

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ІНЕРЦІЙНІСТЬ ПРИЙМАЧІВ ТЕМПЕРАТУРИ

© Фединець В., 2004

Theoretical and experimental researches influence of constructional and operational factors on dynamic properties of receivers of temperature is shown.

Постановка задачі. Явище інерційності спостерігається у разі вимірюванні температури в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Для твердих і рідких середовищ інерційність за деяких умов може бути зведена до дуже незначної величини за рахунок раціональної конструкції і монтажу приймача температури. Найбільші труднощі виникають у разі вимірювання температури газових середовищ, де за самою природою можливі швидкі зміни температури, а також погіршені умови теплообміну між середовищем і приймачем температури. Тому динамічні характеристики приймачів температури газових середовищ є одним із важливих параметрів і їх покращанню необхідно приділяти велику увагу.

Показник теплової інерції ε приймача температури залежить від параметрів середовища і від його конструктивних особливостей та визначається відомою залежністю:

$$\varepsilon = \frac{C\rho V}{\alpha F}, \quad (1)$$

де C , V , F — відповідно середня теплоємність, об'єм та площа приймача температури; ρ — середня густина матеріалу приймача температури; α - коефіцієнт конвективної тепловіддачі від середовища до приймача.

Аналіз публікацій. Аналітичні залежності для визначення показника теплової інерції приймачів температури виводяться на основі теорії регулярного теплового режиму [1]. Дослідження впливу різних чинників на показник теплової інерції висвітлені у фундаментальних роботах [2—4]. Такі дослідження виконував автор.

Мета роботи. На основі аналізу публікацій та власних досліджень впливу різних факторів на інерційність визначити найдоступніші засоби її зменшення при розробленні реальних конструкцій приймачів температури газових середовищ.

Теоретичні та експериментальні дослідження. У [4] наведено результати експериментального дослідження впливу окремих факторів на інерційність незахищеного спаю термопар залежно від питомої масової витрати повітря при різних значеннях температури і діаметра термоелектродів. Ці дослідні дані добре описуються єдиною емпіричною залежністю:

$$\varepsilon = \frac{3,5 \cdot 10^3 \rho C d^{1,25}}{T} G \frac{15,8}{\sqrt{T}}, \quad (2)$$

де d — діаметр термоелектродів; G — питома масова витрата повітря; T — температура повітря.

Формула справедлива тільки для ідеальних умов вимірювання температури, тобто для термоелектродів, зварених без потовщень в місці зварювання, а також для умов відсутності ефектів теплопровідності і випромінювання.

У загальнішому вигляді залежність для знаходження ε була запропонована автором на підставі співвідношення (1) і рівняння конвективної тепловіддачі від газового середовища до спаю термопар. Для поперечного обтікання термопар залежність запишеться у вигляді:

$$\varepsilon = \frac{0,595 \rho C d^2}{\lambda (Re)^{0,5}}, \quad (3)$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності газового середовища; $Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$ — число Рейнольдса; V — швидкість газового середовища; ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості газового середовища.

У (2) і (3) не враховується вплив випромінювання і теплопровідності на значення показника теплової інерції ε . Але в реальних умовах ці впливи завжди присутні, тому при конструюванні приймачів температури газових середовищ необхідно мати рекомендації для оцінки впливу випромінювання і теплопровідності.

Вплив випромінювання на значення ε можна оцінити, розв'язавши рівняння теплового балансу для спаю термопар з врахуванням радіаційної складової теплообміну. Наближене розв'язання цього рівняння можна подати у вигляді:

$$T_n - T = (T_n - T_0) e^{-\frac{\alpha + 4\sigma E (0,01 T_p)^3}{0,25 \rho C d}}, \quad (4)$$

де T_n і T_0 — відповідно покази приймача температури і температура газового середовища; σ — стала Стефана-Больцмана; E — коефіцієнт чорноти термоелектродів термопар; T_p — рівноважна температура, яку показує приймач в стаціонарному режимі вимірювання.

Решта позначень ті самі, що і в (1—3).

Із (4) випливає, що при наявності випромінювання показник теплової інерції ε визначиться як

$$\varepsilon = \frac{0,25 \rho C d}{\alpha + 4\sigma E (0,01 T_p)^3}. \quad (5)$$

Тобто вплив випромінювання загалом зводиться до зменшення ε . Збільшення відносного визначення другого члена, що враховує випромінювання, в знаменнику правої частини рівняння (5) призводить одночасно до збільшення складової похибки вимірювання температури від випромінювання [5].

