

**А. В. Заболотний**, к.т.н.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

*Исследован способ измерения влагосодержания, который позволяет осуществить эффективную компенсацию «сортовой неопределенности». При этом первичный преобразователь сформирован из четырех измерительных конденсаторов, предназначенных для погружения в исследуемый материал или для заполнения этим материалом. Два из четырех конденсаторов заполняют пробой исследуемого вещества или погружают в нее, оставшиеся два – заполняют пробой такого же материала, но предварительно обезвоженного.*

**Ключевые слова:** *влагосодержание, диэлькометрический влагомер, диэлектрическая проницаемость, «сортовая неопределенность», первичный преобразователь.*

**O. V. Zabolotnyi**, PhD

### EXPERIMENTAL STUDY OF PROMISING METHOD OF MOISTURE CONTENT MEASUREMENT IN BULK MATERIALS

*Method of moisture content measurement, that allows to provide effective «type uncertainty» compensation, had been researched. Primary transducer consists of four measuring capacitors, that are intended to be filled with a sample of bulk material or submerged in it. Two of the measuring capacitors should be loaded with a sample of examined material or submerged in it, rest of the capacitors – filled with the same sample, but preliminary dehydrated.*

**Keywords:** *moisture value, dielectric moisture meter, dielectric permittivity, «type uncertainty», initial measuring transducer.*

УДК 621.317.1

**О. М. Величко**, д.т.н., **В. В. Ісасв**

*Державне підприємство «Всеукраїнський державний науково-виробничий центр стандартизації, метрології, сертифікації та захисту прав споживачів», м. Київ*

### ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕЯКИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАЛІБРУВАННІ ПРЕЦИЗІЙНИХ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

*У статті досліджено метод калібрування прецизійних термоелектричних перетворювачів з наявністю в конструкції терморпар на предмет впливу швидкості змінення вихідної термо-ЕРС та варіативності часових інтервалів операції за один цикл вимірювання похибки компарування напруги. Особливістю методу є наявність серед застосованих засобів вимірювання прецизійних компараторів постійної напруги з механічними засобами регулювання внутрішньої міри, що призводить до варіювання часових інтервалів від циклу до циклу. Також неоднаковість необхідного часу виникає через необхідність регулювання вхідного сигналу оператором і занесення показів у протокол.*

**Ключові слова:** *державний еталон, електрична напруга, прецизійний термоперетворювач, дрейф, невизначеність вимірювання.*

#### Вступ

В Україні на сьогоднішній день функціонує Державний первинний еталон одиниці електричної змінної напруги від 0,1 до 1000 В в діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (далі – Державний еталон), який було розроблено і впроваджено в експлуатацію в 2002 році фахівцями ДП «Укрметрестандарт» в Києві.

Цей Державний еталон є складним комплексом засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ): високостабільних джерел змінної та постійної напруги, прецизійних вимірювачів постійної напруги, термоелектричного компаратору напруги тощо. Кожен із зазначених ЗВТ так чи інакше впливає на загальну невизначеність вимірювань (далі – НВ) при відтворенні чи передаванні ін-

шим ЗВТ одиниці електричної змінної напруги. Відповідно до Національного стандарту ДСТУ 3231 [1] кожен державний еталон повинен проходити періодичну атестацію згідно з методикою атестації, розробленою та затвердженою організацією-зберігачем.

Чинна методика атестації Державного еталону [2] бере до уваги, зокрема, НВ від короткочасного зміщення вихідного сигналу прецизійного термокомпаратору типу 792А, виробництва фірми Fluke Corporation, що входить до складу цього еталону. Проте, дрейф вихідної термо-ЕРС прецизійного термоперетворювача, котрому передається розмір зазначеної вище одиниці під час калібрування, враховується лише частково. Відповідно до усталеної практики, з метою врахування зміщення вихідного сигналу термоелектричного перетворювача, що підлягає калібруванню, проводиться спостереження цього сигналу на початку й наприкінці циклу вимірювання похибки компарування [3], після чого отримується усереднене значення.

Такий підхід враховує дрейф вихідної термо-ЕРС прецизійного термоперетворювача, але не виключає додаткову похибку внаслідок цього явища з результату вимірювання.

