

УДК 623.004.67

Є.О. Процька, О.І. Мощенко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЗА РОЗРАХУНКОМ ГЛИБИНИ ЗАНУРЕННЯ КАЛІБРУЄМИХ/ПОВЕРЯЄМИХ ТЕРМОМЕТРІВ

У статті розглянуті прості і практичні рекомендації за визначенням глибини занурення термометрів. Дані рекомендації можливо застосувати при виборі типу калібратора температури, а також можливих способів визначення глибини занурення, що необхідно для різних температурних датчиків різних конфігурацій. Наведений матеріал має на меті краще планувати застосування і впровадження калібрувального устаткування.

Ключові слова: температура, калібратор, термометр.

Вступ

Постановка проблеми. Загальна проблема полягає в безперервному тепловому потоці уздовж стрижня термометра між вимірюваним середовищем і середовищем за її межами. Оскільки потік тепла має місце лише за наявності різниці температур, то він є доказом того, що чутливий елемент (кінчик) термометра має декілька відмінну температуру від температури вимірюваного середовища

. Тепловий потік уздовж стрижня термометра є причиною того, що термометр показує декілька нижчу температуру, ніж температура середовища. Проста модель цього явища дозволяє отримати співвідношення між погрішністю в свідченнях термометра і довжини занурення:

$$\Delta T_m = (T_{\text{amb}} - T_{\text{sys}}) k \exp(-L/D_{\text{eff}}), \quad (1)$$

де T_{sys} і T_{amb} – температури системи і довкілля відповідно; L – довжина занурення термометра; D_{eff} – ефективний діаметр термометра; k – постійна, яка приблизно трохи менше 1.

Аналіз літератури. Згідно [1] за Міжнародною температурною шкалою 1990 г., розділ 3.2.4: «... термометр досить занурений в тому випадку, якщо при його додатковому зануренні в середу з постійною температурою немає змін в температурі, що показується їм. Глибина занурення, необхідна для використання для використання максимальної точності термометра, в значній мірі залежить як від вимірюваної температури, так і від конструкції термометра. Остання повинна полегшувати радіальний теплообмін і перешкоджати подовжньому тепловому потоку. ... Хоча для температур вище кімнатною необхідна глибина занурення спочатку збільшується із зростанням температури, максимум досягається при температурі 400 - 500 °С, після чого вона трохи зменшується із-за різкого збільшення радіальної передачі тепла за рахунок випромінювання; це ґрунтується на припущенні про наявність адекватних радіаційних екранів по довжині термометра і відсутності радіаційних втрат».

Тому, загальна проблема полягає в безперервному тепловому потоці уздовж стрижня термометра між вимірюваним середовищем і середовищем за її межами. Оскільки потік тепла має місце лише за наявності різниці температур, то він є доказом того, що чутливий елемент (кінчик) термометра має декілька відмінну температуру від температури вимірюваного середовища. Рекомендації за розрахунком глибини занурення калібруємих/поверяємих термометрів Основною виміру температури є те, що температура, яку показує термометр, є його власна температура. Звідси витікає, що для того, щоб виміряти температуру деякого середовища, термометр має бути занурений в середу настільки, щоб чутливий елемент прийняв температуру середовища. **Метою даної статті** є представити прості і практичні рекомендації за визначенням глибини занурення. Дані рекомендації допоможуть при виборі типу калібратора температури.

