

28195-89. *Оценка качества программных средств. Общие положения. 4. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology / IEEE Std 610.12-1990.* 5. Майерс Г. *Надежность программного обеспечения : пер. с англ. – М. : Мир, 1980. – 360 с.* 6. Липаев В. В. *Программная инженерия. Методологические основы. – М. : ТЕИС, 2006. – 608 с.* 7. Соммервилл И. *Инженерия программного обеспечения : 6-е издание; под ред. А. А. Минько. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 618 с.* 8. Орлов С.А. *Технологии разработки программного обеспечения. Разработка сложных программных систем : учебник для ВУЗов. – СПб. : Питер, 2004. – 527 с.* 9. Брауде Э. *Технология разработки программного обеспечения. – СПб. : Питер, 2004. – 655 с.*

УДК 536.532 (088.8)

Г. Юрчик

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра електронних засобів інформаційно-комп’ютерних технологій

## **СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМІЧНИЙ МЕТОД АВТОКАЛІБРУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ ТЕМПЕРАТУРИ В УМОВАХ ЇХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

© Юрчик Г., 2014

Розглянуто метод автокалібрування (комплектної перевірки) термоелектричних вимірювальних каналів (ТВК) температури в умовах їх експлуатації. За методом послідовно формуються калібровані адитивний та мультиплікативний електротеплові впливи безпосередньо на робочий кінець первинного перетворювача (ПП) ТВК. Зареєстровані додаткові результати спостережень вихідного сигналу ТВК дають можливість визначити за формулою контрольовану температуру об’єкта, максимально наближену до реального її значення завдяки автокорегуванню прогресуючих похибок як ПП, так і вторинних перетворювальних ланок ТВК та знайти поправку, яка автоматично вводиться в результати поточних вимірювань температури.

**Ключові слова:** термоелектричний перетворювач температури, дрейф градувальної характеристики, структурно-часова надлишковість вимірювальних перетворень, автокорекція адитивної і мультиплікативної похибок, точність методу автокалібрування.

The method of auto-calibration (complete calibration) of measuring channels thermoelectric (TEC) temperature in the conditions of use. According method formed successively calibrated additive and multiplicative electrothermal effects directly on the working end of the primary converter (PP) TEC. Logged additional observations Output enable DEC to determine the formula temperature controlled facility as close to the actual value due to its auto- progressive errors of both PP and secondary conversion units TEC and find an amendment that is automatically entered in the results of current measurements of temperature.

**Key words:** thermoelectric converter temperature drift calibration performance, structural and temporal redundancy measurement conversions, auto-additive and multiplicative errors, the accuracy of the method of auto calibration.

### **Вступ**

У багатьох промислових галузях України, таких як тепла і атомна енергетика, машинобудування, приладобудування, медицина, харчова промисловість, сільське господарство тощо для контролю температурних параметрів різних теплових технологічних процесів (ТП) широко використовуються як аналогові, так і цифрові термоелектричні вимірювальні канали

(ТВК), що входять до багатофункціональних автоматизованих систем управління цими процесами. При цьому висока ефективність та енергоощадність сучасних технологій, пов'язаних із забезпеченням оптимальних режимів функціонування потужного теплосилового обладнання, тепловою обробкою різних речовин та матеріалів і др. повною мірою і безпосередньо залежать від метрологічної надійності засобів вимірювання температури і зокрема ТВК, під якою розуміють здатність засобу вимірювання зберігати нормовану точність не тільки в межах міжповірного інтервалу, але й протягом тривалішого часу їх експлуатації. Як свідчать статистичні дані [1–4] похибка ТВК під впливом різних дестабілізуючих факторів (агресивність контрольованого середовища, високі температури тощо) протягом міжповірного інтервалу може значно перевищувати допустимі значення. Основними джерелами похибки вимірювань температури є відносно швидкий дрейф градувальної характеристики (ГХ) первинного термоелектричного перетворювача (ТЕП), зміна коефіцієнтів перетворення і дрейфу нуля вторинних ланок ТВК, а також дія на них різних дестабілізуючих впливових величин. Водночас чергова періодична повірка ТВК є доволі складною і малоефективною процедурою, яка передбачає обов'язковий демонтаж ТЕП з місця встановлення на технологічному обладнанні з метою його заміни або переградування в лабораторних умовах. А необхідність метрологічних досліджень вторинних перетворювачів ТВК вимагає багато часу і, як правило, зумовлює в багатьох випадках небажану зупинку неперервних теплових ТП. Недоліком цього поелементного методу повірки ТВК є також значна невизначеність у математичній моделі результуючої похибки вимірювання, зумовлена недостатністю експериментальних даних про систематичні похибки, які виникають внаслідок дії на ТВК різних зовнішніх дестабілізуючих факторів.