#### Постановка завдання

Для кращого розуміння процесу визначення похибки компарування під час калібрування прецизійного термоелектричного перетворювача напруг слід розглянути конфігурацію комплексу ЗВТ на структурній схемі (див. рис. 1).

На схемі видно, що на входи опорного термокомпаратору Fluke 792А й досліджуваного термоперетворювача (в залежності від положення перемикача) подається постійна або змінна напруга від одного з джерел, котрі повинні мати малі значення пульсацій та короткотермінового дрейфу. Вихідні сигнали опорного термокомпаратору та досліджуваного термоперетворювача вимірюються компараторами постійної напруги Р3017.

Прецизійний мультиметр Agilent 3458А необхідний для високоточного вимірювання напруги на входах еталонного й досліджуваного ЗВТ. При цьому, значення напруги змінного струму визначається опосередковано за показами прецизійного мультиметру під час вимірювання постійної напруги та поправкою опорного термокомпаратору для заданої частоти змінного струму. Поправки опорного термокомпаратору залежать від частоти й діючого значення вхідної напруги.

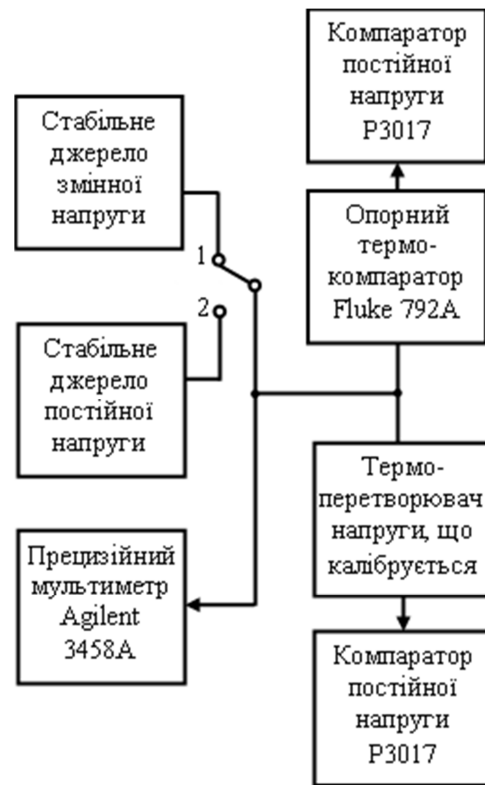


Рисунок 1 – Структурна схема калібрування прецизійного термоперетворювача

Похибка компарування термоелектричного перетворювача є відносною різницею між величинами вхідної змінної напруги і вхідної постійної напруги та визначається за наступним виразом [4]

$$\delta_{\text{тпн}} = \frac{U_{AC} - U_{DC}}{U_{DC}}, \quad (1)$$

де  $U_{AC}$  – значення змінної напруги на вході термоперетворювача;

$U_{DC}$  – значення постійної напруги на вході термоперетворювача, при чому його вихідна термо-ЕРС в цей час повинна дорівнювати отриманому значенню цієї величини при вимірюванні змінної напруги.

Зміщення вихідного сигналу опорного прецизійного термокомпаратору протягом одного циклу вимірювання похибки компарування багаторазово досліджувалося під час атестації Державного еталону та має незначну величину [5], якою допустимо знехтувати, в порівнянні з дрейфом досліджуваного при калібруванні термоперетворювача. З метою компенсування впливу зазначеного фактору на процес визначення похибки компарування використовується техніка подання напруги різного роду на вхід прецизійного термоперетворювача у послідовності: змінна

напруга – позитивна постійна напруга – негативна постійна напруга – змінна напруга. При цьому можливо побудувати лінію регресії та оцінити вплив дрейфу термоперетворювача, а також відхилення значень часових інтервалів, необхідних для виконання операцій калібрування, від ідеальної рівності на остаточний результат вимірювання.

**Деякі аспекти методу калібрування прецизійного термоперетворювача**

Термоелектричні перетворювачі побудовані на основі однієї чи серії термопар у першому наближенні мають квадратичну залежність вихідної термо-ЕРС від вхідного сигналу [6]. Для малих змін вхідного сигналу термоперетворювача із квадратичною залежністю допустимо застосувати математичний апарат з метою лінеаризації характеристики. Оскільки прецизійні термоперетворювачі мають типові похибки компарування напруги в діапазоні від 1 до 300 мкВ/В, допустимо знехтувати відхиленням характеристики такого ЗВТ від прямої лінії. Це припущення легко перевірити, побудувавши графік залежності вихідної термо-ЕРС від напруги на вході термоперетворювача з функцією перетворення

$$E_{\text{ТПН}} = k \cdot U^2, \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт перетворення прецизійного термоперетворювача.