Вплив теплопровідності на сталу часу приймача температури проявляється тоді, коли приймач має тепловий контакт з холоднішими і масивнішими тілами (опорами). В цих умовах, крім стаціонарної похибки вимірювання температури, можливе істотне спотворення вимірюваної температури під час зміни температури чутливого елемента приймача. Таке спотворення не залежить від стаціонарної похибки вимірювання і може виникати навіть за відсутності стаціонарної складової похибки, зумовленої теплопровідністю. У такому разі можна говорити про вплив теплопровідності на сталу часу приймача температури.

За наявності впливу теплопровідності вздовж приймача температури стала часу може мати тенденцію до збільшення. Це зумовлено тим, що температура чутливого елемента приймача до деякої міри визначається температурою опор. Оскільки опори завжди є масивнішими від приймача, то вони повільніше реагують на зміну температури газового середовища.

Результати експериментальних досліджень, виконаних автором, показують, що вплив теплопровідності на значення показника теплової інерції проявляється найбільше при невеликих питомих витратах газового середовища. А для усунення впливу теплопровідності на значення показника теплової інерції необхідно виносити чутливий елемент приймача температури якомога далі від опори, тобто необхідно збільшувати величину відношення L/d (довжини приймача температури L до його діаметра d) [6].

При оцінці показника теплової інерції проектованого приймача температури необхідно враховувати і конструктивні параметри, які також впливають на значення ε .

Так, в процесі виготовлення чутливого елемента (термопар) необхідно зварювати термоелектроди. Діаметр спаю, як правило, перевищує діаметр термоелектродів термопар. Це призводить до збільшення сталої часу термопар. При конструюванні приймача температури із заданою

інерційністю необхідно застосувати заходи для запобігання відтоку тепла від спаю термопари. Для цього спай за розмірами не повинен перевищувати 1,1 діаметра термоелектродів. В [4] наведено дані із дослідження інерційності термопар при їх поперечному обтіканні газовим середовищем. Результати показують, що вплив розмірів спаю термопари на показник теплової інерції можна оцінити емпіричним співвідношенням

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \left(\frac{D}{d}\right)^{0,375}, \quad (6)$$

де D — діаметр спаю термопари; d — діаметр термоелектродів термопари; ε — показник теплової інерції термопари зі спаєм діаметром D при діаметрі термоелектродів d ; ε_0 — показник теплової інерції термопари із термоелектродів, зварених без місцевого потовщення ($D = d$).

Залежність (6) рекомендується застосовувати переважно тільки для визначення допустимої величини спаю, що задовольняє задане обмеження за значенням показника теплової інерції ε . Наприклад, для того, щоб значення ε реальної термопари перевищувало розрахункове значення ε_0 не більше ніж на 10%, необхідно, щоб відношення D/d було меншим від 1,29.

При поперечному обтіканні неекранованого приймача температури стала часу практично не залежить від орієнтації спаю термопари відносно потоку газового середовища. Для неекранованих приймачів з поздовжнім обтіканням потоком нечутливість показника теплової інерції ε до кута відхилення осей термоелектродів від напрямку потоку не перевищує $\pm 15^\circ$. Неекрановані приймачі температури за відсутності тепловідводу від спаю мають практично сталі значення ε . Для такого випадку приймач температури можна представити аперіодичною ланкою першого порядку, а її сталу часу розраховувати за відомими фізичними параметрами термоелектродів, розмірами спаю і значенням коефіцієнта тепловіддачі α . Діаметр спаю, як вказувалося вище, не повинен перевищувати розміри термоелектродів більше ніж на 10%.

Для складних конструкцій екранованих приймачів такий підхід для визначення сталої часу можливий тільки за умови, що відсутній теплообмін між газовим середовищем і екранами. Складнішим є визначення інерційності приймачів температури при реєстрації пульсуючих температур в умовах зміни коефіцієнта тепловіддачі α . У такому разі виникає статична похибка, яка виражається в постійному зміщенні середнього рівня коливань температури, що реєструються приймачем [2].

