

УДК 623.004.67

І.В. Толлок¹, А.А. Колеснік²¹Департамент військової освіти та науки Міністерства оборони України, Київ²Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ОСОБЛИВОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ КАЛОМЕТРИЧНИМИ ВИТРАТОМІРАМИ

Аналізуються особливості калометричного методу вимірювання витрати рідини на сучасному етапі розвитку автоматизованих систем управління. Розглядається принцип вимірювання витрати рідини, що заснований на залежності від потужності нагріву середньомасової різниці температур потоку.

Ключові слова: термоперетворювач, схема вимірювання, нагрівач, датчик, потік.

Вступ

Постановка задачі. Необхідність підвищення якості продукції, що випускається, і ефективності автоматизованих систем управління технологічними процесами надає питанням точного вимірювання кількості і витрати різних речовин винятково важливе значення. До засобів, що вимірюють кількість і витрату речовин пред'являються високі вимоги по точності.

Різноманіття вимірювальних середовищ, що характеризуються різними фізико-хімічними властивостями, а також різні вимоги, що запропоновані промисловістю до метрологічних характеристик і надійності вимірювачів витрати, привели до створення засобів вимірювання витрати, заснованих на різних принципах і методах вимірювання. Тому питання дослідження характеристик витратомірів, в тому числі витратомірів калометричного типу, є актуальними в промисловості.

Аналіз літератури. В відомій літературі [1 – 5] розглядаються методи вимірювання витрати рідини різними методами, а саме в [1] висвітлюються інформація про вимірювальні перетворювачі, в [2] надані відомості про технологічні виміри й прилади, в

[3] освітлюється розподілена модульна система терморегулювання, в [4] надані основи метрології й електричні вимір, в [5] надаються відомості про вимір електричних і неелектричних величин. Нажаль в цієї літературі не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням характеристик калометричних вимірювачів витрати рідини.

Метою статті є дослідження особливостей калометричного методу вимірювання витрати рідини на базі терморезистивних перетворювачів та вивчення похибок, що виникають у процесі вимірювань й їх вплив на результати визначення витрати рідини.

Основний матеріал

Калориметричні витратоміри засновані на залежності від потужності нагріву середньомасової різниці температур потоку. Калориметричний витратомір складається з нагрівача 3 (рис. 1, а), що розташований всередині трубопроводу, та двох термоперетворювачів 1 і 2 для вимірювання температур до T_1 та надалі T_2 нагрівача. Термоперетворювачі розташовуються звичайно на рівних відстанях ($l_1 = l_2$) від нагрівача. Розподілення температур по обидві сторони від джерела нагріву буде залежить від витрати речовини.

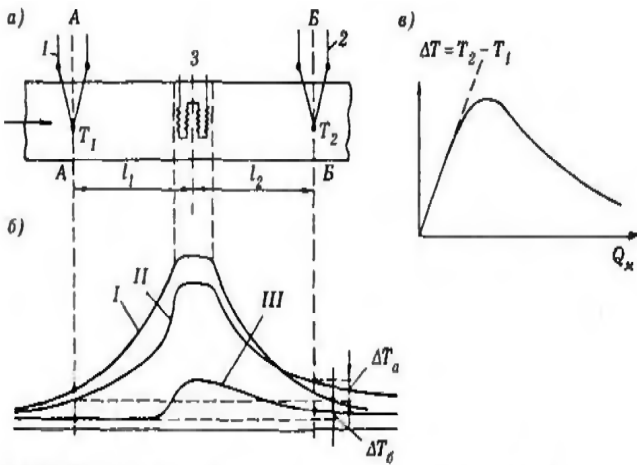


Рис. 1. Калориметричний витратомір:
 а – принципова схема; б – розподілення температур;
 в – залежність ΔT від витрати Q_m при $W = \text{const}$

При відсутності витрати $Q_m = 0$ температурне поле симетричне, як це відзначено на кривій I на рис. 1, б. При появі витрати ця симетрія порушується. При малих швидкостях потоку температура T_1 падає внаслідок притоку холодної речовини сильніше, ніж температура T_2 , яка при малих швидкостях може навіть підвищуватись (крива II). За результатом на початку із зростанням витрати зростає різниця температур $\Delta T = T_1 - T_2$ (рис. 1, в). Хоча при достатньому збільшенні витрати Q_m температура T_1 стане сталою, і буде дорівнювати температурі речовини, що тече, в той час як T_2 буде спадати (крива III). При цьому різниця температур ΔT буде зменшуватись із збільшенням витрати Q_m , як це надано на рис. 1, в. Зростання ΔT при малих значеннях Q_m є майже пропорційне витраті. Далі це зростання уповільнюється й після досягнення максимуму кривої починається спад ΔT за гіперболічним законом.

На рис. 2 приведені отримані експериментально при вимірюванні дуже малих витрат води криві залежності ΔT від витрати Q_m . Зі збільшенням потужності нагріву W максимум кривих зростає. Крім того, розташування термоперетворювачів також впливає на градуювальні криві.

Пропорційність між ΔT та Q_m спостерігалась лише до швидкості 0,2 м/с. При вимірюванні витрати повітря лінійна залежність зберігалась до швидкості 0,5 м/с. Але малі швидкості зустрічаються переважно в трубах малого діаметра, всередині яких важко розташувати нагрівач. Тому калориметричні витратоміри із внутрішнім нагрівом працюють звичайно на низхідній гілці кривої та залежність між W й Q_m знаходиться із рівняння теплового балансу

$$W = k c_p \Delta T Q_m, \quad (1)$$

звідки

$$Q_m = W / k c_p \Delta T, \quad (2)$$

де c_p – теплоємність (для газу при постійному тиску) при температурі $(T_1 - T_2) \Delta T = (T_2 - T_1) / 2$, Дж/кг·К; k –

поправочний коефіцієнт, що враховує втрати тепла в навколишнє середовище, похибку вимірювання ΔT через нерівномірність розподілення температур по перерізу трубопроводу та можливість підвищення T_1 $\Delta T = T_2 - T_1$ за рахунок теплопередачі від нагрівача.

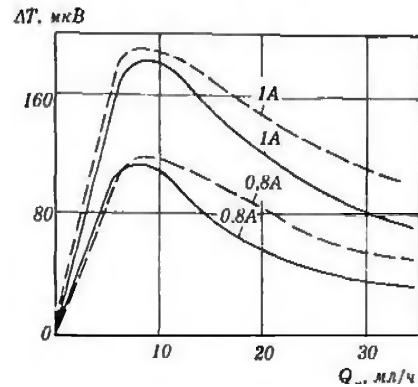


Рис. 2. Різниця температур ΔT (в мкВ ТЕРС) в залежності від витрати води (витрата 10 мл/год відповідає швидкості 0,346 мм/с), сили струму в нагрівачі та місць розташування термоперетворювачів:
 — для наближеної термобатарей;
 - - - для віддаленої термобатарей

Виходячи із рівняння 2 маємо, що при $W = \text{const}$ витрата Q_m зворотно пропорційна ΔT , та відповідна крива є гіперболою. При цьому чутливість приладу із зростом витрати спадає. Якщо ж автоматично підтримувати $\Delta T = \text{const}$ шляхом вимірювання потужності W нагріву, то між Q_m та W буде пряма пропорційність, за винятком області малих швидкостей, де рівняння 2 неможливо застосувати. Залежність між Q_m та W при $\Delta T = \text{const}$ показана на рис. 3. Пропорційність між Q_m та W є перевагою цього методу, хоча пристрій витратоміра стає більш складним.

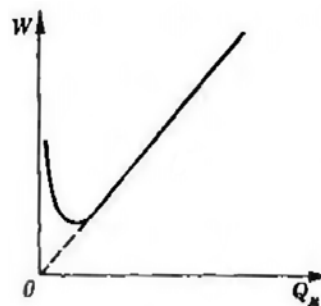


Рис. 3. Залежність потужності W нагріву від витрати Q_m при $\Delta T = \text{const}$

Градувати калориметричний витратомір можна шляхом вимірювання W та ΔT . Для цього треба оцінити значення коефіцієнту k та приблизити його до одиниці. Це може бути досягнуте перш за все гарною ізоляцією тією ділянкою труби, де розташований нагрівач, а також невисокою температурою нагрівача. Після чого необхідно забезпечити привільне вимірювання середньої масової різниці температур

ΔT . Для чого як нагрівач, так і терморезистори щодо вимірювання T_1, T_2 , виконують таким чином, щоб вони рівномірно перекривали переріз трубопроводу. Але при цьому середня температура по перетину не буде дорівнювати середній температурі потоку, тому що швидкості у різних точках перетину є різними. Найкраще між нагрівачем та термоперетворювачем для вимірювання T_2 встановити завихрювач, який складається з ряду нахилених лопатей, він забезпечує рівномірне температурне поле на виході. Такий само завихрювач, що розташований до нагрівача, дозволить усунути його теплообмін з термоперетворювачем, що служить для вимірювання T_1 . Застосування завихрювачів пов'язано із збільшенням втрати тиску, але у випадку застосування калориметричного витратоміра в якості зразкового приладу це не має значення.

Якщо прилад призначено для вимірювання великих витрат, то різниця температур ΔT при Q_{\max} обмежується $(1 - 3)^\circ \text{C}$ для уникнення великої витрати потужності W . Так, для витрати повітря $Q_m = 1000 \text{ кг/г}$ при $\Delta T = 2^\circ \text{C}$ та $C_p = 1,01 \cdot 10^3 \text{ Дж (кг}\cdot\text{K)}$ потужність W вже дорівнює 560 Вт . Так як теплосмність у рідині більша, ніж у газів, то калориметричні витратоміри знаходять застосування лише для вимірювання дуже малих витрат рідини, а прилад працює на початковій вхідній гілці кривої. Основне призначення цих приладів – це вимірювання витрати газів.

Перша розробка подібного приладу була виконана Томасом [2]. Для рівномірності нагріву потоку нагрівач складався з двох дровових конусів, які склалися основами. Для вимірювання T_1, T_2 застосовувалися терморезистори у вигляді круглих сит, що перекривали внутрішній перетин трубопроводу. Прилад працював за схемою $\Delta T = \text{const}$. За допомогою регульованого опору, який змінював силу струму із нагрівачем, електричний міст, в плечі якого були ввічлені обидва терморезистори, автоматично зрівноважувалися при заданій різниці ΔT . В іншому приладі, що призначався для вимірювання витрати повітря в трубі діаметром 300 мм , нагрівач було виготовлено з ніхромового дроту $d = 4 \text{ мм}$ і довжиною 25 м , за завитою у спіраль. Потужність нагріву 10 кВт . Різниця температур $\Delta T 3^\circ \text{C}$ при $Q_{\max} = 6500 \text{ м}^3/\text{г}$. Термо-

резистори перетинали переріз трубопроводу у вигляді зигзагоподібного мідного дроту.

Висновки

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Калориметричні витратоміри із внутрішнім нагрівом не отримали розповсюдження у промисловості через малу надійність роботи в експлуатаційних умовах нагрівачів і термоперетворювачів, що знаходяться всередині трубопроводу.

2. Калориметричні витратоміри із внутрішнім нагрівом є більш придатними для різних дослідницьких та експериментальних робіт.

3. Доцільно застосовувати калориметричні витратоміри в якості зразкових приладів для перевірки та градування інших витратомірів. При цьому особливо цінним є те, що вони вимірюють масову витрату, та можуть бути проградувані шляхом вимірювання потужності W і різниці температур ΔT .

4. Оцінивши похибку вимірювання W значеннями $\pm (0,1 \sim 0,15)\%$, й вимірювання ΔT – значеннями $\pm (0,1 \sim 0,2)\%$, можна у випадку поправочного коефіцієнта $k=1$ забезпечити вимірювання витрати відносною зведеною похибкою $\pm (0,3 \sim 0,5)\%$.

5. За необхідністю втрати тепла у навколишнє середовище можна оцінити за допомогою тепломіра, який вимірює тепловий потік скрізь стінку.

Список літератури

1. Поліщук Э.С. Вимірювальні перетворювачі / Э.С. Поліщук. – М.: Вища школа, 2003.
2. Фарсане Н.Г. Технологічні виміри й прилади / Фарсане Н.Г., Илясов Л.В. – М.: Вища школа, 1999. – 340 с.
3. Бартенев В.Р. Розподілена модульна система терморегулювання СИНТАЛ ТЕРМОЛІНК / В.Р. Бартенев, Р.В. Бартенев // CHIP NEWS. – № 9. – 1997 с.
4. Основи метрології й електричні виміри. – М.: Энергоатом издат, 1987. – 370 с.
5. Вимір електричних і неелектричних величин / М.М. Євтіхєв та ін. – М.: Энергоатом издат, 1988. – 210 с.

Надійшла до редколегії 27.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ КАЛОМЕТРИЧНЫМИ РАСХОДОМЕРАМИ

И.В. Толлок, А.А. Колесник

Анализируются особенности калометрического метода измерения расход жидкости на современном этапе развития автоматизированных систем управления. Рассматривается принцип измерения расхода жидкости, который основан на зависимости среднемассовой разности температур потока от мощности нагрева.

Ключевые слова: термопреобразователь, схема измерения, нагреватель, датчик, поток.

FEATURES OF LIQUID EXPENSE MEASURING OF CALOMETRIC FLOW METER

I.V. Tolok, A.A. Kolesnik

Analysed feature calometric method of measuring of expense liquid on the modern stage of development of automated control the system. Principle of measuring of expense liquid is examined, which is based on dependence of middle mass difference of temperatures of stream on power of heating.

Keywords: termosensor, measuring chart, heater, sensor, began to the flow.