

İstismar zamanı termocütlərin vəziyyətinin innovativ üsulla qiymətləndirilməsi

N.Ş. İskəndərov

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

Açar sözlər: temperatur ölçmələri, termodinamik temperatur, termoelektrik çevirici, termocüt, metrologiya, xəta.

DOI.10.37474/0365-8554/2022-03-38-43

e-mail: nabi.iskandarov@engineer.com

Инновационная оценка состояния термодатчиков в процессе эксплуатации

Н.Ш. Искандаров

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: измерения температуры, термодинамическая температура, термоэлектрический преобразователь, термодатчик, метрология, погрешность.

Температура – одна из важнейших характеристик, определяющая и влияющая на весь цикл технологического процесса. Она имеет ряд принципиальных особенностей, которые обуславливают необходимость использования большого количества методов и приемов для её измерения. С этой точки зрения о температуре можно судить по изменению ряда физических свойств объектов (объема, давления, термоЭДС, электрического сопротивления и др.). Измерение температуры используется в системах контроля и управления оборудованием, а также при повышении качества технологических процессов на различных промышленных предприятиях, при этом особое внимание уделяется точности измерений. В исследовании рассмотрена оценка состояния термодатчиков при выполнении операций производственного процесса. На основе вышеуказанной инновационной схемы определены математические аспекты термодинамического измерения температуры термоэлектрического преобразователя и разработан алгоритм. Описаны алгоритмы оценки состояния термоэлектрических преобразователей в активной фазе исследования с использованием частных производных термоэлектрических силовых спаев, причем предложено проведение этого инновационного процесса на основе схемы параметра метрологического состояния "d".

Innovative estimation of state of thermocouples in operation process

N.Sh. Iskenderov

Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: temperature measurement, thermodynamic temperature, thermoelectric converter, thermocouple, metrology, error.

The temperature is one of the most significant characteristics specifying and affecting the whole cycle of technological process. It has a number of principle features, which justify the necessity of using numerous methods and ways of measurement. From this point of view temperature may be reviewed by the changes of some physical properties of the objects (volume, pressure, thermoEMF, electric resistance etc.). The temperature measurement is applied in the systems of control and management, as well as while improving the quality of technological processes in various industrial enterprises, when specific attention is paid to the accuracy of measurements. The study reviews the estimation of the state of thermocouples while conducting industrial process. Mathematical aspects of thermodynamic measurement of temperature of thermoelectric converters have been defined and an algorithm developed based on the mentioned above innovative scheme. The algorithms of estimation of the state of thermoelectric converters in the active phase of the research using private derivatives of thermoelectric force junctions are shown. The innovative process is recommended to conduct based on the scheme of "d" parameter of metrological state.

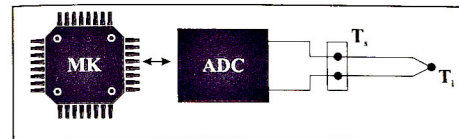
Termoelektrik çeviricilər və onların həssas elementi olan termocütlər həyata keçirilən texnoloji proseslər zamanı yüksək temperaturun unikal və geniş diapazon intervalında ölçülməsi imkanlarına görə geniş istifadə olunur. Termocütlər

termoelektrik effekti nəticəsində termodinamik temperaturdan asılı olan gərginlik hasil edir və bu gərginlik də temperaturun ölçülməsində geniş istifadə edilir. Aparılmış tədqiqat işi zamanı termoelektrik çeviriciyə əsaslanan şərti termometr sxemi

nəzərdən keçirilir, iki termoelektrik çeviricisi olan sxem təklif olunur və istismar zamanı bu sxemlərin vəziyyətini qiymətləndirmək üçün mümkün variantlar nəzərdən keçirilir.

Ənənəvi ölçmə sxemi üçün termoelektrik çeviricinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi

Termoelektrik çeviriciyə əsaslanan termometrin ölçülməsi üçün sadələşdirilmiş və ümumi qəbul edilmiş funksional sxem şəkil 1-də verilmişdir. Burada MK – mikrokontroller, ADC analoq-rəqəmsal çevirici, T_i , T_s – isti və soyuq keçidlərin temperaturlarıdır (ölçülən temperatur) [1].



