

1. Есепкина Н. А., Корольков Д. В., Парийский Ю. Н. Радиотелескопы и радиометры. – М., 1972. – 415 с. 2. Ситько С. П., Скрипник Ю. А., Яненко А. Ф. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины. – К. 1999. 3. Яненко А. Ф. Микроволновая радиометрия – инструментальная основа физики живого и квантовой медицины // Физика живого. – Т. 7. – № 1. – 1999. – С. 12-18. 4. Манаев Е. И. Основы радиоэлектроники. – М. 1985. 5. Робинсон Ф. Н. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях. – М. 1980. 6. Троицкий В. С. К теории измерения слабых сигналов, имеющих сплошной спектр // ЖТФ. – Т. XXI, Вып. 8. – 1951. – С. 994-1003. 7. Скрипник Ю. О., Яненко О. П., Колісниченко М. В. Модуляційний радіометр. Заявка на винахід № 2000074129 від 12.07.2000 р. 8. Скрипник Ю. О., Яненко О. П., Перегудов С. М. Патент України № 27625 від 15.09.2000 р. Бюл. № 4.

УДК 536.532

А. І. Озгович, П. І. Скоропад, Я. Т. Луцик
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОДНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ГРАДУЮВАННЯ І ВЕРИФІКАЦІІ ЗАСОБІВ ТЕРМОМЕТРІЇ

© Озгович А.І., Скоропад П. І., Луцик Я.Т., 2001

Описано створений комплекс для досліджень електрофізичних властивостей електродних матеріалів та градуювання і верифікації засобів термометрії.

The created complex for researches of electrophysical properties of electrodes materials and also grading and verification of thermometric means is circumscribed.

Вступ. Відомо, що дослідження електрофізичних властивостей, зокрема термоелектричних – процес трудомісткий, отже, завдання їх автоматизації дуже актуальне. Сучасний розвиток техніки дозволяє використовувати ЕОМ при дослідженні специфічних характеристик матеріалів [1]. Вдалося автоматизувати вимірювання різноманітних функціональних залежностей термо-ЕРС. Автоматизація в кільканадцять разів підвищила швидкість досліджень, які можна проводити і в динамічному режимі [2, 3]. Висока швидкість вимірювання і обробки інформації дає можливість виконувати виміри з незначним температурним кроком, що майже на порядок підвищує достовірність одержуваних результатів [4].

Проведена авторами в цьому напрямку протягом кількох літ робота була продиктована необхідністю створення комп'ютеризованого комплексу для дослідження електрофізичних властивостей як нових термоелектродних матеріалів, так і для градуювання та верифікації стандартних засобів вимірювання температури, що було зумовлено відсутністю вітчизняних систем такого призначення.

Верифікація засобів вимірювання температури – трудомісткий процес, що вимагає великих часових, інтелектуальних та фізичних затрат. Як наслідок – така верифікація є суб'єктивною, малопродуктивною та ще й досить дорогою, що негативно впливає на метрологічний рівень існуючого парку засобів вимірювання температури.

Створений з метою усунення вищезгаданих недоліків універсальний комп'ютеризований комплекс, основні положення якого використані, при безпосередній участі авторів, в розробці [5], може застосовуватися в мережі метрологічних лабораторій системи Держстандарту України, науково-дослідних інститутах, спеціальних конструкторських бюро та на підприємствах, що займаються розробкою, виготовленням, експлуатацією і метрологічною атестацією засобів первинної термометрії.

Синтез структурної схеми та алгоритму функціонування комплексу. До складу комплексу, блок-схема якого наведена на рис. 1, входять: комп'ютер типу ІВМ-РС; зразкові засоби вимірювання температури, що перекривають діапазон 4.2...1800 К; установка УТТ6-ВМЦ, яка складається з вимірювальної схеми, засобу вимірювання напруги (наприклад, цифрового вольтметра типу Щ31 або ж іншого, клас точності якого не нижчий за 0.01), блока спряження з РС, блока керування печами, блока печей типу МТП-2М; парового ТП-5 та нульового ТН-12 термостатів; вимірювальної комірки; кріостата та надпровідного соленоїда. Зовнішні пристрої комплексу з'єднуються з комп'ютером через свої адаптери, при розробленні яких, зокрема, використовували подану в [6–8] інформацію.