Величина вихідної термо-ЕРС сучасних термоперетворювачів становить одиниці мілівольт або десятки мілівольт. Змінюючи вхідну напругу такого ЗВТ можна дослідити відповідну зміну вихідного сигналу. Якщо коефіцієнт перетворення дорівнюватиме 0,002, а номінальна напруга становитиме 3 В, тоді при змінюванні вхідного сигналу від номінального значення на 0,8 %, можна отримати відповідне змінення вихідної термо-ЕРС (див. табл. 1).

Отриману в табличному вигляді функцію передачі для наочності варто представити у графічному вигляді на рисунку 2.

Отримана функція передачі прецизійного термоперетворювача не відрізняється від прямої лінії при змінюванні вхідного сигналу на 0,8 % від номінального значення. Це означає, що вимірювання значення вхідної постійної напруги та відповідного вихідного сигналу опорного термокомпаратору на початку циклу дозволяє розрахувати значення вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача за подання вхідної змінної напруги для випадку нульового відхилення значення похибки компарування від значення похибки компарування еталону за умо-

ви рівності значень вихідних сигналів термокомпаратору протягом калібрування.

Таблиця 1 – Залежність вихідної термо-ЕРС ідеального термоелектричного перетворювача від вхідної напруги

№ спостереження	Вхідна напруга, В	Вихідна термо-ЕРС, мВ
1	3,0000	18,0000
2	3,0003	18,0036
3	3,0006	18,0072
4	3,0009	18,0108
5	3,0012	18,0144
6	3,0015	18,0180
7	3,0018	18,0216
8	3,0021	18,0252
9	3,0024	18,0288

Знаючи значення вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача для випадку нульової похибки компарування і значення самої похибки можна розрахувати значення цього вихідного сигналу для випадку ненульової похибки.

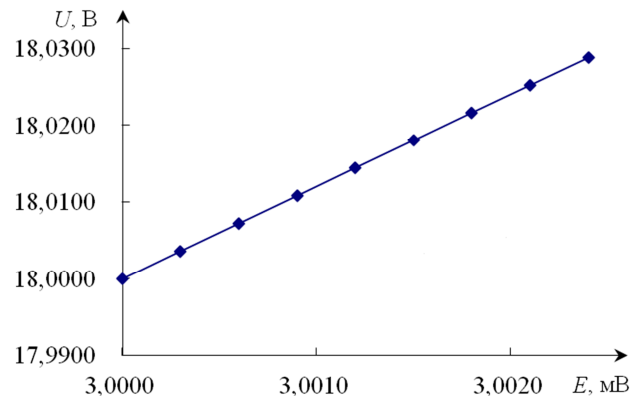


Рисунок 2 – Графік залежності вихідної термо-ЕРС термоперетворювача від вхідної напруги

Наступним кроком дослідження методу калібрування зазначеного ЗВТ слід встановити ступінь впливу його дрейфу, а також співвідношення між інтервалами часу на результат вимірювання похибки компарування. З цією метою варто проаналізувати вхідні та відповідні вихідні значення величин у ідеальному випадку за відсутності цього явища й за його наявності. Результати аналізу для випадку неоднакових часових інтервалів представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Співвідношення вхідних та вихідних величин за наявності й відсутності дрейфу вихідної термо-ЕРС при неоднакових часових інтервалах

№ етапу	Значення для величини у ідеальному випадку		Значення для величини у реальному випадку	
	На вході, В	На виході, мВ	На вході, В	На виході, мВ
1	3,00000	18,0000	3,00000	18,0000
2	2,99969	18,0000	2,99938	17,9926
3	2,99971	18,0000	2,99886	17,9863
4	3,00000	18,0000	2,99874	17,9849
$\delta_{ТПН}$	100,01 мкВ/В		83,36 мкВ/В	

Результати аналізу для випадку однакових часових інтервалів представлено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Співвідношення вхідних та вихідних величин за наявності й відсутності дрейфу вихідної термо-ЕРС при рівних часових інтервалах