Şəkil 1. Termometrin funksional sxemi

Həyata keçirilən texnoloji proseslərdə istismar zamanı termocütün soyuq qovşağı ya termal sabitləşməyə məruz qalır, ya da onun temperaturu ayrı bir termal çevirici ilə ölçülür. Bu zaman termocütdə yaranan elektrik hərəkət qüvvəsi (EHQ) qovşaqların təmas nöqtəsindəki potensiallar fərqinə bərabər olur [2]:

$$e(T_i, T_s) = e_i(T_i) - e_s(T_s). \quad (1)$$

burada e – termocütün termoeHQ-si; e_i – isti qovşağın termoeHQ-si; e_s – soyuq qovşağın termoeHQ-sidi.

$\epsilon(T)$ asılılıqları IEC 60584-1:2013 standartı tərəfindən müəyyən edilir. $e_i(T)$ və $e_s(T)$ funksiyalarının forması eynidir, onlar müstəqil T_i və T_s arqumentlərində fərqlənirlər. Temperatur ölçmə diapazonunda $\epsilon(T)$ termoeHQ-si IEC 60584-1:2013 standartında qeyd edilmiş güc polinomları ilə təmsil olunan, kəsilmə nöqtələri olmayan bir dəyişənin müəyyən, davamlı, məhdud və monoton artan funksiyalarıdır. Bu, T_i -ə görə (1) tənliyini ən sadə ədədi üsullarla effektiv şəkildə həll etməyə imkan verir. ϵ , T_s dəyərlərini ölçməklə və onları (1) düsturu ilə əvəz etməklə, istənilən T_i temperaturu hesablanıla bilər. Bir qayda olaraq $\epsilon(T)$ dərəcəsi 6-dan böyük olan çoxhədlidir, ona görə də (1) tənliyi ədədi üsullarla həll edilir [3].

Aparılan ölçmələr zamanı ən vacib məsələlərdən biri parametrlərin sürüşməsi və ya sensorun nasazlığının baş verməsi ilə müəyyən edilən əməliyyat zamanı istilik çeviricilərinin vəziyyətini qiymətləndirməkdir. Bu halda vəziyyətin qiymətləndirilməsi (1) tənliyinə əlavə olaraq, isti

və soyuq qovşaqların temperaturu ilə əlaqədar termoeHQ-nin qismən törəmələrinə əsaslanan termoelektrik çeviricinin fiziki kəmiyyətlərinin əlaqə tənliyini təqdim etməklə mümkündür. Qeyd edilmiş vəziyyətdə $\epsilon(T_i, T_s)$ funksiyasının artımı aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\Delta \epsilon \approx \frac{\partial \epsilon}{\partial T_i} \Delta T_i + \frac{\partial \epsilon}{\partial T_s} \Delta T_s. \quad (2)$$

Yerinə yetirilən hər bir ölçmədə T_i və T_s -in cari dəyərlərini ölçdükdən sonra, i-ci ölçü əvvəlki ölçmələrdən eyni isti qovşağ temperaturu ilə seçilir:

$$T_i = T_{ii}. \quad (3)$$

Aparılan ölçmələr zamanı temperaturun hesablanması üçün mikrokompyuterdən istifadə edildiyi və bütün ölçmə məlumatları RAM-da saxlandığı üçün (3) tənliyinin yüksək dəqiqliyini təmin edən əvvəlki ölçməni tapmaq mümkündür. Bu halda cərəyanın soyuq qovşaqlarının temperaturu və (3) düsturuna uyğun olaraq seçilmiş dəyərin üst-üstə düşməməli olduğuna diqqət yetirmək lazımdır:

$$\Delta T_s = T_s - T_{si} \neq 0. \quad (4)$$

(3) və (4) düsturlarını (2) düsturunda nəzərə alsaq aşağıdakı ifadə əldə edilir:

$$\frac{\partial \epsilon}{\Delta T_x} \approx \frac{\partial \epsilon}{\partial T_x}. \quad (5)$$

Törəmənin qiymətini T_{so} nöqtəsində $-T_s$ və T_{si} arasındakı orta nöqtədə hesablamaqla təqribi bərabərliyi (5) dəqiqləşdirmək mümkündür:

$$T_{so} = \frac{T_s + T_{si}}{2}. \quad (6)$$

(6)-nı (5) düsturunda nəzərə alsaq bu zaman aşağıdakı düsturu almış olarıq:

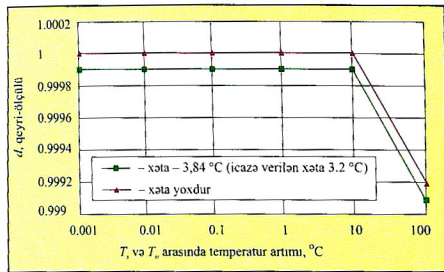
$$\frac{\partial \epsilon}{\Delta T_s} \approx \frac{\partial \epsilon}{\partial T_s} \Big|_{T_s=T_{so}}. \quad (7)$$

Ədədi fərqləndirmədəki dəqiqliyi artırmağın bu üsulu, aparılmış tədqiqat işində geniş şəkildə təsvir edilmişdir. Tərtib edilmiş riyazi modelləşdirmə tapşırıq çərçivəsində kifayət qədər səmərəliliyini göstərmişdir.