Комп'ютер застосовується для керування комплексом, обробки результатів, їх перевірки та виведення на друкуючий пристрій чи запису на диск.

Вимірювальна схема служить для відповідного під'єднання до входів засобу вимірювання напруги досліджуваних об'єктів та встановлення вимірювального струму. Комутацією керує комп'ютер.

Засіб вимірювання напруги (цифровий) призначений для вимірювання електрорушійної сили термопар та спаду напруг на терморезисторах і перетворення значення вимірюваної величини в цифровий код.

Блок керування печами служить для підтримання в печах температури, яка задається з комп'ютера.

Печі призначені для реалізації та підтримання температури в діапазоні 300...1200 °С.

Термостати нульовий і паровий служать, відповідно, для відтворення температур топлення льоду (0 °С) та кипіння води.

Блок спряження з РС призначений для передачі в комп'ютер інформації про вимірювану величину з цифрового засобу вимірювання напруги, а також для передачі з комп'ютера сигналів керування вимірювальною схемою та блоком керування печами.

Зразкові засоби вимірювання температури служать для вимірювання температури досліджуваних об'єктів.

Вимірювальна комірка, основні засади роботи та характеристики якої наведено в [9], призначена для встановлення температурної залежності електричного опору, температурного коефіцієнта опору і термо-ЕРС досліджуваних зразків в діапазоні 4.2...1200 К у функції впливу експлуатаційних чинників.

Кріостат служить для визначення температурної залежності електричного опору, температурного коефіцієнта опору і термо-ЕРС досліджуваних зразків в діапазоні 4.2...300 К.

У надпровідному соленоїді, навій якого виконано з Nb_3Sn , проводять дослідження (в полях ≤ 7 Тл) температурних залежностей електричного опору, температурного коефіцієнта опору і термо-ЕРС зразків в діапазоні 4.2...18.1 К, використовуючи магнетометр, перетворювач якого виконано на осерді з металевого аморфного стопу $(Co_{93}Fe_7)_{75}Si_{15}B_{10}$ [10].

Функціонування комплексу розглянемо за блок-схемою, що наведена на рис.1.

Об'єкти, термоелектричні характеристики яких треба перевірити чи дослідити, розміщуються в одному із зовнішніх пристроїв, наприклад, в печах. Злоти порівняння термопар занурюються в резервуари з льодо-водяною сумішшю, які знаходяться біля печей. Якщо ж злоти порівняння знаходяться при кімнатній температурі, то в програмі обробки результатів вимірювання вводять для компенсації значення температури навколишнього середовища програмним способом.

Зразковий засіб вимірювання температури розміщується в печі разом з досліджуваними об'єктами. З комп'ютера через блок керування печами задається температура, при якій проходитиме перевірка чи дослідження.

Печі вмикаються на нагрів. Комп'ютер очікує, коли піч вийде на задану температуру. Оскільки блок керування печами служить лише для підтримування на певному рівні температури в печі, то температура, при якій досліджуються об'єкти, вимірюється зразковим засобом. Всі об'єкти по черзі, під керуванням комп'ютера, під'єднуються через вимірювальну схему до цифрового вольтметра. Виміряні електрорушійна сила та температура вводяться в комп'ютер. Така інформація знімається для кожного об'єкта досліджень.

Термоперетворювачі опору чи досліджувані зразки також розміщуються в одному із зовнішніх пристроїв, наприклад, в надпровідному соленоїді. З комп'ютера через вимірювальну схему задається вимірювальний струм. Оскільки струм задається не точно, то для вимірювання та прецизійного встановлення вимірювального струму використовуються зразкові навої опору з номінальним опором 10, 100, 1000 Ом.