№ етапу	Значення для величини у ідеальному випадку		Значення для величини у реальному випадку	
	На вході, В	На виході, мВ	На вході, В	На виході, мВ
1	3,00000	18,0000	3,00000	18,0000
2	2,99969	18,0000	2,99928	17,9950
3	2,99971	18,0000	2,99886	17,9899
4	3,00000	18,0000	2,99874	17,9849
$\delta_{ТПН}$	100,01 мкВ/В		100,03 мкВ/В	

Дослідження оптимальних часових проміжків для визначення похибки компарування прецизійних термоперетворювачів [7], вказують на доцільність обрання інтервалу часу після комутації вхідного сигналу близько 30 секунд (в окремих випадках, час перехідного процесу досягає декількох хвилин), при цьому попередній прогрів досліджуваного термоперетворювача має бути не меншим за півгодини, а краще – близько години.

Якщо до складу еталону, котрий використовується під час калібрування, входять такі прицельні ЗВТ, як компаратор постійної напруги, врівноваження з внутрішньою мірою якого досягається за допомогою механічних декадних перемикачів, тоді час одного вимірювального циклу збільшується на декілька хвилин. Враховуючи потенційну можливість наявності втомі у оператора й, узагалі, відсутність гарантії однакової швидкості пошуку врівноважуючого значення опорної напруги внутрішньої міри такого компаратору, постає проблема дотримання рівності часових інтервалів між етапами спостереження.

До викладеного вище варто додати питання про обраний спосіб спостереження в сенсі накопичування необхідної кількості спостережень при багаторазових вимірюваннях, а саме: чи декілька одиничних спостережень виконуються поспіль за один цикл чи за деяку визначену методикою кількість циклів.

Зважаючи на викладені вище аспекти, критичної важливості набуває такий параметр як швидкість змінювання вихідної термо-ЕРС, або швидкість дрейфу термоперетворювача. Загалом, швидкість дрейфу можна виразити як першу похідну змінення вихідної термо-ЕРС за часом

$$V_D = \frac{\Delta E_{ТПН}}{\Delta t} = \frac{dE_{ТПН}}{dt}, \quad (3)$$

де  $\Delta E_{ТПН}$ ,  $dE_{ТПН}$  – змінення величини вихідної термо-ЕРС термоперетворювача;

$\Delta t$ ,  $dt$  – інтервал часу, протягом якого відбувається змінення вихідної термо-ЕРС.

Очевидно, час одного етапу спостереження значення вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача складається з деякої кількості проміжків часу, необхідних для виконання кожної операції та може бути виражений так

$$t_e = t_{пп} + t_{вн} + t_{в} + t_3, \quad (4)$$

де  $t_{пп}$ ,  $t_{вн}$ ,  $t_{в}$ ,  $t_3$  – інтервали часу, необхідні операторові для: очікування закінчення перехідного процесу, встановлення значення вхідної напруги, врівноваження внутрішньої міри компаратору напруги і записування результату спостереження, відповідно.

Здійснення зазначених операцій потребує різних часових проміжків, необхідних операторові, а саме:

- для встановлення вхідної напруги відповідно до опорного вихідного сигналу еталонного термокомпаратору у вигляді інтервалу від 10 до 30 секунд;

- для пошуку врівноважуючого значення внутрішньої міри компаратору у вигляді інтервалу від 20 до 40 секунд;

- для записування в протоколі результату одиничного спостереження в інтервалі від 10 до 20 секунд.

Відповідно до виразу (4) сумарний час, необхідний для проведення одного повного циклу спостереження становить від 210 до близько 360 секунд. Застосування автоматизації може не лише виключити дві останні складові сумарного часу одного циклу й дещо покращити другу складову, але й привнести ризик виникнення додаткового джерела НВ від зношування складових регулюючого механізму, комутуючих органів та, як наслідок, можливого випадкового

відхилення вхідної напруги від заданого значення. За використання ж одноциклового способу накопичення результатів спостереження, котре можливе при застосуванні сучасних прецизійних нановольметрів, замість компараторів напруги й автоматизації калібрування, виникає додаткове запитання про можливість випадкового стрибкоподібного змінення вихідної термо-ЕРС, ризик від котрого зменшується з проведенням великої кількості циклів (хоча при цьому, очевидно, має збільшитися розсіювання результатів спостереження).

