температур і хімічної агресивності контрольованого середовища шляхом автокорегування прогресуючих похибок результату вимірювання як адитивного, так і мультиплікативного характеру.

1. *Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры. – Л., 1990.* ***2.*** *Саченко А.А., Твердый Е.Я. Совершенствование методов измерения температуры. – К., 1983.* ***3.*** *Способ определения погрешностей термоэлектрических термометров: А.с. 1362964 СССР, МКИ G01 K15/00/ Г.В. Юрчик, Ю.А. Скрипник, Э.С. Браилов (СССР) – №4093483/24. Заявл. 25.07.86; Опубл. 30.12.87; Бюл. №48, – 5 с.* ***4.*** *Способ определения погрешностей термоэлектрических термометров: А.с. 1397752 СССР, МКИ G01 K15/00/ Г.В. Юрчик, Ю.А. Скрипник (СРСР) – 4128389/24. Заявл. 18.08.86; Опубл. 23.05.88; Бюл. №19, – 4 с.* **5.** *Способ определения погрешностей термоэлектрических термометров: Пат. 2010191 Россия, МПК G01 K15/00/ Ю.А. Скрипник, В.И. Скрипник, А.И. Химичева, С.И. Кондрашов, С.С. Балык (Украина) – 5003566/10. Заявл. 08.07.91; Опубл. 30.03.1994.* ***6.*** *Collier R.D. Calibration with confidence: The assurance of temperature accuracy. In Temperature: its measurement and control in seilnce and industry, 1982, vol. 5, part 2. New York: American Institute of Physics, p.p. 1311-1315.* ***7.*** *Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. – М., 1986.* ***8.*** *Многоканальное устройство для измерения температуры с автоматическим калиброванием каналов: А.с. 717564 СССР, МКИG01 K15/00/ С.С. Зельманов, В.А. Антоненков, В.Ю. Мильченко, В.П. Чудиновский, Н.Н. Елькин, Н.А. Кривов, В.Н. Васенев, В.В. Кочан и Е.А. Кулев (СССР) – 2633095/18. Заявл. 31.07.78; Опубл. 25.02.80; Бюл. № 7.* ***9.*** *Номенклатура виробів основного виробництва Луцького приладобудівного заводу. – Луцьк, 1985.* ***10.*** *Каталог VDG MAIS 2001 – 2002. Мікросхеми фірми ”Analog-Devices”, 2001 – 92.с.* ***11.*** *Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. – К., 1979.*

УДК 536.532

В. Фединець
Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ВПЛИВ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧА НА ПОХИБКУ ВІД ВИПРОМІНЮВАННЯ ПРИ ВИМІРЮВАННІ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

© *Фединець В., 2003*

The necessity of screening of temperature transmitters for decrease of an error from radiation is justified. The approaches for quantifying screens are parsed which provide a specifield value of an error.

Постановка задачі

Температура газового потоку, важливий параметр технологічного процесу, визначає стан технологічного обладнання, а також безпеку функціонування процесу. Похибка вимірювання температури визначається умовами теплового балансу при взаємодії чутливого елемента термоперетворювача з газовим середовищем через конвекцію,

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

випромінювання та теплопровідність. Втрати тепла за рахунок теплопровідності та випромінювання неминучі в будь-якій конструкції термоперетворювача.

Аналітичний розрахунок цих втрат тепла досить складний. На практиці застосовують різні способи оцінок теплових втрат для спрощення математичних моделей термоперетворювачів. Але велика різноманітність конструкцій і складність процесів теплообміну навіть наближену оцінку похибки роблять трудомісткою і не завжди ефективною. Крім того, оцінка ускладнюється і тим, що теплофізичні властивості як термоелектродних, так і конструктивних матеріалів також залежать від температури.

При великих швидкостях газового потоку має місце так звана швидкісна похибка, зумовлена перетворенням деякої частини кінетичної енергії рухомого газу в теплову в пристінному шарі, що оточує чутливий елемент термоперетворювача.

Отже, випромінювання, теплопровідність та процес перетворення кінетичної енергії в теплову залежно від швидкості газового середовища визначають основні види похибок, які мають місце при вимірюванні температури газових середовищ.

Повне аналітичне дослідження сумісного впливу всіх основних чинників на загальну похибку вимірювання температури газового середовища конкретним термоперетворювачем складної конструкції практично неможливе, оскільки деякі залежності, що описують характер впливу того чи іншого чинника, можуть бути визначені тільки експериментально. Внаслідок того, що оцінка впливу різних чинників завжди носить наближений характер, на практиці аналізують кожний вид похибки окремо з припущенням, що решта її видів відсутні, а загальну похибку вимірювання можна розглядати як суперпозицію окремих видів похибок.