Bildiyimiz kimi termocütün soyuq qovşağının temperaturu bir qayda olaraq müqavimət termometrinədən istifadə edərək ölçülür və bu işdə təsvir olunan vəziyyəti bununla qiymətləndirmək mümkündür. Buna görə də T_s temperaturu bu məsələdə doğru istiqamət olaraq nəzərə alın bilər. Biz (7) düsturuna əsasən, d metroloji vəziyyətinin parametrlərini aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$d = \frac{\Delta \varepsilon}{\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_s}} \quad (8)$$

(8) düsturunun məxrəcinin qiyməti IEC 60584-1:2013 standartına uyğun olaraq termocüt polinonunun (1) əmsalları ilə müəyyən edilir və eyni tipli bütün termocütlər üçün eyni olaraq qalır. Numeratorun dəyəri soyuq qovşaq temperaturu və termoEHQ-nin ölçülmüş dəyərləri ilə müəyyən edilir. TermoEHQ artımı isə öz növbəsində (1) termocüt polinomlarının real əmsalları ilə təyin olunur. Buna görə də d parametrisinin dəyərini vəhida yaxınlığı tələb olunan T_i -nin ölçü xətasının kiçikliyi xarakterizə edir [4].



Şəkil 2. Metroloji parametr d -nin soyuq qovşağın temperatur artımından asılılığı

Şəkil 2-də K tipli termocüt (xromel – alumel) üçün d parametrisinin soyuq qovşaq temperaturunun artımından asılılıqları göstərilir. Ölçmə zamanı yaranan nasazlıq vahid riyazi gözlənti və əmsalın dəyərinə mütənasib olaraq 10^{-6} -ya bərabər olan RMS ilə $\varepsilon(T)$ polinomunun bütün əmsallarının normal qanununa uyğun olaraq təsadüfi bir icra təbiiqinin seçilməsi ilə simulyasiya edilir. Həqiqi temperatur xətasının dəyərini IEC 60584-1:2013 standartına uyğun olaraq icazə verilən xəta ilə mütənasib olduğu qiymət təsadüfi olaraq seçilir. d metroloji vəziyyət parametrisinin təxmini qiyməti $T_i = 800$ °C, $T_s = 50$ °C həqiqi temperaturlarda hesablanır.

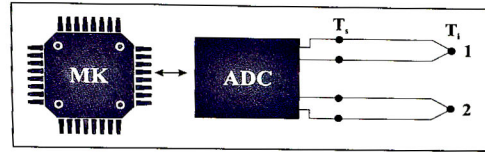
Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, d metroloji vəziyyətinin seçilmiş parametri onlar arasında fərq 10 °C-dən az olduqda T_s -nin ölçülmüş cari dəyəri ilə T_i -nin seçilmiş dəyəri arasında temperatur artımından praktiki olaraq asılı deyil.

Vəziyyətin qiymətləndirilməsinin təklif olunan versiyası istilik çeviricisinin elektronika blokun-

da daha səmərəli mikrokompyuterdən və yüzlərlə meqabayta qədər olan əlavə həcmdə operativ yaddaşdan istifadəni tələb edəcəkdir. Hər ölçmə zamanı RAM-a ε_i – termoEHQ, T_{ii} , T_{si} – uyğun olaraq isti və soyuq qovşaqların ölçülmüş temperaturu daxil edilir [5].

İki termocütlə termoelektrik çeviricinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi

İki termocütlü termoelektrik çeviricinin funksional sxemi şəkil 3-də verilmişdir. Burada 1 və 2 müxtəlif tipli iki termocütdür. Termocüt 1-in və 2-ci termocütün isti, eləcə də soyuq qovşaqlarının temperaturu eynidir. Əvvəlki dövrdən fərqli olaraq, burada istilik stabilizasiyası və ya soyuq qovşaqda temperaturun ölçülməsi tələb olunmur [6].