**Аналіз впливу швидкості дрейфу досліджуваного термоперетворювача**

Використовуючи співвідношення (3), можна розрахувати значення швидкості дрейфу для випадку, наведеного в табл. 2, що для п'ятихвилинного інтервалу часу усереднено дорівнює 3,020 мкВ на хвилину. Але, у гіршому випадку, протягом 360 секунд вихідна термо-

ЕРС такого термоперетворювача має змінитись від умовних 18,0000 мВ до 17,98188 мВ. Спостерігаючи такий дрейф протягом шести хвилин і фіксуючи результати кожні півхвилини, можна отримати серію значень, представлених у таблиці 4.

На рис. 3 зображено інтервальний графік одного повного циклу спостереження вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача, на якому можна побачити ступінь впливу швидкості його дрейфу на результат спостереження.

Пам'ятаючи про варіювання інтервалу часу складових етапу спостереження, треба оцінити вплив дрейфу термоперетворювача на результат за 10 секунд.

При швидкості дрейфу 3,020 мкВ на хвилину величина цього дрейфу становитиме приблизно 0,503 мкВ.

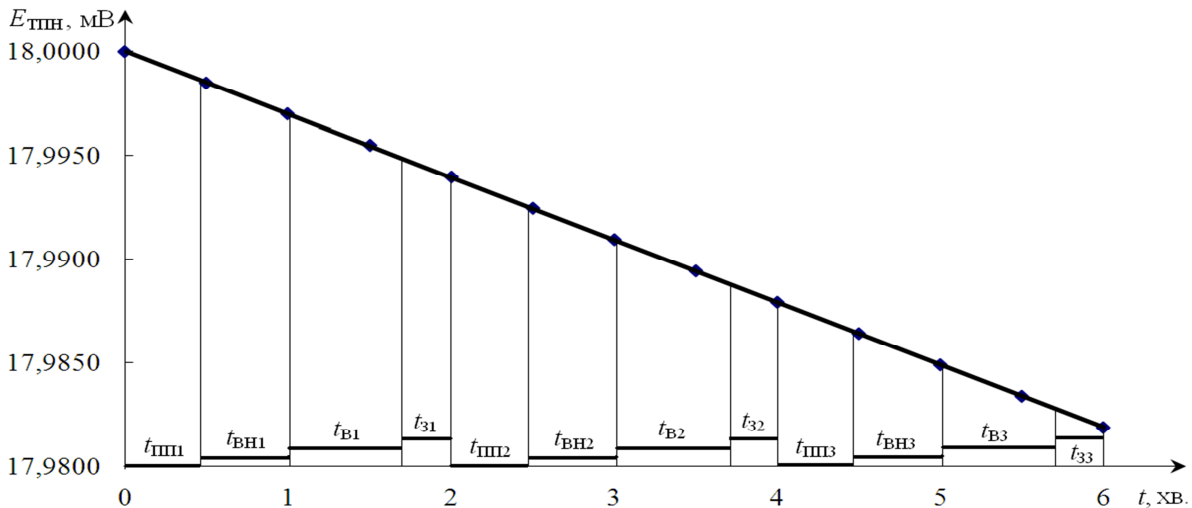


Рисунок 3 – Інтервальний графік дрейфу термоелектричного перетворювача

Таблиця 4 – Змінення вихідної термо-ЕРС термоперетворювача

№ спостереження	Час, хвилин	Вихідна термо-ЕРС, мВ
1	0	18,00000
2	0,5	17,99849
3	1,0	17,99698
4	1,5	17,99547
5	2,0	17,99396
6	2,5	17,99245
7	3,0	17,99094
8	3,5	17,98943
9	4,0	17,98792
10	4,5	17,98641
11	5,0	17,98490
12	5,5	17,98339
13	6,0	17,98188

Це означає, що, в разі десятисекундного зменшення часових проміжків  $t_{ВН}$ ,  $t_{В}$  та  $t_{З}$ , результат спостереження на одному етапі зміниться з 17,99396 мВ на 17,99547 мВ. На наступному етапі часові проміжки можуть варіюватись випадково, наприклад, з 17,98792 мВ до 17,98943 мВ, як і на останньому етапі.