У зв'язку з вищевикладеними складностями процедури поелементної повірки ТВК, а також невизначеністю оцінки його результуючої похибки у статті розглядається альтернативний метод автокалібрування або комплектної повірки ТВК безпосередньо в умовах їх експлуатації. Висока оперативність методу, можливість автокорекції прогресуючої похибки ТВК в реальному часі підвищують метрологічну надійність ТВК і водночас ефективність сучасних теплових ТП та якість виготовленої продукції.

#### **Метод автокалібрування термоелектричних вимірювальних каналів температури**

Метод автокалібрування використовують, вбудовуючи до структури ТВК засоби формування каліброваних адитивних і мультиплікативних електротеплових впливів на робочий кінець ТЕП безпосередньо в умовах експлуатації. Послідовне здійснення цих впливів, протягом часу меншого за теплову інерційність контрольованого об'єкта, відповідно до запропонованого алгоритму функціонування ТВК, дає можливість на основі одержаних додаткових результатів спостережень вихідних сигналів ТВК визначити за формулою значення температури контрольованого об'єкта, максимально наближеного до її реального значення. Цього досягають завдяки алгоритмічній автокорекції не тільки прогресуючої похибки ТЕП, зумовленої відносно швидким дрейфом і нелінійністю його ГХ, дрейфом нуля та зміною коефіцієнтів перетворення вторинних вимірювальних ланок ТВК, але й додаткової похибки внаслідок дії на ТВК в умовах експлуатації різних дестабілізуючих впливових величин.

Структурну схему мікропроцесорного ТВК з автокалібруванням наведено на рис. 1. Метод автокалібрування ТВК полягає в такому. Робочий кінець трьохелектродного ТЕП ТВК знаходиться в контрольованому середовищі, температуру якого в межах ( $T_{x\min}$  –  $T_{x\max}$ ) необхідно вимірювати. Три вільні кінці ТЕП розміщено в коробці 4 із сталюю температурою  $T_0$ . Перемикачем 5 перекомутують вільні кінці, утворюючи два варіанти ТЕП з одним спільним електродом, тобто 1.1–1.2 та 1.1–1.3. У процесі пусконаладжувальних робіт на технологічному об'єкті здійснюють первинне калібрування ТВК за відомої температури  $T_K$ , яку обирають за співвідношенням:

$$T_K = \sqrt{T_{x\max} \cdot T_{x\min}} \quad (1)$$

Перетворюють за допомогою АЦП7 термоелектрорушійну силу (ТЕРС) на виході ТЕП (електроди 1.1–1.2) на цифровий код

$$N_1' = S(e_{n1}T_K - e_{01}T_0), \quad (2)$$

де  $S$  – крутизна характеристики АЦП7;  $e_{n1}$  – початкове значення термоелектричного коефіцієнта робочого кінця основного ТЕП (1.1-1.2) при температурі калібрування  $T_K$ ;  $e_{01}$  – термоелектричний коефіцієнт вільних кінців ТЕП при температурі  $T_0$ , який є фактично незмінним протягом тривалого часу експлуатації ТВК і визначається з ГХ ТЕП.