Зразкові навої опору розміщені у вимірювальній схемі. Вони ввімкнені послідовно з терморезисторами, характеристики яких досліджують. Під керуванням сигналів комп'ютера в коло вмикається навій з номінальним опором, значення якого має той самий порядок, що й опір терморезисторів.

Спад напруги на терморезисторах і навоях опору через вимірювальну схему та цифровий вольтметр вводять в комп'ютер.

Температура в паровому термостаті залежить від атмосферного тиску. Цю температуру можна вимірювати зразковим засобом або вводити в програму обробки результатів значення атмосферного тиску.

Комп'ютер обробляє та порівнює виміряні значення з номінальними статичними характеристиками і видає інформацію про придатність для використання термоперетворювача (чи про шукані параметри досліджуваного зразка), характеристики якого визначалися.

Адаптер зразкового засобу вимірювання температури. Адаптер зразкового засобу вимірювання температури складається з дешифратора адреси, адресних перемикачів, схеми керування буфера шини даних та порту вводу-виводу.

Дешифратор адреси служить для задання адреси портів вводу-виводу зразкового термометра в адресному просторі комп'ютера. Дешифратор адреси стежить за шиною адреси комп'ютера і видає сигнал, коли на шині адреси з'являється адреса порту вводу-виводу зразкового термометра.

Адреса порту вводу-виводу задається за допомогою адресних перемикачів, які встановлені на платі. Адреса порту вводу-виводу вибирається в будь-якому вільному місці адресного простору комп'ютера.

Буфер шини даних служить для встановлення напрямку передачі даних з комп'ютера до порту вводу-виводу чи навпаки і підтримання на шині даних комп'ютера третього стану.

Схема керування служить для видачі сигналів запису та читання в порт вводу-виводу, сигналів керування третім станом та напрямом передачі інформації через буфер шини даних.

Порт вводу-виводу служить для фіксації сигналів керування зразковим термометром та введення результатів вимірювання з нього в комп'ютер.

Адаптер установки УТТ6-ВМЦ. Адаптер установки УТТ6-ВМЦ складається з дешифратора адреси, схеми керування та буфера шини даних.

З дешифратора адреси до установки передається сигнал дешифрації старших розрядів шини адреси та чотири молодші перешифровані розряди шини адреси. Ці розряди дешифруються в установці і служать для вибору одного з портів, які займає установка в адресному просторі комп'ютера.

Буфер шини даних служить для встановлення напряму передачі даних – з комп'ютера до установки чи навпаки.

Схема керування видає сигнали запису та читання, системного скиду до установки, залежно від сигналів, які присутні в даний момент на шині керування комп'ютера. Також схема керування видає сигнали керування буфером шини даних, які задають напрям передачі даних та керують третім станом.

Блок спряження з комп'ютером. Блок взаємодії з комп'ютером складається з таких основних вузлів: дешифратора адреси, схеми керування, буфера шини даних, порту вводу-виводу і блока живлення.

Дешифратор адреси призначений для дешифрації чотирьох молодших розрядів шини адреси і видачі сигналів вибору портів вводу-виводу цифрового вольтметра, вимірювального блока та блока керування печами.

Схема керування призначена для формування сигналів запису та читання портів вводу-виводу, сигналів керування третім станом та напрямом передачі інформації через буфер шини даних, сигналів керування дешифратором адреси, переведення системи з ручного управління в автоматичне.

Порт вводу-виводу служить для фіксації сигналів керування вольтметром та зчитування результатів вимірювання вольтметра, а також для запису сигналу автоматичного управління системою.

Блок живлення видає три напруги: +5В, - 15В, +15В. Напруга +5В служить для живлення цифрових частин блока взаємодії з комп'ютером, вимірювального блока та блока керування печами.