**Оцінювання невизначеності вимірювань від швидкості дрейфу термоперетворювача й часових інтервалів**

НВ можливо оцінити склавши математичні моделі вимірюваних вхідних змінної та постійної напруг та ввівши до них змінні величини, що характеризують дрейф і часові інтервали. Прямая лінія, що визначає залежність вихідної термо-ЕРС досліджуваного термоперетворювача від часу при поданні на його вхід номінальної

напруги відповідно до рис. 3 описується таким рівнянням

$$E_{ТПН} = E_{ном} - V_d \cdot t = 18 - 5,03 \cdot 10^{-4} \cdot t. \quad (5)$$

Підставивши рівняння (5) у вираз (2), пам'ятаючи співвідношення (1), можна отримати співвідношення для вхідних змінної й постійного сигналів:

$$U_{AC1(2)} = (1 + \delta_{ТПН}) \cdot \sqrt{\frac{E_{ном} - V_d \cdot t_{e1}}{k_{DC}}}, \quad (6)$$

$$U_{DC1(2)} = \sqrt{\frac{E_{ном} - V_d \cdot t_{e2(3)}}{k_{DC}}}, \quad (7)$$

де  $t_{e1}$ ,  $t_{e2(3)}$  – інтервали часу першого й другого (третього) етапів одного повного циклу спостереження.

Для отриманих математичних моделей необхідно розрахувати коефіцієнти чутливості згідно з настановою з оцінювання НВ [8] як перші частинні похідні за відповідними вхідними величинами.

Розрахунок коефіцієнту чутливості складових інтервалів часу першого й останнього етапів повного циклу треба проводити за виразом

$$c_{AC} = \frac{(1 + \delta_{ТПН}) \cdot V_d}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}} \cdot \sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (8)$$

Розрахунок коефіцієнту чутливості складових інтервалів часу другого та третього етапів повного циклу треба проводити за виразом:

$$c_{DC} = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \frac{V_d}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (9)$$

Розрахунок коефіцієнту чутливості за швидкістю дрейфу треба проводити згідно виразу

$$c_{V_d} = \frac{1}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \frac{t}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (10)$$

За настановою [8] стандартна невизначеність вхідної величини, про яку відомий лише інтервал її рівновірогідних значень повинна оцінюватись так

$$u_{AC} = u_{DC} = \frac{\Delta t_{ц}}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (11)$$

де  $\Delta t_{ц}$  – сумарний інтервал варіювання часових проміжків для одного етапу циклу.

Внесок у загальну НВ визначається як добуток коефіцієнту чутливості на стандартну не-

визначеність вхідної величини, тобто для вхідної змінної напруги

$$c_{AC} \cdot u_{AC} = \frac{(1 + \delta_{ТПН}) \cdot V_d \cdot \Delta t_{ц}}{8 \cdot \sqrt{3} \cdot k_{DC} \cdot \sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}, \quad (12)$$

а для вхідної постійної напруги:

$$c_{DC} \cdot u_{DC} = \frac{1}{8 \cdot \sqrt{3} \cdot k_{DC}} \cdot \frac{V_d \cdot \Delta t_{ц}}{\sqrt{E_{ном} - V_d \cdot t}}. \quad (13)$$

Сумарний внесок НВ інтервалів часу на виконання операцій слід оцінювати за виразом:

$$u_{e,t} = \sqrt{2[(c_{DC} \cdot u_{DC})^2 + (c_{AC} \cdot u_{AC})^2]}. \quad (14)$$

Внесок у загальну НВ за швидкістю дрейфу залежить від НВ при вимірюванні часу й термо-ЕРС за формулою (3) та визначається

$$c_{V_d} \cdot u_{V_d} = \frac{t}{4 \cdot \sqrt{k_{DC}}} \cdot \sqrt{\frac{u_{\Delta E}^2 + \frac{\Delta E_{ТПН}^2}{\Delta t^4} \cdot u_{\Delta t}^2}{E_{ном} - V_d \cdot t}}, \quad (15)$$

де  $u_{\Delta E}$ ,  $u_{\Delta t}$  – стандартна невизначеність при вимірюванні змінення термо-ЕРС за відповідний інтервал часу.

Підсумовуючи, для встановлених протягом цієї роботи умов треба навести отримане значення сумарного внеску НВ інтервалів часу, котре становить 85,1 мкВ, та значення внеску у НВ від швидкості дрейфу, котре становить 2,37 мкВ. По відношенню до отриманого результату вимірювання похибки компарування 100 мкВ/В ці метрологічні характеристики складають 28,4 мкВ/В та 0,8 мкВ/В, відповідно.