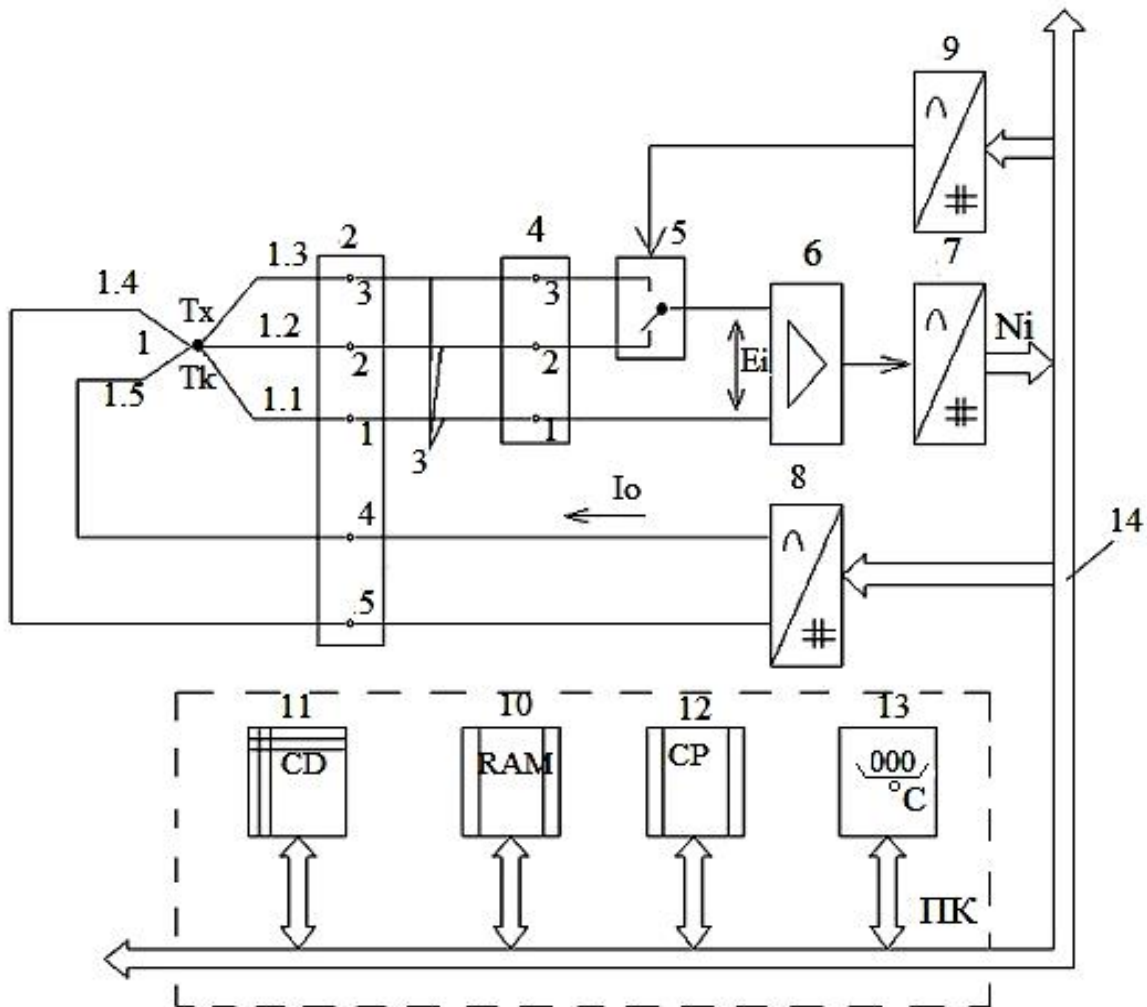


Рис. 1. Структурна схема мікропроцесорного термоелектричного вимірювального каналу температури з автокалібруванням:  $T_x$  – контрольована температура об'єкта;

$T_K$  – відоме значення температури робочого кінця ТЕП при первинному калібруванні ТВК;

1 – подвійний ТЕП з вимірювальними електродами 1.1, 1.2 і додатковим електродом 1.3; 1.4

і 1.5 – електроди, що використовуються для адитивного електротеплового впливу на робочий кінець ТЕП;

2 – клемна колодка ТЕП; 3 – подовжувальні компенсаційні дроти; 4 – коробка стабілізації або компенсації змін температури вільних кінців ТЕП; 5 – керований перемикач; 6 – нормуючий підсилювач сигналу ТЕП;

7 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 8, 9 – цифро-аналогові перетворювачі постійного струму (ЦАП);

10 – блок оперативної пам'яті; 11 – пристрій управління; 12 – обчислювальний пристрій; 13 – цифровий індикатор контрольованої температури  $T_x$ ; 14 – загальна шина персонального комп'ютера ПК

