

УДК 536.521

## ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПІРОМЕТРІВ В ТЕХНІЧНІЙ ДІАГНОСТИЦІ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

© Гук О. П., Кубишин С. М., Голюка Б. М., Бохонко Б. А., 2002  
НВО "Термоприлад", м. Львів

**Розглянуто задачу реалізації пірометрів зі застосуванням сучасної елементної бази, а також можливості їх використання як приладів неруйнівного контролю промислового обладнання. Наведені технічні характеристики пірометрів промислового призначення.**

Сукупність технічних характеристик будь-якого виробу чи обладнання забезпечується необхідним контролем як на стадії виготовлення, так і в процесі експлуатації. Одним із методів неруйнівного контролю якості та надійності виробів і технологічного обладнання є вимірювання температури контактними і безконтактними способами. При цьому вимірювання температури можна проводити за допомогою термопар, термоопорів, температурочувливих фарб та іншими методами. Найбільш перспективними і універсальними способами контролю якості і надійності є вимірювання температури об'єктів за їх електромагнітним випромінюванням (у видимій та інфрачервоній областях спектру). До технічних засобів, які реалізують вказані методи вимірювання, відносяться тепловізори, скануючі пірометри, а також технічні пірометри широкого застосування.

Використання тепловізорів, що дають теплову картину (фонографію), і скануючих пірометрів, що дають інформацію про температуру в межах сканування поля зору пірометра є, як правило, дорогим і невіддільним для багатьох споживачів через значні ціни на ці прилади і вартість їх обслуговування. Оптимальним варіантом для температурного контролю об'єктів слід вважати застосування комплексу, що складається з мікропроцесорного пірометра і персонального комп'ютера.

Особливостями сучасних пірометрів, що базуються на мікропроцесорах або мікроконтролерах, є:

- низькі ціни і низька вартість обслуговування,
- наявність інтерфейсу з комп'ютерними системами,
- високі метрологічні показники.

У більшості пірометрів функцію перетворення (як для стаціонарних, так і переносних пірометрів) можна описати формулою:

$$U = U_o + (1 - \varepsilon) k T_\phi^n + \varepsilon k_\varepsilon T^n,$$

де  $U_o$  – постійна складова від впливу зміщення нуля операційного підсилювача, а також від впливу на пірометр температури навколишнього середовища;  $\varepsilon$  – значення випромінювальної здатності об'єкта,

температура якого вимірюється (граничне значення має вимірюваний об'єкт з характеристикою "чорного тіла", у якого  $\varepsilon=0,95\dots 0,99$ );  $k_\varepsilon$  – коефіцієнт перетворення випромінювання в електричний сигнал оптико-електронного тракту, що залежить від ширини робочого спектрального діапазону, приймача випромінювання і температурного діапазону;  $T_\phi$  – температура фонового випромінювання, яку необхідно враховувати при малих значеннях випромінювальної здатності об'єкта;  $T$  – температура об'єкта.

Як приймачі, що перетворюють потужність електромагнітного випромінювання в фіксованому тілесному куті, використовують як фотонні, так і теплові приймачі випромінювання. Найбільше застосування серед фотонних приймачів випромінювання набули германієві, кремнієві, InGeAs фотодиоди та фоторезистори структури PbS та PbSe. При виокотемпературних вимірюваннях в пірометрах використовують також фотопомножувачі та фотоелементи. До приймачів, які реагують на теплову енергію, слід віднести термобатарей (фольгові або напилени напівпровідникові) і піроелектричні приймачі. Піроелектричні приймачі, хоч і потребують модуляції випромінювання, мають перевагу перед термобатарейними як в чутливості, так і в часі встановлення показів, що дозволяє їх використовувати для діагностики стану теплотрас, трубопроводів тощо. Пірометр умовно можна розділити на два основні вузли: первинний пірометричний перетворювач, який забезпечує перетворення випромінювальної енергії об'єкта в електричний сигнал, та вимірювальний перетворювач, який забезпечує перетворення сигналу, що поступає від первинного перетворювача, у форму, зручну для відліку чи реєстрації. Структурна схема вимірювального перетворювача пірометра представлена на рис. 1.

Основними вузлами такого перетворювача є: вхідний комутатор аналогових сигналів (КС), вхідний підсилювач сигналу з програмованим коефіцієнтом передачі (ППС), аналого-цифровий перетворювач (АЦП), цифроаналоговий перетворювач (ЦАП), джерело опорної напруги (ДОН), вихідний

нормуючий перетворювач (НП), мікропроцесор (МП), постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), блок оперативної пам'яті (ОП), електрично перепрограмований запам'ятовуючий пристрій (ЕПЗП), алфавітно-цифровий індикатор (АЦІ) і послідовний інтерфейс типу RS232 або RS485 для зв'язку з комп'ютером.

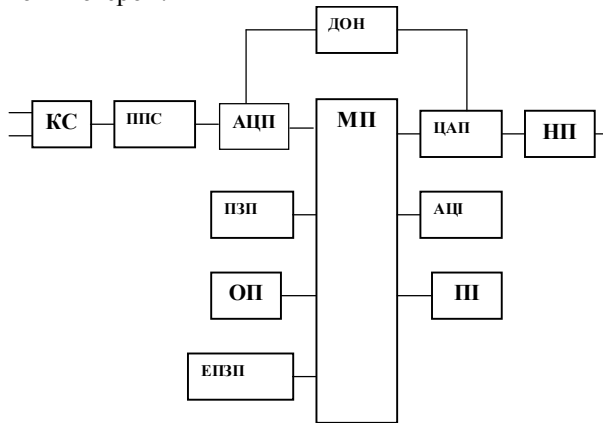


Рис. 1. Структурна схема вимірювального перетворювача пірометра

Комутатор аналогових сигналів КС забезпечує підключення до вимірювального тракту сигналу від первинного пірометричного перетворювача або компенсуючого сигналу від датчика температури середовища. Вхідний програмований підсилювач сигналу ППС забезпечує розширення динамічного діапазону вимірювального перетворювача по входу. Найчастіше використовуються програмовані підсилювачі зі значеннями коефіцієнта передачі, які змінюються по двійковому закону 1, 2, 4 ... 1024; або по десятковому закону 1, 10, 100, 1000. ЦАП разом з нормуючим перетворювачем НП забезпечують формування вихідного аналогового сигналу. Найчастіше використовуються стандартизовані вихідні сигнали по струму (4...20) мА, (0...5) мА або по напрузі - 1 мВ/°С. Джерело опорної напруги ДОН задає опорну напругу для АЦП і ЦАП. Мікропроцесор МП забезпечує керування основними аналоговими вузлами: КС, ППС, АЦП, ЦАП, а також виконує арифметичні операції з лінеаризації характеристики первинного інфрачервоного перетворювача, обчислення результату вимірювання, формування коду для алфавітно-цифрового індикатора АЦІ, реалізує алгоритми цифрової фільтрації сигналу, формує протокол для послідовного інтерфейсу, забезпечує виконання сервісних функцій. Різні типи пам'яті використовуються для зберігання коду програми (ПЗП), оперативного запам'ятовування проміжних результатів в процесі вимірювання та обчислень (ОП), довготривалого зберігання уставок приладу, результатів вимірювання (ЕПЗП).

Для реалізації структури використовуються електронні елементи як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва сучасного покоління:

- аналого-цифровий перетворювач AD7705/06 (фірма Analog Devises),
- цифро-аналоговий перетворювач AD 421 (фірма Analog Devises),
- мікроконтролер типу AT89S8252 (фірма Atmel),
- адаптер інтерфейсу RS-232 ADM232A (фірма Analog Devises),
- попередній підсилювач AD 8551 або AD 8552 (фірма Analog Devises),
- алфавітно-цифровий індикатор BC 1602D.

Мікросхема AD7705/06 містить високоточний аналого-цифровий перетворювач з роздільною здатністю 16 двійкових розрядів, який працює за принципом сігма-дельта модуляції, а також вхідний аналоговий комутатор та програмований підсилювач з коефіцієнтами передачі 1, 2, 4 ... 128. Крім цього, мікросхема забезпечує функції автокалібрування напруги зміщення та коефіцієнта передачі, а також реалізує попередню цифрову фільтрацію сигналу. Мікросхема AD421 містить високоточний сігма-дельта цифроаналоговий перетворювач з роздільною здатністю 16 двійкових розрядів та нормуючий перетворювач (4...20) мА. Мікроконтролер AT89S8252 крім процесора містить всі необхідні типи запам'ятовуючих пристроїв.

Використання вказаних компонентів з високим рівнем інтеграції, а також реалізація пірометрів за сучасними технологіями поверхневого монтажу дозволяють отримати високі характеристики точності, швидкодії та надійності.

До сервісних функцій вимірювального перетворювача належать:

- максимальне, середнє або мінімальне значення вимірюваної температури (за вибором оператора). При цьому аналого-цифрова інформація обробляється за спеціальним алгоритмом;
- різниця між максимальним та мінімальним значеннями температури;
- середнє значення температури за час, встановлений оператором за допомогою контрольованого цифрового фільтра;
- наявність детектора максимальних значень із встановленим оператором часом оновлення інформації;
- регульоване значення випромінювальної здатності з дискретністю 0,01;
- можливість звуження робочого температурного діапазону (в межах загального);
- тризонне позиційне регулювання (більше - норма - менше).

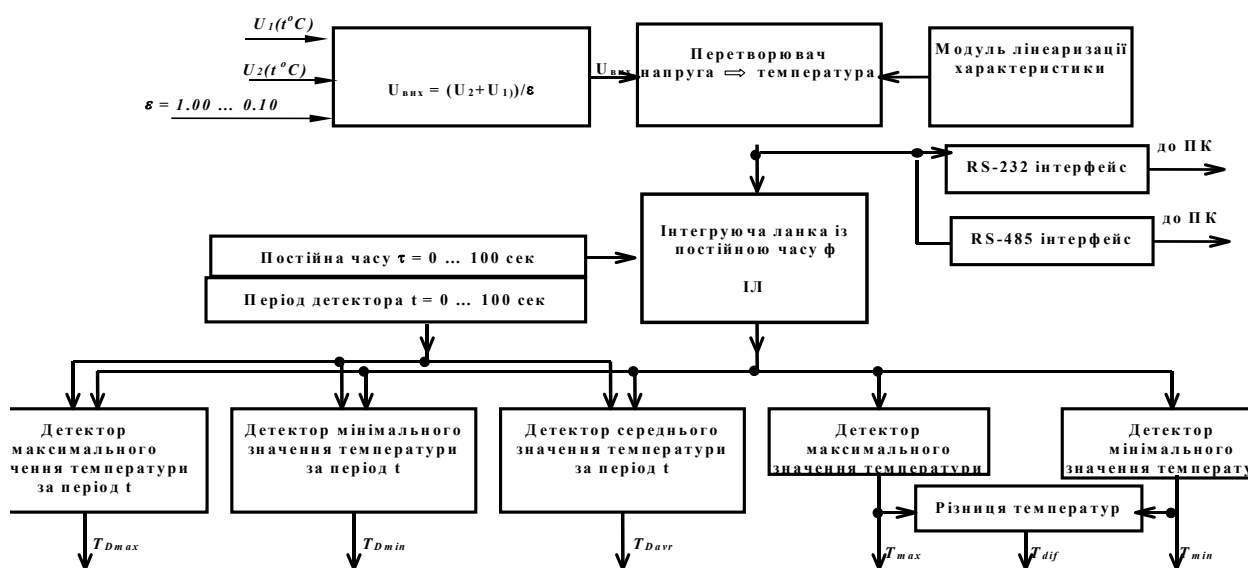


Рис. 2. Блок-схема програми для мікроконтролера

На рис. 2 представлена блок-схема програми для мікроконтролера, яка відображає основні функції, що виконуються мікроконтролером в пірометрах. Це обчислення результатів вимірювання за основною формулою, лінеаризація характеристики первинного перетворювача та перетворення значень напруги у відповідні значення температури (ПНТ), формування протоколів інтерфейсів RS-232, RS-485, додаткова функція фільтрації за допомогою інтегруючої ланки ІЛ зі змінною постійною часу, визначення максимального, мінімального та середнього значень температури за період  $t$ , визначення максимального і мінімального значень температури та їх різниці.

В табл. 1 наведені характеристики розробленої за участю авторів стаціонарного пірометра у порівнянні з промисловим стаціонарним пірометром Raytek GP.

Як видно з табл. 1 розроблений стаціонарний пірометр за основними характеристиками відповідає зарубіжному аналогу, а за рядом параметрів переважає його. Це, зокрема, діапазон вимірюваних температур, час відгуку.

У табл. 2 наведені характеристики розробленого переносного пірометра у порівнянні з зарубіжними та вітчизняними аналогами.

Як видно з табл. 2 переносний пірометр за основними технічними характеристиками відповідає зарубіжному і вітчизняному серійному аналогам, а за деякими параметрами переважає їх. Це, зокрема, час відгуку, роздільча здатність, а по відношенню до вітчизняного аналога – більша точність та значно ширші функціональні можливості.

Таким чином використання сучасних технологій поверхневого монтажу та елементної бази висо-

кої степені інтеграції провідних зарубіжних фірм дозволяють реалізувати високі метрологічні характеристики як стаціонарних, так і переносних пірометрів, а також забезпечити високу надійність приладів в експлуатації та технологічність на етапі їх виробництва.

Таблиця 1 – Характеристики стаціонарних пірометрів

Назва параметра	Згідно проекту	Raytek GP
Діапазон температур (загальний)	Мінус 35 °С до 3000 °С	Мінус 18 °С до 538 °С
Показник візування	1 : 5 – 1 : 300	1 : 2; 1 : 10
Лазерний візир	Так	-
Уставка випромінюючої здатності	0,1 – 1,0 (цифр. з дискр. 0,1)	0,1–1,0 (цифр. з дискр. 0,01)
Похибка вимірювання	$\pm 1\%$ або $\pm 1^{\circ}C$ (що більше)	$\pm 1\%$ або $\pm 1^{\circ}C$ (що більше)
Повторюваність	$\pm 1\%$ або $\pm 1^{\circ}C$ (що більше)	$\pm 0,5\%$ або $\pm 1^{\circ}C$ (що більше)
Час відгуку	0,05 с	0,5 с
Постійна часу фільтру	(0 - 100) с	(0 – 60) с
Установка верхньої (НІ) та нижньої межі (ЛО) сигналізації	Так	-
Цифровий вихід RS-232	Так	-
Аналоговий вихід	(0 – 5) мА; (4 – 20) мА	(4 – 20) мА

Таблиця 2 – Характеристики переносних пірометрів

Назва параметра	Згідно проекту	Raynger 3i	Сморич-4ПМ
Діапазон температур	Від -35 °С до +3000 °С	Від -30°С до +3000 °С	Від +30 °С до +300°С
Показник візурування	1 : 2 – 1 : 300	1 : 75; 1 : 90; 1 : 105; 1 : 120; 1 : 180	1 : 15 – 1 : 25
Наявність лазерного візира	Так	Так	Ні
Уставка випромінюючої здатності	0,1 – 1,0 (цифр. з дискр. 0,1)	0,1 – 1,00 (цифр. з дискр. 0,01)	-
Похибка вимірювання	±1% або ±1°С (що більше)	±1% або ±1°С (що більше)	±1,5%
Повторюваність	±1% або ±1°С (що більше)	±0,5% або ±1°С (що більше)	-
Пам'ять	100 значень	100 значень	-
Установка верхньої та нижньої межі сигналізації	Так	-	-
Сигнали тривоги	Так	-	-
Цифровий вихід RS-232	Так	-	-
Аналоговий вихід	1 мВ/°С	1 мВ/°С	-

УДК 620.179

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ДЛЯ ДОКУМЕНТУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ПРИ РУЧНОМУ СКАНУВАННІ

© Маєвський С. М., Сірий К. М., 2002  
НТУУ “Київський політехнічний інститут”

*Розглянуті способи автоматичного визначення координат первинних перетворювачів при проведенні ультразвукової дефектоскопії. Показано, що з цією метою можуть бути використані градувальні линви, спеціальні ультразвуковий випромінювач і перетворювач кутових координат.*

В неруйнівному контролі досить часто використовується ручне сканування поверхні об'єктів контролю первинними перетворювачами з метою пошуку дефектів. В такому режимі працюють майже всі ультразвукові, вихрострумкові та інші дефектоскопи.

Суттєвим недоліком таких методів неруйнівного контролю є відсутність документування процесу контролю, що не дозволяє перевіряти якість проведеного контролю та використовувати результат контролю з метою дослідження зміни виявлених дефектів (наприклад, тріщин) в часі. Такий документ мав би відображати координати траєкторії сканування з відмітками місця знайдених дефектів та їх величин. Документування дало б можливість підвищити об'єктивність контролю.

Відомі приклади вирішення згаданої проблеми шляхом вимірювання довжин линв, що приєднанні

до перетворювача і з'єднують його з точками зчитування довжин линв на кінцях базової відстані  $B$  (рис. 1). Линви градуйовані за довжиною нанесенням на їх поверхню рисок з заданою дискретністю. Визначення координат  $X$ ,  $Y$  положення ультразвукового перетворювача передбачає вимірювання довжин градуйованих линв при їх скручуванні з барабанів 1 та 2.

Линви приєднані обома кінцями до перетворювача, що вручну переміщується поверхнею об'єкту контролю. Для певного положення перетворювача, коли довжини лівого і правого кінців линв становлять відповідно  $a$  і  $b$ , значенню абсциси положення перетворювача  $X$  відповідають такі два рівняння:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{a^2 - Y^2}, \\ X &= \sqrt{b^2 - (B - Y)^2}. \end{aligned} \quad (1)$$