Публікації

Дослідження і аналіз похибок, зумовлених теплопровідністю і неповнотою гальмування газового середовища, розглянуті в [1, 2] та інших, хоча їх вирази і отримані при деяких припущеннях.

Аналізуючи питання розроблення конструкції термоперетворювачів з точки зору зменшення похибки від випромінювання, необхідно враховувати результати, отримані в різний час Кінгом, Моффатом, Вернером та іншими дослідниками [3, 4].

Мета роботи

Дослідження похибки, обумовленої випромінюванням, та шляхи її зменшення в реальних конструкціях термоперетворювачів для вимірювання температури газових середовищ.

Теоретичні та експериментальні дослідження

Похибка за рахунок випромінювання Δt при вимірюванні температури газових середовищ термоперетворювачем, внутрішній діаметр захисної арматури якого є співмірним з діаметром чутливого елемента, визначається за спрощеною залежністю [1]

$$\Delta t = t_{П} - t_{О} = \frac{\sigma \varepsilon_{П}}{\alpha}\left[\left(\frac{T_{П}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{СТ}}{100}\right)^4\right], \qquad (1)$$

де $t_{П}, t_{О}$ – відповідно температури чутливого елемента і газового середовища;

$T_{П}, T_{СТ}$ – термодинамічні значення температури чутливого елемента і оточуючих стінок;

σ – стала Стефана – Больцмана;

$\varepsilon_{П}$ – повний коефіцієнт чорноти поверхні термоперетворювача;

α – коефіцієнт конвективної тепловіддачі від газового середовища до термоперетворювача.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Основним засобом впливу на похибку, зумовлену випромінюванням, є підвищення температури оточуючих стінок. При рівності температур газового середовища і оточуючих стінок втрати тепла за рахунок випромінювання повністю виключаються. Однак практично реалізувати цю умову дуже складно. Для зменшення різниці між температурами стінок і газового середовища інколи застосовують теплову ізоляцію стінок, але найчастіше зменшення впливу холодних стінок досягається ефективним екрануванням чутливого елемента термоперетворювача одним або декількома екранами. Захисні екрани необхідно встановлювати між чутливим елементом і стінками. Для одноекранного приймача з поздовжнім обтіканням чутливого елемента газовим середовищем його температура і температура екрана можуть вважатися рівними, оскільки вони знаходяться близько між собою. Тому захищений екраном чутливий елемент втрачатиме менше тепла, ніж при відсутності екрана і його температура буде ближчою до температури газового середовища. За наявності холодних стінок в теплообміні випромінюванням з ними бере участь екран, а вже з екраном взаємодіє чутливий елемент термоперетворювача.

Для термоперетворювача з поперечним обтіканням чутливого елемента газовим середовищем картина теплообміну випромінюванням є більш складною. Рівноважна температура захисного корпусу, який виконує роль екрана, є завжди нижчою від температури чутливого елемента. Внаслідок теплообміну випромінюванням між чутливим елементом і захисним корпусом теплові втрати є більш значними, ніж при поздовжньому обтіканні газовим середовищем.

В багатоекранному термоперетворювачі екрани розміщаються на невеликій віддалі один від одного і обтікаються газовим середовищем практично з однаковою температурою. Температура чутливого елемента також є близькою до цієї температури. Випромінювання від першого екрана поступає не на холодні стінки, а на сусідній екран, температура якого є близькою до температури першого екрана. Ці обставини визначають невеликі втрати тепла чутливим елементом приймача за рахунок випромінювання.

До проблеми дослідження похибки, зумовленої випромінюванням, в багатоекранних системах пропонуються два різних підходи. Один із них визначається тим, щоб визначити температуру внутрішнього екрана при заданій загальній кількості екранів. Такий підхід дає змогу тільки визначити величину похибки від випромінювання. При іншому підході ставиться завдання визначення кількості екранів, необхідних для того, щоб температура внутрішнього екрана відрізнялася від температури газового середовища не більше ніж на задану величину похибки від випромінювання.