Цифровий код ТЕРС вільних кінців ТЕП (1.1–1.2) визначається за співвідношенням

$$N_{01} = S e_{01} T_0 = S e_{n1} T_K - N_1' . \quad (3)$$

За рівнянням (3) одержуємо вираз для початкового значення термоелектричного коефіцієнта робочого кінця ТЕП (1.1-1.2)

$$e_{n1} = \frac{N_{01} + N_1'}{ST_K} \quad (4)$$

Цифрові коди  $N_1'$  та  $N_{01}$  реєструють і запам'ятовують. Далі змінюють чутливість ТЕП шляхом підключення до його робочого кінця, замість основного електрода 1.2, однотипного з ним електрода 1.3, який виконано так, що термоелектричний коефіцієнт його “гарячого” кінця в  $K_1 = 0,9-0,95$  рази менший ніж термоелектричний коефіцієнт робочого кінця електрода 1.2. Такого виконання електрода 1.3 досягають, наприклад, штучним старінням його “гарячого” кінця. Зміна чутливості ТЕП призводить до зменшення ТЕРС на його виході, цифровий код якої матиме значення:

$$N_2' = S(e_{n2}T_K - e_{01}T_0) = S\left[e_{n1}\left(1 - \frac{\Delta e'}{e_{n1}}\right)T_K - e_{01}T_0\right] = S(e_{n1}K_1T_K - e_{01}T_0), \quad (5)$$

де  $\epsilon_{n2}$  – коефіцієнт чутливості робочого кінця утвореного ТЕП (електроди 1.1-1.3);  $\Delta e' = (e_{n1} - e_{n2})$

Одержаний код  $N_2'$  реєструється і запам'ятовується. Потім до вимірювальної схеми під'єднується, замість додаткового електрода (1.3), основний електрод (1.2). На цьому процедура первинного калібрування ТВК перед початком його тривалої експлуатації завершується.

При здійсненні процедури автокалібрування ТВК в процесі його експлуатації спочатку одержують цифровий код ТЕП, що відповідає контрольованій температурі  $T_x$ :

$$N_1'' = S[(e_{n1} + \Delta e_{x1})T_x + \Delta e_1 - \Delta e_{01}T_0], \quad (6)$$

де  $\Delta e_{x1}$  – неконтрольовані зміни термоелектричного коефіцієнта робочого кінця ТЕП внаслідок його поступової фізичної деградації, а також через відмінність температури  $T_x$  від температури первинного калібрування ТВК;  $\Delta e_1$  – адитивна складова інформативного сигналу, зумовлена, по-перше, появою паразитної ТЕРС внаслідок розвитку структурної неоднорідності електродів ТЕП за їх довжиною і накладання на них градієнтного температурного поля, а, по-друге, – дрейфом нуля підсилювача б.

Цифровий код  $N_1''$  реєструють і запам'ятовують у ПК. З урахуванням виразу (3) цифровий код (6) можна подати у вигляді :

$$N_1'' = Se_{n1}T_x + S\Delta e_{x1}T_x + S\Delta e_1 - Se_{01}T_0 = Se_{n1}T_x + \Delta N_1 + \Delta N_2 - N_{01}, \quad (7)$$

де  $\Delta N_1 = S\Delta e_{x1}T_x$  – мультиплікативна похибка вимірювання в цифровому коді від зміни чутливості робочого кінця ТЕП;  $\Delta N_2 = S\Delta e_1$  – адитивна похибка вимірювання в цифровому коді, зумовлена розвитком неоднорідності електродів ТЕП, а також дрейфом нуля підсилювача б.

З виразу (7) випливає, що дійсне значення температури, яка контролюється, можна визначити за формулою :

$$T_x = \frac{N_1'' + N_{01} - \Delta N_1 - \Delta N_2}{Se_{n1}} \quad (8)$$

Похибки вимірювання  $\Delta N_1$  та  $\Delta N_2$  невідомі, і їх вплив на результат визначення температури можна зменшити, якщо ввести компенсуючі поправки, що мають зворотні знаки до знаків похибки. Для знаходження поправок вимірюють ТЕРС ТЕП (1.1–1.3), утвореного за допомогою додаткового третього електрода (1.3) шляхом перекомутації вільних кінців ТЕП. Цифровий код на вільних кінцях ТЕП (1.1–1.3) матиме значення :

$$N_2'' = S[(e_{n1} + \Delta e_{x2})T_x + \Delta e_2 - e_{01}T_0] = S[(e_{n1} + \Delta e_{x1})T_x K_2 + \Delta e_2 - e_{01}T_0], \quad (9)$$

де  $K_2 = \left(1 - \frac{\Delta e''}{e_{n1} + \Delta e_{x1}}\right)$ ;  $\Delta e'' = (e_{n1} + \Delta e_{x1}) - (e_{n2} + \Delta e_{x2})$ ,  $\Delta e_{x2}$  зміни термоелектричного коефіцієнта робочого кінця ТЕП (1.1-1.3).