Напруги - 15В та +15В служать для живлення аналогових частин вимірювального блока та блока керування печами. Напруга +15В служить також для живлення

електромагнітних реле, які використовуються для комутації аналогових сигналів у вимірювальному блоці та блоці керування печами.

Вимірювальна схема. Вимірювальна схема складається із: стандартної схеми установки УТТ6-ВМЦ, порту вводу-виводу, цифрового перетворювача, джерела струму, що керується напругою, дешифраторів та комутаторів.

У порт вводу-виводу записуються: код, який задає вимірювальний струм; код, який керує під'єднанням до входів цифрового вольтметра одного з досліджуваних об'єктів; код, який керує ввімкненням у вимірювальне коло одного зі зразкових навоїв опору.

Цифроаналоговий перетворювач служить для перетворення коду, який записаний в порт вводу-виводу, в напругу, яка керує роботою джерела струму.

Джерело струму генерує струм, що протікає у вимірювальному колі, тобто через зразковий навій опору та терморезистори, які досліджуються.

Комутатор служить для під'єднання до входів цифрового вольтметра одного з 10 терморезисторів, однієї з 16 термопар та відповідного зразкового навою опору.

Дешифратор служить для перетворення кодів, які записані в порт вводу-виводу в сигнали керування комутатором.

Працює схема так: з комп'ютера через порт виводиться код, який задає струм у вимірювальному колі; з комп'ютера через порт виводиться код, який вмикає у вимірювальне коло один зі зразкових навоїв опору.

З комп'ютера через порт виводиться код, який підключає до входів вольтметра зразковий навій опору, що його ввімкнено у вимірювальне коло. При цьому в комп'ютер вводиться значення спаду напруги на зразковому навої та обчислюється вимірювальний струм. Далі з комп'ютера через порт виводиться код, який керує процесом під'єднання до входів цифрового вольтметра одного з термоперетворювачів, характеристики яких перевіряються. Після цього в комп'ютер вводиться виміряне значення спаду напруги на термоперетворювачі.

Так продовжується доти, доки в комп'ютер не буде введено значення спаду напруг на всіх термоперетворювачах, які під'єднані до системи.

Блок керування печами. До складу блока керування печами входять: порт вводу-виводу; два цифроаналогові перетворювачі; два масштабуючі підсилювачі; комутатори для ввімкнення печей; компаратори.

З комп'ютера через порт виводиться код, який керує процесом встановлення значення температури в печі. Цей код перетворюється в напругу цифроаналоговим перетворювачем. Діапазон зміни напруги обмежується масштабуючим підсилювачем. Вихідна напруга підсилювача порівнюється компаратором з напругою термопари, яка розміщена в печі. Якщо напруга термопари є меншою від напруги на виході підсилювача, то піч нагрівається, якщо більше – то піч охолоджується. Інформація про нагрів чи охолодження печі вводиться в комп'ютер.

Програмне забезпечення. Програма написана мовою Сі, оскільки при розробці ставилась мета якомога більше спростити управління комплексом та підвищити наочність виводу результатів роботи.

Панель управління комплексом нагадує органи управління установкою УТТ6-ВМЦ в ручному режимі вимірювання.

Зміна положення “Кнопки”, “Перемикачів” та “Регуляторів” на екрані комп'ютера реалізується за допомогою “миші”.

Результати перевірки досліджуваних об'єктів зображаються у вигляді графіків, формуються в таблиці. Це полегшує сприйняття та аналіз результатів перевірки.

Після закінчення перевірки на друкувальній пристрій виводяться сертифікати для кожного термоперетворювача, який перевірявся. У сертифікаті вказується тип перетворювача, відповідність його характеристик технічним умовам на даний тип перетворювачів, наводиться реальна статична характеристика перетворення. Також вказується дата, коли проводилась перевірка, прізвище оператора, який проводив перевірку, та дата наступної перевірки.

Результати роботи також виводяться у файли і зберігаються на диску комп'ютера.

Оцінка похибок вимірювання термо-ЕРС. На відміну від електроопору, похибка вимірювання якого, у випадку застосування чотирипровідної схеми, знаходиться на рівні похибки потенціометричного методу, вимірюванню термо-ЕРС притаманні специфічні похибки, що не пов'язані з похибками вимірювальних приладів. Вони, звичайно, становлять основну частку похибки при вимірюванні термо-ЕРС.

Оскільки інтегральний метод вимірювання термо-ЕРС і в метрологічному відношенні простіший, то розглянемо диференціальний, який, окрім своїх специфічних, також не позбавлений джерел похибок, що має інтегральний метод.

Сутність диференціального методу, як відомо, полягає у вимірюванні термо-ЕРС, що виникає в зразку між точками з різними температурами T_1 та T_2 . Температури вимірюються двома термодарами, а ЕРС E , що виникає в зразку, вимірюється в колі: вітка термодари 1, зразок, однойменна вітка термодари 2.

Тоді E може бути подана такою залежністю:

$$\Delta E = \oint \vec{E} dl = \oint S \nabla T dl = \oint S dT = \int_{T_1}^{T_2} (S_x - S_A) dT + \left\{ \left[\int_{T_0}^{T_1} S_A dT \right]_1 - \left[\int_{T_0}^{T_1} S_A dT \right]_2 \right\} + \int_{T_0}^{T_1} S_n dT + \int_{T_0}^{T_2} S_n dT, \quad (1)$$

де S_x – абсолютна термо-ЕРС досліджуваного зразка; S_A – абсолютна термо-ЕРС вітки термодари; S_n – абсолютна термо-ЕРС подовжувальних дротів. Вираз, що міститься у фігурних дужках залежності (1), являє собою специфічну для вимірювання термо-ЕРС складову похибки, спричинену неоднорідністю електродів термодар. Для ідеальних термоелектродів ця складова дорівнює нулеві, проте реальні термодари завжди мають до певної міри неоднорідні термоелектроди, що може викликати істотну похибку у процесі вимірювання термо-ЕРС, особливо при високих температурах.

Із залежності (1) також випливає, що вимірний сигнал відповідає не термо-ЕРС зразка, а різниці $(S_x - S_A)$, яка ще має назву відносної термо-ЕРС зразка. Якщо ж термоелектроди абсолютно однорідні, то вираз (1) набуває вигляду:

$$E = \int_{T_1}^{T_2} (S_x - S_A) dT \quad (2)$$

На практиці застосовують наближений вираз:

$$E \approx (T_2 - T_1) [S_x(T_{сер}) - S_A(T_{сер})], \quad (3)$$

де $T_{сер} = (T_1 + T_2)/2$.

Отже, при вимірюванні термо-ЕРС диференційним методом в однорідному ізотропному матеріалі можна виділити такі типи похибок:

1. Похибки, спричинені застосуванням в практиці наближеного виразу (3) замість точного (2).

2. Похибки, спричинені термоелектричною негомогенністю термоелектродів.

3. Похибки вимірювання температур T_1 та T_2 .

Проаналізувавши ці три типи похибок, отримуємо вимоги до експериментальної методики, що дають змогу мінімізувати похибки, а також отримуємо граничні умови, в яких дана методика забезпечує допустиму похибку.

З метою визначення похибок I типу розкладемо підінтегральну функцію з (2) в ряд Тейлора в околах T_{cep} :

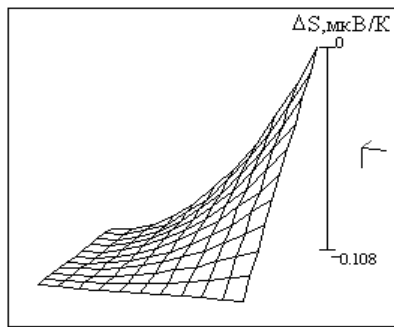
$$S_{xT}(T) = S_{xT}(T_{cep}) + \left. \frac{dS_{xT}}{dT} \right|_{T=T_{cep}} (T - T_{cep}) + \frac{1}{2} \left. \frac{d^2S_{xT}}{dT^2} \right|_{T=T_{cep}} (T - T_{cep})^2 + \dots \quad (4)$$

Обмежуючись лише членами другого порядку, підставляючи (4) у (2) та обчислюючи інтеграл, одержимо:

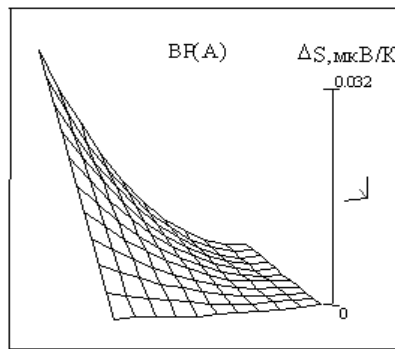
$$E = S_{xT}(T_{cep})(T_2 - T_1) + \frac{1}{3} \left. \frac{d^2S_{xT}}{dT^2} \right|_{T=T_{cep}} \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right)^3 \quad (5)$$

Якщо S_{xT} – лінійна функція температури ($d^2S_{xT}/dT^2 = 0$), то використання залежності (3) похибки не вносить. Проте, якщо $d^2S_{xT}/dT^2 \neq 0$, то матиме місце похибка, що її значення знаходимо з виразу:

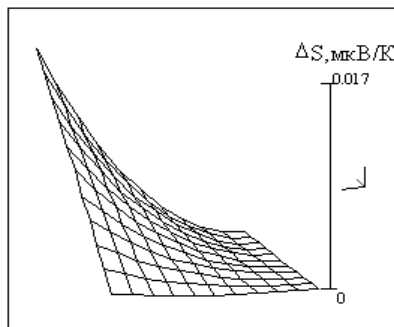
$$\Delta S = \frac{1}{6} \left. \frac{d^2S_{xT}}{dT^2} \right|_{T=T_{cep}} \left(\frac{T_2 - T_1}{2} \right)^2 \quad (6)$$



M1



M3



M2

Рис.2. Поле розподілу похибки вимірювання термо-ЕРС ΔS у функції кривизни залежностей $S(T)$ та ΔT для термопар: мідь-константан (Т) – M1 (у цьому випадку $\Delta T = 0 \dots 10$ К); ПП(S) – M2 та ВР(A) – M3

Оцінка похибки вимірювання термо-ЕРС згідно з (6) у всьому діапазоні значень кривизни залежностей $S(T)$ найбільш характеристичних в цьому відношенні термопар (мідь-константан (Т); ПП(S); ВР(A)) при $\Delta T = 0 \dots 100$ К показала (рис. 2), що значення ΔS у найкритичніших точках не перевищує 0.3%.

Проаналізуємо похибки II типу, що спричинені термоелектричною неоднорідністю електродів. Так, якщо термоелектроди, якими вимірюється термо-ЕРС, не зовсім ідентичні, то (3) набуде вигляду:

$$E = (T_2 - T_1)(S_x - S_A) + \Delta E, \quad (7)$$

де ΔE визначається так:

$$\Delta E = \left[\int_{T_0}^{T_1} S_A dT \right]_1 - \left[\int_{T_0}^{T_1} S'_A dT \right]_2. \quad (8)$$

З аналізу залежності (7) випливає, що похибку вимірювання термо-ЕРС, викликану термоелектричною неоднорідністю, знаходимо з виразу:

$$\Delta S = \pm \frac{\Delta E}{T_2 - T_1}. \quad (9)$$

Як видно із залежності (9), ця похибка обернено пропорційна до різниці температур на зразку, а тому, щоб звести її до мінімального значення, слід проводити вимірювання при значних перепадах температури. При цьому не слід забувати, що ΔE також є функцією температури. В першому наближенні можна вважати, що ΔE лінійно зростає з температурою. Отже, для того, щоб похибка була сталою у всьому інтервалі температур, треба, щоб перепад температур також зростав з ростом температури.