Для визначення впливу кількості екранів на температуру внутрішнього екрана t_1 була одержана така наближена залежність:

$$\frac{t_п - t_1}{t_0 - t_{ст}} = \frac{1}{\operatorname{ch} n\alpha}, \qquad (2)$$

де $t_п, t_0, t_{ст}$ – відповідно температури чутливого елемента, газового середовища і стінок;

n – кількість екранів;

$\alpha = \dfrac{\alpha_к + \alpha_в}{\alpha_в}$; $\alpha_к$ – коефіцієнт конвективної тепловіддачі;

$\alpha_к = 4\sigma\varepsilon\left(\dfrac{\overline{T}}{100}\right)^3$ – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням;

$\overline{T}$ – середня температура системи екранів.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Для наближеної оцінки ефективності екранування при поздовжньому обтіканні термоперетворювача, що має n екранів, було застосовано твердження Кінга [3], згідно з яким похибка від випромінювання при малих абсолютних тисках зменшиться приблизно в (n+1) разів. Таке значення похибки властиве процесу теплообміну в вакуумі, де він проходить виключно випромінюванням. Наявність конвективного теплообміну термоперетворювача з газовим середовищем повинна підвищити ефективність екранування.

Отримані автором розрахункові і експериментальні значення відносної похибки екранованого термоперетворювача $\Delta t_{ве}/\Delta t_{вн}$, що являє собою відношення похибки екранованого $\Delta t_{ве}$ до похибки неекранованого приймача $\Delta t_{вн}$, показують, що при застосуванні термоперетворювачів з поздовжнім обтіканням трьох екранів значення відносної похибки в діапазоні зміни температур від 600 до 1100 °С становить від 0,17 до 0,28. Для термоперетворювача з п'ятьма екранами відносна похибка становить від 0,07 до 0,16. Розрахунок для цього випадку за залежністю Кінга дає значення 0,17. Наведені дані показують, що наближений розрахунок числа екранів, необхідних для зменшення складової похибки від теплообміну випромінюванням до потрібного значення, можна з достатньою точністю виконати на основі твердження Кінга. Як вказувалось вище, наявність конвективного теплообміну підвищила ефективність екранування.

Для точнішого визначення кількості екранів, необхідних для забезпечення потрібної точності вимірювання, пропонується чинити так. Обчислити для заданої складової похибки від випромінювання Δt температуру першого екрана t_1 і порівняти її з температурою оточуючих стінок $t_{ст}$. Якщо температура першого екрана є більшою за температуру стінок ($t_1 > t_{ст}$), то необхідно обчислити температуру другого екрана t_2 і знову порівняти її з температурою стінок. Вказану процедуру проводити доти, доки не буде виконуватись умова рівності температури n-го екрана і температури стінок $(t_n \le t_{ст})$. В цьому випадку n-ний екран матиме температуру стінок і при цьому складова похибки від випромінювання не перевищуватиме заданої величини. Обчислення потрібної температури (n+1)-го екрана здійснювалося за запропонованою в [4] наближеною залежністю, уточненою та модифікованою автором:

$$t_{n+1} = \left[t_n^4 - \frac{1}{R_{n,n+1}} \sum_{j=1}^{n} H_j (t_0 - t_n) \right]^{1/4}, \qquad (3)$$

де $H_n = \alpha_{n(вн)} \cdot S_{n(вн)} + \alpha_{n(зовн)} \cdot S_{n(зовн)}$;

$$R_{n,n+1} = \frac{\sigma S_{n(зовн)}}{1 + [(1-\varepsilon_n)/\varepsilon_n] + \frac{S_{n(зовн)}}{S_{n(вн)}} [(1-\varepsilon_{n+1})/\varepsilon_{n+1}]};$$

n – номер екрана;

$\alpha_{n(вн)}, \alpha_{n(зовн)}$ – відповідно коефіцієнти конвективної тепловіддачі на внутрішній і зовнішній поверхнях n-го екрана;

$S_{n(вн)}, S_{n(зовн)}$ – відповідно площа внутрішньої і зовнішньої поверхонь n-го екрана.

Зауважимо, що при конструюванні екранованих термоперетворювачів обов'язково потрібно враховувати такі застереження:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

– необхідно забезпечити відсутність тепловідведення від чутливого елемента термоперетворювача до екранів. Для цього співвідношення глибини занурення термоперетворювача до його діаметра повинно знаходитись в межах від 20 до 50 [5];

– при збільшенні довжини екранів внаслідок збільшення опору міжекранних кільцевих каналів зменшується швидкість газового середовища в проміжках між екранами і відповідно зменшується інтенсивність конвективного теплообміну між газовим середовищем і екранами. Тому необхідно забезпечити безперешкодне протікання газового середовища між екранами. Для цього між екранами необхідно передбачати проміжок δ, величину якого можна визначити за такою наближеною залежністю:

$$\delta = \frac{10}{\sqrt{\mathrm{Re}_l}}, \qquad (4)$$

де $\mathrm{Re}_l = \frac{V \cdot l}{\nu}$ – число Рейнольдса, віднесене до довжини екрана l;

V – швидкість;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості газового середовища.