Основний матеріал

Типовим і найбільш часто використовуваним прикладом промислового вживання може бути термометр, поміщена в термокожух або в сухоблочний калібратор. Термокожух призначений як для захисту термометра від технологічного середовища, або для ізоляції від довкілля, так щоб його було можливо видалити з калібратора без зупинки останнього. Термокожух може бути встановлений в технологічному процесі будь-яким можливим способом. Звичайне співвідношення діаметру до довжини колодязя рівне 1 до 5 або більш. При розрахунку глибини занурення необхідно враховувати зовнішній діаметр термокожуха, а не діаметр встановлюваного термометра. Іншим прикладом може бути робота з сухоблочним калібратором. Даний калібратор має циліндрову металеву вставку з отворами під термометр, що повіряється. Вставка поміщається в контрольоване теплове середовище. Знову ж таки потрібно враховувати діаметр вставки, а не діаметр термометра. Зазвичай діаметр вставки 50 мм і в кращому разі глибина занурення складе 250 мм, тобто відношення 1 до 5. Зазвичай температура на дні колодязя регу-

люється з похибкою 1%, а радіальний розподіл тепла має бути однорідне, градієнт по осі може регулюватися дещо гірше. В цьому випадку діаметр термометра не має значення. Похибка, пов'язана з глибиною занурення визначатиметься поганими характеристиками вставки. Цю похибку можна в значній мірі зменшити: а) не слід звертати увагу на температуру, що показується контролером, а узяти зразковий термометр, помістити у вставку на ту ж глибину, що і термометр, що повіряється, і визначити вихідну температуру за свідченнями зразкового термометра; б) зразковий термометр має бути максимально наближений по конструкції і термодинамічним характеристикам до того, що повіряється. Вищевикладені вимоги включені в стандарт ISO9000.

Термометр в термокожусі або в сухоблочному калібраторі не поглинатиме або не втрачатиме тепло аналогічно термометру в рідинному термостаті, і тому графіки Ніколаса і Вайта (Nicholas & White) не застосовно до цього випадку безпосередньо. Це пов'язано з тим, що

$$D_{\text{eff}}/D_{\text{actual}}=1 \quad (2)$$

правильно для рідинних термостатів з перемішуванням рідини. Для ситуації, де існує повітряний зазор, як у випадку з термокожухом або з сухоблочним калібратором ця формула буде

$$D_{\text{eff}}/D_{\text{actual}}>1. \quad (3)$$

Розглянемо наступний випадок, коли потрібно відкалібрувати термопару з діаметром 6 мм і температурою 500°C в металоблочному калібраторі з точністю 0,5°C:

$$|\Delta T_m / (T_{\text{sys}} - T_{\text{amb}})| = 0,5/500 \approx 0,1\% \quad (4)$$

На практиці не зроблено розрахунків для термо-колодязів або сухоблочних калібраторів. Проведені дослідження багатьох сухоблочних калібраторів при різних температурах протягом декількох років. Використовуючи значення точності 0,5°C як критерій оцінки, визначена як загальна оцінка, майже не залежна від температури (випробування проводилися при 250, 450 і 650°C), те, що для термопар типу N діаметром 6 мм необхідна глибина занурення повинна складати 80 мм, термометр при цьому розміщується в отворі металевої вставки діаметром 6,5 мм для того, щоб втрати теплопровідності або вертикальний профіль вставки був менш 0,5°C. Це підтверджує розрахунки, що $D_{\text{EFF}}/D = 2$.

Для лабораторних термометрів потрібна менша похибка. Для прикладу, визначимо глибину занурення термометра діаметром 4 мм з чутливим елементом завдовжки 40 мм, розташованим внизу термометра. Як критерій використовуємо похибку не більш 0,01°C при температурах до 100°C:

$$T_m / (T_{\text{sys}} - T_{\text{amb}}) = 0,01/(100-20) \approx 0,01\% \quad (5)$$

Прецизійна лабораторна практика. Прецизійною лабораторною практикою ми вважаємо найбільш точні виміри, наприклад, еталонні платинові термометри опору (ЕПТС), градування по точках реперів. Глибина занурення термометра нижче за поверхню металу в капсулі точки репера зазвичай складає від

160 до 200 мм, тобто термометр може вимагати глибини занурення до 300 мм. Як це може бути, щоб найбільш точні виміри в світі відбувалися на очевидно недостатній глибині? Відповіддю є те, що температура над капсулем точки репера впродовж 200 мм зазвичай знаходиться в межах 0,5°C відносно температури самого капсуля, і більш того використовується ізоляція для запобігання втрат тепла від конвекції і провідності; наявністю радіаційних екранів, які зменшують градієнт температури і, отже, необхідну глибину занурення. Наприклад, розглянемо капсуль цинку з глибиною занурення 200 мм нижче поверхні розплаву і умови, при яких виходить збалансована температура рідини твердого стану (температура, при якій знімаються виміри) 419°C.