Враховуючи, що умови фізичної деградації робочих кінців ТЕП(1.1-1.3) і (1.1-1.2) практично однакові, можна стверджувати, що  $\Delta e_{x1} = \Delta e_{x2}$ . Цифровий код  $N_2''$  реєструють і запам'ятовують в ПК. Потім відповідно до алгоритму калібрування ТВК додатково нагрівають робочий кінець ТЕП, використовуючи термоелектричний ефект Пельтьє[5]. Для цього через робочий кінець ТЕП (1.1-1.3) за допомогою другої пари електродів 1.4 і 1.5 подвійного ТЕП пропускають протягом визначеного часу  $t$  оптимальний постійний струм  $I_0$  певного напрямлення. Температура робочого кінця ТЕП зростає на величину  $\Delta T = 4 - 5^\circ C$ . Цифровий код ТЕРС на вільних кінцях ТЕП (1.1-1.3) набуде значення:

$$N_3'' = S[(e_{n1} + \Delta e_{x1})(T_x + \Delta T)K_2 + \Delta e_2 - e_{01}T_0], \quad (10)$$

де  $\Delta T = \frac{PI_0}{cm}nt$  – перегрів робочого кінця ТЕП відносно температури контрольованого об'єкта;  $P$  – коефіцієнт Пельтьє робочого кінця ТЕП;  $c$  і  $m$  – усереднені питома теплоємність і маса робочого кінця ТЕП;  $t = nt$  – час нагрівання робочого кінця ТЕП;  $t$  – теплова стала робочого кінця ТЕП;  $n=(0,1 \neq 0,2)$ . Цифровий код  $N_3''$  реєструють та запам'ятовують у ПК.

Після реєстрації і запам'ятовування цифрового коду  $N_3''$  миттєво під'єднують до вимірювальної схеми замість додаткового електрода 1.3 основний електрод 1.2, відновлюючи при цьому початкове значення чутливості ТЕП ( $e_{n1} + \Delta e_{x1}$ ) і одержують відповідне значення цифрового коду ТЕРС на вільних кінцях ТЕП

$$N_4'' = S[(e_{n1} + \Delta e_{x1})(T_x + \Delta T) + \Delta e_1 - e_{01}T_0]. \quad (11)$$

Цифровий код  $N_4''$  також реєструють і запам'ятовують. Враховуючи, що адитивна похибка вимірювання для двох ТЕП варіантів (1.1)-(1.2) і (1.1)-(1.3) однакова, можна вважати справедливою рівність  $\Delta e_1 = \Delta e_2 = \Delta e$ , що дає можливість за допомогою одержаних додаткових результатів спостережень визначити поправки на адитивну і мультиплікативну похибки за формулами:

$$\Delta N_1 = \frac{(N_1'' - N_2'')(N_1' + N_{01})}{(N_1' - N_2')} - \frac{T_x}{T_K}(N_1' + N_{01}); \quad (12)$$

$$\Delta N_2 = N_1'' + N_{01} - \frac{(N_1'' - N_2'')(N_4'' - N_1'')}{(N_4'' - N_3'') - (N_1' - N_2'')}. \quad (13)$$

З врахуванням одержаних значень поправок  $\Delta N_1$  і  $\Delta N_2$  визначається реальне значення контрольованої температури відповідно до виразу (8) за формулою:

$$T_x = \left[ \frac{N_1'' + N_{01}}{N_1' + N_{01}} + \frac{1}{2} \left( \frac{N_1'' - N_2''}{N_1' - N_2'} - M \right) \right] T_K, \quad (14)$$

$$\text{де } M = \frac{(N_1'' - N_2'')(N_4'' - N_2'')}{[(N_4'' - N_3'') - (N_1' - N_2'')](N_1' + N_{01})}$$

– алгоритмічний коефіцієнт.

Блок-схему алгоритму функціонування термоелектричного вимірювального каналу температури з автокалібруванням наведено на рис. 2.