В реальних конструкціях величина проміжку між екранами повинна становити не менше 1,5 мм ;

– вплив кількості екранів може бути менш ефективним, ніж дотримання оптимального проміжку між ними. Це пояснюється тим, що дія конвективної тепловіддачі на екрани є такою самою, як і на чутливий елемент термоперетворювача. Чим вищим буде коефіцієнт конвективної тепловіддачі від газового середовища, тим меншою буде величина похибки від випромінювання. Додатковий ефект в зменшенні похибки від випромінювання буде для екранів, виготовлених із матеріалів з низьким значенням коефіцієнта теплопровідності;

– для зменшення впливу лобового випромінювання внутрішній екран термоперетворювача необхідно виготовляти довшим від чутливого елемента не менше ніж на п'ятикратний його діаметр.

Зазначимо, що не всі складнощі, які створюються впливом випромінювання, піддаються усуненню шляхом тільки встановлення додаткових екранів. Якщо швидкість газового середовища є дуже малою або якщо пред'являються досить жорсткі вимоги до точності вимірювання, то кількість необхідних екранів значно зросте, конструкція термоперетворювача стане громіздкою і в більшості випадків практично її реалізувати стане неможливо. В таких випадках можна рекомендувати застосування електричного підігрівання внутрішнього екрана або підвищити швидкість протікання газового середовища всередині термоперетворювача між екранами за допомогою зовнішніх пристроїв (відсмоктуючих пірометрів). Але при застосуванні зовнішнього відсмоктування необхідно враховувати можливе збільшення швидкісної похибки.

Висновки

В роботі розглянуто питання зменшення похибки від випромінювання при вимірюванні температури газових середовищ шляхом екранування термоперетворювачів. Запропоновано різні підходи дослідження цієї похибки в багатоекранних термоперетворювачах. Рекомендовано застереження, які необхідно враховувати при конструюванні екранованих термоперетворювачів.

1. *Куритнык И.П., Гиль Б.И., Фединец В.А., Стадник Б.И. Приборы для измерения температуры газовых потоков. – М., – 1987. – Вып.1. – 40 с.* ***2.*** *Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарных температур. – Л., 1987.* ***3.*** *Моффат Р.Д. Измерение*

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

температуры газа // Измерение нестационарных температур и тепловых потоков. – М., 1966. ***4.*** *Moffat R.J. Gas-Temperature Measurement: Direct Design of Radiation Shielding. – ISA Trans. – 1969. – V.8,N2. – P. 91 – 97.* ***5.*** *Федінець В.О. Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури енергоносіїв в трубопроводах // Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв. – Львів, 1998.*

УДК 621.374

А. Горпенюк, В. Дудикевич, А. Лагун
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматики і телемеханіки

ПОКАЗНИКОВО-СТЕПЕНЕВИЙ ЧИСЛО-ІМПУЛЬСНИЙ ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПОЛІПШЕНИМИ МЕТРОЛОГІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

© Горпенюк А., Дудикевич В., Лагун А., 2003.

This paper describes results of exponential-power functional converter investigations and recommendations for its accuracy increase depending on digits quantity.

Вступ

Під час розробки автоматизованої методики структурного синтезу ЧІФП, яка дає можливість створити функціональний пристрій, який працює на основі різницевих алгоритмів і дає змогу реалізувати необхідну функціональну розгортку з достатньою точністю, постало питання створення структурних функціональних елементів, які відтворювали довільні елементарні функції, наприклад, синус, косинус, тангенс, експоненти показниково-степеневі тощо.

На особливу увагу заслуговують пристрої, які відтворюють показникові та степеневі функції, що відносяться до найпростіших трансцендентних функцій. Ці пристрої ефективно застосовуються в обчислювальних та автоматизованих системах, а також можуть використовуватись в криптографічних системах як криптопроцесори.

1. Аналіз останніх досліджень

Питання розроблення автоматизованої методики структурного синтезу ЧІФП розглянуті в [1, 2]. В цих працях зазначено, що алгоритм структурного синтезу ЧІФП містить такі етапи:

– розклад початкової функції на простіші, які вже не спрощуються;
– введення додаткових змінних для позначення елементів розкладу;
– диференціювання кожної з простих функцій і отримання системи диференціальних рівнянь Шеннона;
– побудова структурної схеми функціонального перетворювача;
– дослідження метрологічних характеристик синтезованого перетворювача.

В [3, 4] авторами розглянуті питання структурного синтезу показникових та степеневих ЧІФП та показана структурна схема показниково-степеневого функціонального пере-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua