.AutomationWorld.com.ua](http://www.AutomationWorld.com.ua)
3. [www.svaltera.ua](http://www.svaltera.ua)