Не менш важливе значення для сталої часу має форма термоелектродів, що утворюють спай (форма спаю). Наприклад, для скручених термоелектродів поблизу місця їх зварювання при розрахунку ε за (2) або (3) для ефективного діаметра термоелектродів необхідно застосовувати величину $1,5d$ [4]. Але така рекомендація неприйнятна, якщо термоелектроди термопари не скручені, а просто розміщені близько один біля одного. В [4] експериментально показано, що близькість термоелектродів термопари не впливає на сталу часу термопари, якщо віддаль між ними становить не менше ніж один діаметр термоелектродів. Дослідження, виконані автором, показали, що ця віддаль може становити не менше ніж 1,15 діаметра.

Отже, конструюючи приймачі температури, необхідно забезпечити певне значення показника теплової інерції ε , оскільки він визначає похибку вимірювання швидкозмінних температур газового середовища. Із аналізу згідно з (2), (3) і (5) впливає, що зменшення ε приймача температури можна досягти такими заходами:

- зменшення маси термоелектродних і конструкційних матеріалів;
- вибір матеріалів з малою питомою теплоємністю і низькою теплопровідністю;
- збільшення коефіцієнта конвективної тепловіддачі від газового середовища до приймача або збільшення питомої масової витрати газового середовища поблизу спаю;
- збільшення площі поверхні приймача, що омивається газовим середовищем;
- збільшення віддалі між спаєм і місцем закріплення приймача температури;
- збільшення рівня вимірюваної температури.

Висновки. До найдоступніших засобів зменшення показника теплової інерції можна зарахувати зменшення діаметра термоелектродів і збільшення їх довжини, а також регулювання масової витрати газового середовища правильним вибором діаметра і кількості вентиляційних отворів в камері гальмування приймача температури. Крім цього, великі резерви щодо зменшення інерційності є у збільшенні відношення площі поверхні приймача, що омивається потоком, до його маси. Для цього можна сконструювати спеціальні тонкостінні чутливі елементи з порівняно великою площею поверхні, що омивається потоком. Завдяки цьому можна значно зменшити значення показника теплової інерції приймача температури

1. Кондратьев Г.М. *Тепловые измерения* — М., 1957. 2. Гордов А.Н. *Основы пирометрии*. — М., 1971. 3. *Basic Theory of Millisecond Response Thermocouples/Instrument Practice*. — Vol. 24. — № 10. — P. 687—691. 4. *Moffat R.J/ Designing Thermocouples for Response Rate/Trans. of the ASME.* — Vol. 68. — № 2. — P. 257—262. 5. Фединець В. Вплив захисних екранів термоперетворювача на похибку від випромінювання при вимірюванні температури газових потоків / Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". — 2003. — № 476. — С.67—72. 6. Фединець В.О. Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури енергоносіїв в трубопроводах // *Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв*. — Львів, 1998. — С.242—246.

УДК 621.182.2.001.57

Є. Чайковська

Одеський національний політехнічний університет

ДОПУСК ЯК СТРУКТУРА

© Чайковська Є., 2004

Sinergetic concept of the diagnostics of the energy systems is designed. Motivation of the tolerance as information, ranked, space-time structure is presented.

Проблема діагностики енергетичних систем прямо зв'язана зі специфічними умовами їхньої експлуатації. відомі методи діагностування: як статичний, так і функціональний з використанням детермінованого, статистичного, імовірного та інших підходів не враховують відкритості енергетичних систем, що обмінюються з довкіллям речовиною, енергією й інформацією, а також когерентності поведінки між компонентами систем, що вносить істотну невірогідність в оцінку стану систем без обліку їхньої динамічної активності [2—4].

Розроблена синергетична концепція діагностики енергетичних систем відображена у запропонованій автором архітектурі експертних систем, основою яких є динамічна система, що відображає через характер реакцій на збурювання особливості функціонування енергетичних систем (її назва в експертній системі — динамічна підсистема). Іншими модулями, що входять до складу експертної системи, можуть бути блоки діагностування ситуації, ефективності, надійності тощо з відповідним математичним описанням і подальшим їх нарощуванням [3, 4].

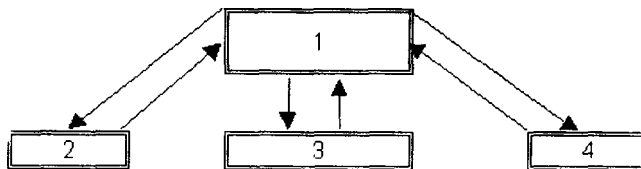


Рис. 1. Архітектура побудови експертних систем:

1 — динамічна підсистема; 2 — модуль діагностування ефективності; 3 — модуль діагностування ситуації; 4 — модуль надійності (діагностування структурних параметрів)