Вимоги до перепаду температур, що випливають із залежностей (6) та (9), прямо протилежні. Проте, оскільки похибка другого типу значно більша, то і перепад температур має бути якомога більшим.

Що стосується похибок III типу, то тут на перше місце виходить похибка визначення різниці температур, а точність знаходження абсолютних значень температури не має істотного значення. Тому похибки визначення перепаду температур, що пов'язані, з одного боку, з неідентичністю термопар, а з іншого – з особливостями реалізації процесу вимірювання, переважно, не перевищують 0.1%.

Слід також мати на увазі, що у випадку застосування запам'ятовуючої конденсаторної комірки [9] та при відповідному виборі її параметрів похибка вимірювання ЕРС не перевищує 0.5%.

Технічні характеристики комплексу. Комплекс, загальний вигляд якого наведено на світлинці (рис. 3), забезпечує:

- 1) дослідження температурної залежності електричного опору R , температурного коефіцієнта електроопору α та термо-ЕРС S матеріалів у діапазоні 4.2...1473 К;
- 2) дослідження температурної залежності електричного опору R , температурного коефіцієнта електроопору α та термо-ЕРС S матеріалів у діапазоні 4.2...18.1 К у функції впливу магнетного поля (до 7 Тл);
- 3) перевірку і градування термоперетворювачів в реперних точках діапазону 4.2...300 К, а також методом порівняння в діапазоні 573...1473 К з використанням зразкового засобу вимірювання температури;
- 4) вимірювання ЕРС з використанням засобу вимірювання напруги класу точності не нижче 0.01;
- 5) стабільність підтримування значень температурних точок криогенного діапазону, не гірше ніж:

- 0.05 % на рівні 4 К,
- 0.0025 % на рівні 300 К;

б) середньоквадратичне відхилення відтворення температури реперних точок топлення льоду та кипіння води, що не перевищує 0.03 К;

7) середню швидкість зміни температури в автоматичному режимі в діапазоні 573...1473 К, яка не перевищує 0.01 К/хв;

8) нерівномірність температурного поля в печі, що не перевищує 0.8 К/см на ділянці завдовжки не менше ніж 50 мм;

9) час встановлення робочих температур ≤ 1.0 год;



Рис. 3. Комп'ютеризований комплекс для дослідження електрофізичних властивостей матеріалів та градування і верифікації засобів вимірювання температури

10) збіжність результатів при верифікації перетворювачів методом порівняння при температурах до 1473 К, що не перевищує $\pm 0.3[0.01 + 2.5 \cdot 10^{-5}(t - 300)]$ мВ, де t – робоча температура ($^{\circ}\text{C}$);

11) відносну похибку вимірювань, яка не перевищує значення:

- 0.5 % в діапазоні 4.2...300 К,
- 0.05 % в діапазоні 300...1473 К

12) комплекс призначено для експлуатації у приміщенні за відсутності будь-яких вібрацій при температурі навколишнього повітря 15...30 $^{\circ}\text{C}$, атмосферному тиску 630...800 мм рт. ст. та відносній вологості не більше за 80%.

Проведений аналітичний огляд показує, що даний комплекс, за рядом головних показників, зокрема метрологічних, не поступається кращим серійним зразкам аналогічного призначення [11, 12, 13,14].

