

вимірювань у робочих умовах експлуатації // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2002. – № 60. – С. 98–102. 10. Федорков Б.Г., Телец В.А., Дегтяренко В.П. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи. – М.: Радио и связь, 1984. – 320 с. 11. Пейтон А. Дж., Воли В. Аналоговая элект-

роника на операционных усилителях: пер. с англ. – М.: БИНОМ, 1994. – 352 с. 12. Каталог ELFA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.Elfaelektronika.com>. 13. Каталог виробів фірми Analog Device [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.analog.com>.

УДК 621.396

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ, ПЕРЕВІРКИ ТА АТЕСТАЦІЇ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НА БАЗІ ЕТАЛОННОГО ЯДЕРНО-КВАДРУПОЛЬНОГО ТЕРМОМЕТРА ПЕРШОГО РОЗРЯДУ ЯКРТ-5М

© Леновенко Анатолій<sup>1</sup>, Стадник Богдан<sup>2</sup>, Столярчук Петро<sup>2</sup>, Паракуда Василь<sup>3</sup>, Ковальчук Надія<sup>1</sup>, 2013

<sup>1</sup>Львівський національний університет ім. І.Франка, Львів, Україна

<sup>2</sup>Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна

<sup>3</sup>ДП “Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних і управляючих систем”, Львів, Україна  
[nadiakoval1@gmail.com](mailto:nadiakoval1@gmail.com)

*На основі ядерно-квадрупольного термометра ЯКРТ-5М розроблено автоматизований вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки і атестації засобів вимірювання температури з високою точністю. Він дає змогу у 10 і більше разів підвищити продуктивність праці під час виконання метрологічних робіт.*

*На основе ядерно-квадрупольного термометра ЯКРТ-5М разработан автоматизированный измерительный комплекс для калибровки, проверки и аттестации средств измерения температуры с высокой точностью. Он позволяет в 10 и более раз поднять производительность труда при выполнении метрологических работ.*

*Based on the nuclear quadrupole thermometer YAKRT-5M developed automated measuring system for calibration, inspection and certification of temperature measurement with high accuracy. It allows you to more than 10 times to raise productivity when performing metrological work.*

**Вступ.** Науково-технічною основою забезпечення єдності вимірювань у державі, що сприяє покращенню науково-технічної та виробничої сфер економіки (особливо в машинобудуванні та приладобудуванні), є еталонна база. Значна кількість різних засобів вимірювальної техніки, що використовуються в усіх галузях економіки, потребує постійного вдосконалення технічної бази, зокрема еталонів, що належать до сфери діяльності Держспоживстандарту, Національного космічного агентства, МОН, Міноборони, НАН України.

Розвиток науки і техніки потребує постійного оновлення еталонної бази, сприяючи створенню принципово нових засобів, приладів, комплексів тощо.

Один із основних шляхів у галузі забезпечення єдності вимірювань температури ґрунтується на використанні похідних фіксованих точок інтерполяційних

термометрів. Він призвів до створення практичних температурних шкал. Засади дії таких термометрів ґрунтуються на використанні емпірично встановлених залежностей будь-яких властивостей термометричної субстанції від температури. У цьому випадку пропонуємо використати залежність частоти ядерного квадрупольного резонансу від температури, що реалізована у створеному еталонному засобі вимірювання температури.

**Мета роботи.** На основі останнього вперше в Україні та в Європі створено вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки та атестації засобів вимірювання температури на базі цифрового еталонного ядерно-квадрупольного термометра першого розряду ЯКРТ-5М.

**Експериментальна частина.** Вимірювальний комплекс (рис. 1) складається з таких засобів вимірювання, відтворення і регулювання температури:

- еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр першого розряду ЯКРТ-5М;
- пристрій з ампулою для відтворення реперної температурної потрійної точки води за МТШ-90;
- рідинні термостати та повітряні термокамери з тепловими фільтрами;
- ультракріостат для відтворення низьких температур у діапазоні від 93 К до 243 К.

**1. Еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр першого розряду ЯКРТ-5М** розробив колектив авторів, виготовило ТзОВ НВЦ "Метрологія" (м. Львів) і атестував ННЦ "Інститут метрології" (м. Харків). На сучасному етапі розвитку термометрії його вважають одним із найточніших і найстабільніших контактних термометричних засобів [1–4].

Принцип дії ґрунтується на використанні фізичного явища на квантовому рівні – ядерно-квадрупольному резонансі (ЯКР), частота якого за жорсткої

герметизації чутливого елемента з магнітним пермагнетитним екраном залежить тільки від температури і не залежить від інших зовнішніх факторів. Ця залежність є фізичною властивістю кристалічної ґратки речовини (сенсора) і для хімічно стійких матеріалів, в яких спостерігається ядерно-квадрупольний резонанс, характеризується високою стабільністю відтворення неперервної номінальної температурної характеристики протягом всього періоду експлуатації. Сенсор ЯКР-термометра, одноразово відградуваний, не потребує періодичних перевірок і калібрувань.