### Висновки

Отримане досить велике значення НВ від варіативності часових проміжків, може бути меншим, адже використана під час розрахунків швидкість дрейфу досліджуваного термоперетворювача може бути на порядок меншою для окремих зразків ЗВТ в залежності від конструктивних характеристик конкретного зразка, а також за умови попереднього прогріву не менше однієї години.

Зменшити НВ від варіативності часових проміжків можливо шляхом осучаснення складових Державного еталону та його автоматизації, але повинні бути враховані ризики від механічного зношування.

Величина швидкості дрейфу термоелектричного перетворювача, що піддається калібруванню робить нехтовно малий внесок у загальну НВ.

Доцільно використовувати квазілінійність функції передачі термоперетворювачів з наявністю в конструкції термопари для дослідження зміщення вихідного сигналу такого ЗВТ.

#### Список використаних джерел

1. ДСТУ 3231:2007 Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 24 с.
2. ПМА 081/29.18-01 Програма і методика метрологічної атестації Державного еталона одиниці електричної напруги від 0,1 до 1000 В змінного струму у діапазоні частот від 10 Гц до 1 МГц (ДЕТУ 08-07-02). [Текст]. – К.: УкрЦСМ, 2001. – 70 с.
3. ДСТУ 7231:2011 Метрологія. Перетворювачі та компаратори термоелектричні еталонні. Методика повірки (калібрування). [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 14 с.
4. Francis L. Hermach. Thermal converters as ac-dc transfer standards for current and voltage measurements at audio frequencies / Francis L. Hermach. // Journal of research of the national bu-

reau of standards. – February 1952. - Vol. 48, No. 2. – P. 121–138.

5. 792A. Precision comparator. Service Manual. – Everett: Fluke Corporation, 2005. [Текст]. – 576 p.
6. Calibration: Philosophy in Practice. Second Edition. – Everett: Fluke Corporation, 1994. [Текст]. – 526 p.
7. Туз Ю. М. Оптимізація часу термокомпарування. / Ю. М. Туз, М. В. Добролюбова, А. А. Ульянова // Системи обробки інформації. – № 5(86) – Харків. – 2010. – С. 139–144.
8. JCGM 100:2008// GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_E.pdf](http://www.bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf) – Назва з екрана.

*Надійшла до редакції 06.11.2017*

**Рецензент:** д.т.н, проф. Коломієць Л. В., Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.

**О. Н. Величко, д.т.н., В. В. Исаев**

#### ОЦЕНИВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ КАЛИБРОВКЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

*В статье исследован метод калибровки прецизионных термоэлектрических преобразователей с наличием в конструкции термопар на предмет влияния скорости изменения выходной термо-ЭДС и вариативности временных интервалов операций одного цикла измерений погрешности компарирования напряжения. Особенностью метода является наличие среди используемых средств измерения прецизионных компараторов постоянного напряжения с механическим средством регулирования внутренней меры, что приводит к варьированию временных интервалов от цикла к циклу. Также неодинаковость необходимого времени возникает из-за необходимости регулирования входного сигнала оператором и занесения показаний в протокол.*

**Ключевые слова:** государственный эталон, электрическое напряжение, прецизионный термопреобразователь, дрейф, неопределенность измерения.

**O. M. Velychko, DSc, V. V. Isaiev**

#### EVALUATION OF THE INFLUENCE OF SOME DYNAMIC CHARACTERISTICS DURING THE CALIBRATION OF PRECISION THERMAL CONVERTERS

*The method of calibration of precision thermoelectric converters with the presence of thermocouples in the design is observed. The influence of the rate of change in the output thermo-EMF and the variability of the operation time intervals of the one AC/DC difference measuring cycle on the calibration method is investigated. A feature of the method is the availability of precision dc voltage comparators with a mechanical means of the internal measure regulation used for output signals observation among the measuring instruments. This situation leads to a variation of the time intervals from cycle to cycle. Also, the disparity of the required time arises from the need to regulate the input signal by the operator and to record the readings in the protocol.*

**Keywords:** state standard, electric voltage, precision thermoconverter, drift, uncertainty of measurement.