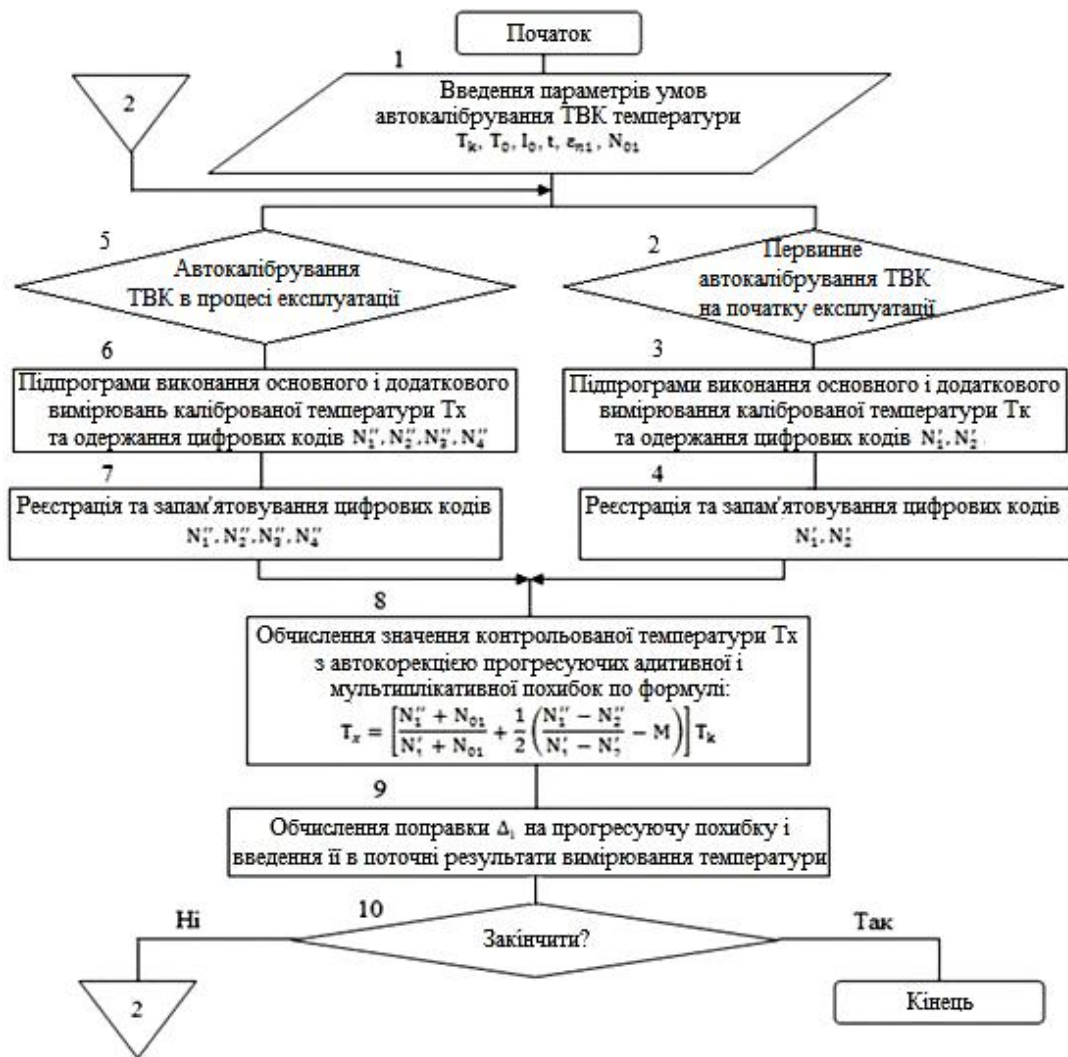


Рис.2. Блок-схема алгоритму функціонування термоелектричного вимірювального каналу температури з автокалібруванням

### Висновки

Отже, при автокалібруванні ТВК одержують значення контрольованої температури об'єкта, максимально наближене до реального значення, яке не залежить від нелінійності і прогресуючого дрейфу ГХ ТЕП, дрейфу нуля і зміни коефіцієнта перетворення підсилювача інформативного сигналу, дії на ТВК різних дестабілізуючих факторів, і визначається тільки цифровими кодами результатів рівноточних вимірювальних перетворень. Похибка методу автокалібрування ТВК переважно визначається похибкою формування каліброваних електротеплових впливів на ТЕП і знаходиться на рівні  $\pm 1,0\%$  у заданному робочому діапазоні вимірюваних температур. Значення поправки до поточних результатів вимірювання температури обчислюється за виразом :

$$\Delta i = T_x - T_{xi}, \quad (15)$$

де  $T_x$  – значення температури, одержане за виразом (14) під час чергового калібрування ТВК;  $T_{xi}$  – поточний результат прямого вимірювання температури до моменту калібрування ТВК.