Ядерно-квадрупольний резонансний термометр ЯКРТ-5М не має аналогів в Україні та Європі. Прилад належить до нестандартного обладнання і призначений для застосування як еталонний засіб для калібрування, перевірки і атестації засобів вимірювання температури з високою точністю в метрологічних центрах та метрологічних службах підприємств. Термометр ЯКРТ-5М забезпечує відтворення одиниці температури з середньоквадратичним відхиленням ( $S$ ) 0,001К з неусуненою систематичною похибкою ( $\theta$ ) не вище за  $\pm 0,003К$ .



Рис. 1. Загальний вигляд вимірювального комплексу

**Умови експлуатації:**

- температура навколишнього середовища      від 15<sup>0</sup>С до 30<sup>0</sup>С;
- відносна вологість                                      – (60 ± 20)%;
- атмосферний тиск                                         – (750 ± 30) мм рт. ст.;

**Технічні характеристики:**

- діапазон вимірювання                                 – [77 ÷ 400] К.
- основна абсолютна похибка вимірювання    – ± 1 мК.
- роздільна здатність дисплею                      – 1 мК.

- |                              |           |
|------------------------------|-----------|
| – показник теплової інерції  | – 20 с.   |
| – діаметр чутливого елемента | – 16 мм.  |
| – довжина зонда сенсора      | – 330 мм. |

Прилад складається з виносного сенсора з детектором ядерного квадрупольного резонансу і блока аналого-цифрової обробки сигналів з цифровим дисплеєм та інтерфейсом зв'язку із зовнішнім комп'ютером. Управління процесом вимірювання, математичну обробку результатів виконує однокристальний мікроконтролер. Термометр оснащений внутрішнім частотоміром з термокомпенсованим і термостатованим опорним кварцовим генератором ГК-21ТК з номінальною частотою 10 МГц і стабільністю протягом року  $10^{-7}$ . У приладі також передбачена можливість роботи із зовнішнім опорним сигналом номіналом 10 МГц.

Прилад обладнаний пристроєм програмної розгортки за діапазоном температур. Передбачено також ручний режим встановлення необхідного діапазону вимірювань за допомогою пакетного перемикача, якщо автоматику не можна використати з певних причин. Зміна результату індикації під час вимірювання відбувається з періодом 5 с.

З метою автоматизації процесу вимірювання, покращення точності формування сигналів для керування зовнішніми пристроями і зв'язку з комп'ютером розроблений спеціалізований інтерфейс, вмонтований в ядерно-квадрупольний термометр. Завданням його є формування коду інформаційної частоти, що видає внутрішній частотомір ЯКР-термометра, і передавання сигналу в комп'ютер для статистичної та математичної обробки результатів вимірювань з індикацією на моніторі та архівування. Для передачі даних у комп'ютер використано USB інтерфейс. Для спрощення

написання програмної частини USB модуль мікроконтролера PSoC (Programmable System-On-Chip) сконфігуровано для реалізації стандартного класу комунікаційного пристрою (Communication Device Class – CDC), а саме віртуального COM-порта. Такий підхід дає змогу використовувати наявне програмне забезпечення комп'ютера для відображення даних, наприклад, стандартний Hyper Terminal і не вимагає написання спеціального драйвера для USB пристрою. Водночас зберігаються всі переваги передачі даних USB інтерфейсу, такі як висока швидкість і простота апаратної частини.

Програма-інтерфейс для ЯКРТ-5М складається з двох частин: власне програми та драйвера, який забезпечує зв'язок між ЯКР-термометром та операційною системою. Програма розрахована на роботу у середовищі Windows з використанням бібліотеки Net 2.0.

Після під'єднання ЯКР-термометра до комп'ютера прилад автоматично ідентифікується і починається передача даних. Всі вимірювання автоматично зберігаються у файлі Log.txt у папці програми. Однією з функцій програми є статистична обробка результатів протягом періоду вимірювання, що задав оператор. Результат усереднення та обчислене середньоквадратичне відхилення (СКВ) виводиться на дисплей (рис. 2).

Результати вимірювань зберігаються у файлі з даними усереднення за періодами. В кінці файла подається підсумкова інформація, яка автоматично запам'ятовується у файлі AutoSave.txt у папці програми.