Висновок

У всіх випадках, коли підозрюється, що похибка вимірювання від недостатньої глибини занурення, змінюється глибина занурення на 1 – 2 діаметри, що призведе до зміни свідчень. Як грубе наближення: кожного разу при збільшенні глибини занурення на один ефективний діаметр, похибка зменшується приблизно на 60% повній похибці.

Список літератури

1. Атаманчук Б.М. Контроль параметрів термоперетворювачів опору в умовах експлуатації / Б.М. Атаманчук, Ф. Бернхард, О.В. Слюсаренко, Б.І. Стадник // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 1999. – № 54. – С. 77-80.
2. Бичківський Р.В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація / Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Габула. – Львів: НУ ЛП, 2002. – 560 с.
3. Микитин І. Математична модель шумового термометра на основі кореляційного підсилювача / І. Микитин, Б. Стадник, М. Дорожжовець // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 2000. – № 57. – С. 63-66.
4. Микитин І.П. Корекція залежності коефіцієнта перетворення шумового термометра від значення опору первинного перетворювача / І.П. Микитин, Б.І. Стадник, А.І. Кузій // *Вимірювальна техніка та метрологія*. – 1999. – № 54. – С. 31-34.
5. Осадчук О.В. Інтегральний частотний перетворювач температуриз активним індуктивним елементом / О.В. Осадчук // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2001. – № 1. – С. 75-78.
6. Осадчук О.В. Радіовимірювальні мікроелектронні перетворювачі на основі реактивних властивостей транзисторних структур з від'ємним опором: дис. ... д.т.н.: 05.11.08 / О.В. Осадчук. – Вінниця, 2002. – 155 с.
7. Циделко В.Д. Оценивание суммарной погрешности измерительных каналов ИИС в статическом режиме (при анализе и синтезе) / В.Д. Циделко, Н.А. Яремчук. Ч. 1. – К., 1997. – 97 с.
8. Скоропад П.І. Термометричні властивості та явища електропереносу в бінарних металевих аморфних сплавах / П.І. Скоропад // *Вісник ДУ «Львівська політехніка*. – 1999. – № 336. – С. 15-21.

Надійшла до редколегії 4.10.2010

Рецензент: канд. техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ КАЛИБРУЕМЫХ/ПОВЕРСЕМЫХ ТЕРМОМЕТРОВ

Е.А. Процкая, О.И. Мощенко

В статье были рассмотрены простые и практические рекомендации по определению глубины погружения. Данные рекомендации помогут при выборе типа калибратора температуры а также возможных способов, чтобы предусмотреть глубину погружения, нужную для разных температурных датчиков разных конфигураций. Приведенный материал должен помочь лучше планировать и внедрять калибровочное оборудование.

Ключевые слова: калибратор, температура, термометр.

RECOMMENDATION UPON SETTLEMENT OF DEPTH OF IMMERSION OF CALIBRATION/GOUGING THERMOMETERS

Е.А. Prozkaj, O.I. Moschenko

In the article simple and practical recommendations were considered on a depth-finding immersion. These recommendations of do-pomozhut' to you at the choice of tip of calibrator of temperature and also glyad of possible methods to foresee the depth of immersion, necessary for different temperature sensors in different configurations and application domains. The resulted illustrations must help an user it is better to plan and inculcate a gauge equipment.

Keywords: calibrator, temperature, thermometer.