1. Саченко А.А. Совершенствование методов измерения температуры / А.А. Саченко, Е.Я. Твердый. – К.: Техника, 1983. – 101 с. 2. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры / Н.А. Ярышев. – Л.: Энергоатомиздат; Ленинградское отделение, 1990 – 255с. 3. Термоелектричні термометри та їх метрологічне забезпечення : навч. посібник / М.П. Березненко, Ю.О. Скрипник, Г.І. Хімічова, Л.О. Глазков, Г.В. Юрчик. – К.: ІСДО, 1994 – 204 с.

4. Геращенко О.А. Температурные измерения / О.А. Геращенко, А.Н. Гордов, В.И. Лах и др. – К.: Наукова думка, 1989. – 494с. 5. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник / Л.Н. Анатычук. – К.: Наукова думка, 1979. – 768с.

UDK 004.932.2

S. Bogucharskiy, V. Mashtalir

Kharkiv National University of Radio Electronics,  
Informatics department

## ON MATRIX MODIFICATION OF CLARANS CLUSTERING METHOD IN LARGE VIDEO SURVEILLANCE DATABASES

© Bogucharskiy S, Mashtalir V., 2014

Розглянуто алгоритми кластеризації для дуже великих баз даних (VLDB) при використанні в обробці зображень і відео. Виняткова галузь застосування потребує представлення вихідних даних у вигляді багатовимірних векторів. Саме тому запропоновано матричні модифікації традиційних методів  $k$ -медоїдів, розбиття навколо медоїдів (PAM), кластеризації великих додатків (CLARA), а також CLARA на основі довільного пошуку (CLARANS). Проаналізовано переваги та недоліки цих методів.

**Ключові слова:** обробка відео, VLDB,  $k$ -медоїди, PAM, CLARA, CLARANS.

Clustering algorithms for Very Large Data Bases (VLDB) are observed in application with image and video processing. Such a specific case requires initial data presentation as multidimensional vectors. That is why matrix modifications of traditional  $k$ -medoids, Partitioning Around Medoids, Clustering LARGE Applications and CLARA based on RANDOMized Search methods are proposed. Benefits and drawbacks of them all are examined.

**Key words:** video processing, VLDB,  $k$ -medoids, PAM, CLARA, CLARANS.

### Introduction

Multidimensional data clustering aims at finding so called groups (classes, clusters, segments) of surveyed objects in information arrays being analyzed, which is an important part of data mining [1-5]. Its results are widely used for many applications. At the same time, there are quite a lot of practical tasks connected with processing of varied media, logical data, text and images, but the most popular and well-studied methods of cluster analyses become ineffective because of huge amounts of data needed to be processed.

Clustering algorithms for very large databases (VLDB) [1, 5], which form a separate branch in cluster analyses, turn out to be ahead of others for solving such kind of problems. One of the prime algorithms of such a type is CLARANS (Clustering Large Applications based on RANDOMized Search) [6] based on well-known  $k$ -medoids method, PAM (Partitioning Around Medoids) [1] and CLARA (Clustering LARGE Applications) algorithms, which are quite effective for processing not very large data arrays.

For the most part of existing clustering algorithms it should be noted that data to be processed are defined as multidimensional vectors forming traditional data table or multidimensional vector sequences (in case data are sequentially obtained for processing). At the same time, initial video processing information is usually presented in a matrix form, in which case this form may contain the whole image or its fragment. It is clear that in order to use some existing clustering methods for image processing, initial image should be vectorized somehow and devectorized to initial form after its processing.

The article presents CLARANS method modification that copes with initial data in a form of  $(m \times n)$ -matrix  $x(k) = \{x_{i_1 i_2}(k)\}$ ,  $i_1 = 1, 2, \dots, m$ ;  $i_2 = 1, 2, \dots, n$ ;  $k = 1, 2, \dots, N$  is a number of observation in the analyzed data array. By doing so, it is considered that the whole of this array should be divided into  $p$  clusters, each of which may be described based on its centroid  $c(l)$ ,  $l = 1, 2, \dots, p$  defined also in a form of  $(m \times n)$ -matrix.