## 2. Рідинний термостат серії УН4 (Німеччина).

### Технічні характеристики:

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| – діапазон термостатування       | – (213,15 ÷ 323,15) К;                                     |
| – градієнт температури по об'єму | – $\pm 0,01$ К (з мідним тепловим фільтром $\pm 0,001$ К). |

## 3. Повітряні термокамери Міні Сабзеро МС-71 (Японія).

### Технічні характеристики:

- |  |   |
|--|---|
| – діапазон термостатування             | – (193,15 ÷ 373,15) К;                          |
| – стабільність підтримання температури | – $\pm 0,5$ К;                                  |
| – температурний градієнт по об'єму –   | – $\pm 1$ К (з тепловим фільтром $\pm 0,01$ К); |
| – розмір внутрішньої камери            | – 40 x 40 x 40 см;                              |
| – місткість внутрішньої камери         | – 64 л;   |
| – обладнана програмним керуванням.     |   |

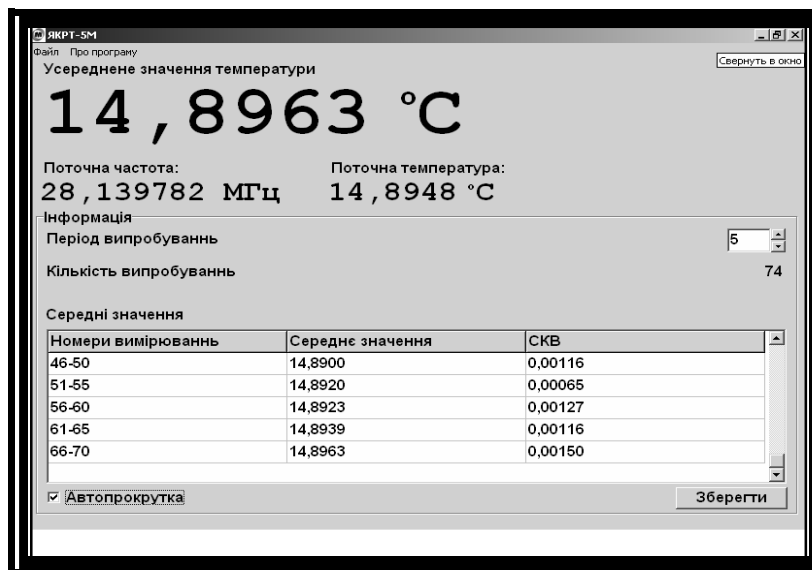


Рис. 2. Вигляд програми на дисплеї комп'ютера

#### 4. Ультракріостат для відтворення низьких температур (Тип № 180, Німеччина).

##### Технічні характеристики:

- діапазон відтворення температури:
  - у повітряному середовищі – від 93,15 К до 243,15 К;
  - у рідкому електроліті – від 123,15 К до 233,15 К  
(з дифторидхлорметаном (R12) як контактною рідиною);
- точність підтримання:
  - у повітряному середовищі –  $\pm 2$  К;
  - у рідкому електроліті –  $\pm 1$  К;
  - (у разі застосування теплового фільтра точність зростає на порядок);
- холодоагент – рідкий азот (точка кипіння 78,15 К);
- камера підтримання температури – скляна посудина Дьюара об'ємом 5 л.

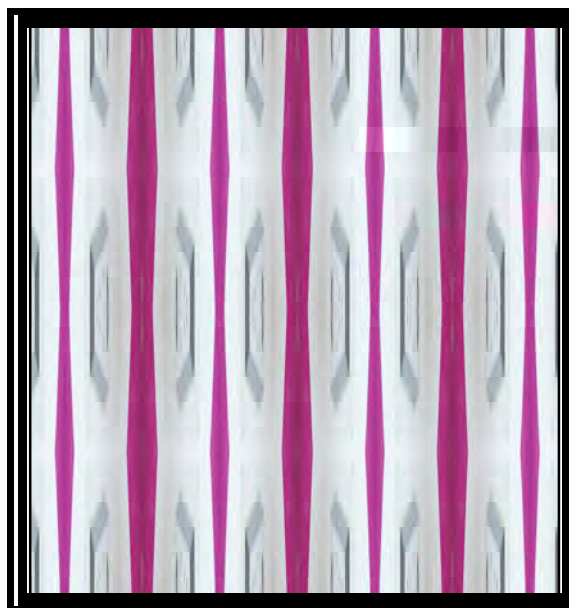


Рис. 3. Ультракріостат для відтворення низьких температур

**Висновки.** Створено автоматизований вимірювальний комплекс для калібрування, перевірки та атестації засобів вимірювання температури з високою точністю на базі ядерно-квадрупольного термометра ЯКРТ-5М, який дає змогу підвищити продуктивність праці під час виконання метрологічних робіт в десятки разів порівняно з традиційними, в яких застосовуються платинові термоперетворювачі та реперні температурні точки.

1. *NQR standard Thermometer (model 2571) // Catalog Yokogawa Electric Works. –1983.* 2. *Ohte A., Iwaoka Y. A Precision on Nuclear Quadrupole Resonance Thermometer // IEEE, Trans. on Instrum. and Measurem. –1976.–Vol. IM-26, № 14. –P. 357–362.* 3. *Еталонний ядерно-квадрупольний резонансний термометр ЯКРТ-5М. – [Електронний ресурс]: Інноваційне підприємство: Львів, Україна. – Режим доступу: <http://cstei.lviv.ua/ua/item/161>.* 4. *Леновко А.М. и др. Квадрупольный ядерный термометр: авт. свид. № 979896 (СССР). – Опубл. 07.12.82. – Бюл. № 45.*