1. Bonnet A., Said P., Canan A. Measure assiste par miniordinateur du δ u vou thermoelectrique de petits echantillos // Rev. Phys. Appl. - 1982. - Vol. 17, 119. - P. 701 - 706. 2. Jackowska-Strumillo L. Computerised system for RTD dynamics identification // Proc. International Sem. on: Low Temperature Thermometry and Dynamic Temperature Measurement. - WROCLAW-LONDEK ZDROJ (Poland). - 1997. - D-25 - D-30. 3. Eckersdorf K., Kucharski J., Michalski L., Sankowski D., Urbanek P. Nowa metoda identyfikacji "in situ" dynamiki czujnikow

termometrycznych // Prace naukowe. Konferencje z.4. VIII Krajowa Konferencja Metrologii. Tom I. – Warszawa (Poland). – 1995. – P.205 - P.209. 4. I. Sonnenschmidt D., Vanselow K.H. Measurement of water flow and ambient media by analysis of short temperature steps // Proc. International Sem. on: Low Temperature Thermometry and Dynamic Temperature Measurement. - WROCLAW-LONDEK ZDROJ (Poland). – 1997. – V-1 - V-6. 5. Дослідження нетрадиційних методів та створення засобів вимірювання фізичних величин: Звіт з НДР (заверш.) / Державний університет “Львівська політехніка” – ДБ / 11 ABC; № ДР 0196U000677. - Львів, 1997. – 99 с. 6. Lin Jun. Connect ADC to PC's I/o port, ED. – 1990. - 19. – P.109-110. 7. Справочник программиста и пользователя / Под. ред. А.Г. Шевчика, Т.В. Демьянкова. – М.: Кварта, 1993. – 128 с. 8. Федорков Б.Г., Телец В.А. Микросхеми ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. – М., 1990. – 320 с. 9. Стаднык Б.И., Куритнык И.П., Гамула П.Р., Скоропад Ф.И. Установка для определения коэффициента термо-э.д.с. тонкопленочных образцов // Контрольно-измерительная техника. – Львов. – 1987. - Вып.42. – С. 57-60. 10. Скоропад П.И. Перетворювач магнітометра на осерді з металічного аморфного сплаву // Вісник ДУ “Львівська політехніка”. – Львів. 1988. №324. С. 135 – 138. 11. Gorodilov B. Ya., Krivchikov A.I., Pirogov A.S., Korolyuk O.A. Automated system to calibrate resistance thermometers // Proc. International Sem. on: Low Temperature Thermometry and Dynamic Temperature Measurement. - WROCLAW-LONDEK ZDROJ (Poland). – 1997. – L-80 - L-82. 12. Проспект обладнання для наукових досліджень фірми “Oxford Instruments”. - OI 173 10/96. 13. Sankowski D., Kucharski J., Jackowska-Strumillo L. Szagura P. Przenosny układ pomiarowo-badawczy dla potrzeb diagnozowania urzadzen elektrotermicznych // Prace naukowe. Konferencje z.4. VIII Krajowa Konferencja Metrologii. Tom I. – Warszawa (Poland). – 1995. – P.115 - P.120. 14. Проспект обладнання для наукових досліджень фірми “Quantum Design”. - ACTSPEC7. DOC. - 12/5/96. – San Diego, CA 92121 – 1311 USA.

УДК 531.7.08

В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, В.О. Поджаренко
Вінницький державний технічний університет,
кафедра метрології та промислової автоматики

ОЦІНКА СТАТИЧНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОСЕРЕДКОВАНИХ ВИМІРЮВАНЬ

© Кухарчук В.В., Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О., 2001

Розглянуті питання оцінки статичних метрологічних характеристик опосередкованих вимірювань. Запропоновано як математичний апарат для дослідження статичних метрологічних характеристик використовувати розкладання функції в ряд Тейлора. Такий підхід дозволив одержати такі характеристики, як номінальна функція перетворення; абсолютна і відносна похибки нелінійності номінальної функції перетворення; мультиплікативна й адитивна похибки вимірювального перетворення. На основі запропонованого підходу проаналізовано метрологічні характеристики засобу вимірювання моменту інерції ротора електричної машини.