Şəkil 3. İki termocütlü termoelektrik çeviricinin funksional sxemi

Burada qeyd edilmiş T_i və T_s temperaturları aşağıdakı tənliklər sistemindən tapıla bilər:

$$\begin{cases} \varepsilon_1(T_i, T_s) = \varepsilon_{i1}(T_i) - \varepsilon_{s1}(T_s) \\ \varepsilon_2(T_i, T_s) = \varepsilon_{i2}(T_i) - \varepsilon_{s2}(T_s) \end{cases} \quad (9)$$

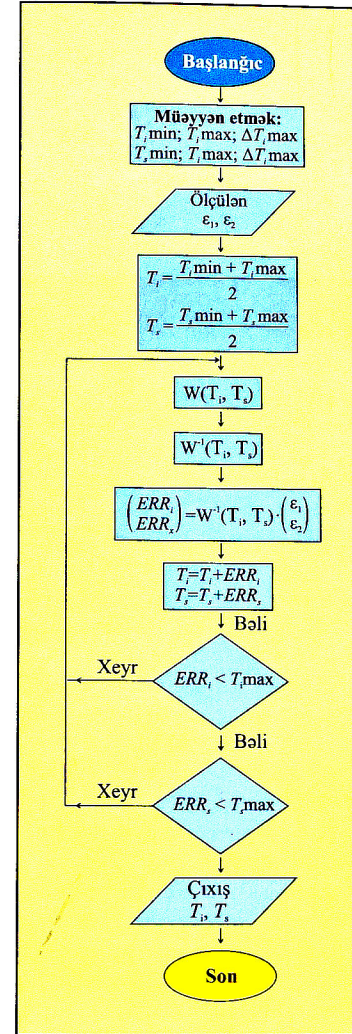
burada $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – 1-ci və 2-ci termocütün termoEHQ-si; $\varepsilon_{i1}, \varepsilon_{i2}$ – 1-ci və 2-ci termocütlərin isti qovşaqlarının termoEHQ-ləri; $\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{s2}$ – 1-ci və 2-ci termocütlərin soyuq qovşaqlarının termoEHQ-ləridir. Şübhəsiz ki, (9) tənliklər sisteminin həllinin mümkünlüyü üçün (10) bərabərsizlikləri təmin edilməlidir:

$$\begin{cases} \varepsilon_1(T) \neq \varepsilon_2(T); \\ T_i \neq T_s \end{cases} \quad (10)$$

burada səs-küy və termoEHQ-dən yaranan ölçmə xətalari şəraitində uğurlu ölçmə prosesini həyata keçirmək üçün IEC 60584-1:2013 standartına uyğun olaraq bir-birindən ən çox fərqli asılılıqları olan $\varepsilon(T)$ termocütləri seçmək lazımdır.

Analitik üsulla (9) tənliklər sisteminin T_i və T_s həllərini tapmaq mümkündür. Bu üsul iki dəyişənli iki çoxhədlinin ortaq köklərinin tapılması problemi nəticənin (bir dəyişəndə bir çoxhədlil) köklərinin tapılmasına qədər azaldır. Bununla belə, IEC 60584-1:2013 standartına uyğun olaraq ənənəvi termocüt növləri üçün (9) ifadəsinə daxil edilmiş

çoxhədlilər adətən 8 ilə 12 aralığındakı çoxhədlilər olduğundan, bu halda nəticənin ifadəsi 16×16 ilə 24×24 arasında dəyişən determinant olacaqdır. Bu determinantın elementləri yenə də 8–12 dərəcə aralığında olmaqla bir dəyişənli çoxhədlilər olacaqdır. Şübhəsiz, bu determinantın hesablanması və hətta onun köklərinin geniş diapazonda tapılması (288-ci dərəcəyə qədər polinom) praktikada mümkün deyil. Buna görə də Nyuton üsulu ilə naməlum T_i və T_s -i tapmaq daha məqsəduyğundur. Bu zaman temperaturun hesablanması alqoritmi şəkil 4-də göstərilən formada həyata keçiriləcəkdir.



Şəkil 4. İki termocütlü termoelektrik çevirici dövrənin temperaturlarının hesablanması alqoritmi

Şəkil 4-də verilən alqoritmə T_i min və T_i max – isti qovşağın temperatur ölçmə diapazonunun hədləri; T_s min, T_s max – soyuq qovşağın temperatur ölçmə diapazonunun hədləri; ΔT_i min, ΔT_i max – icazə verilən hesablanmış temperatur xətalari, onların dəyərlərini termometrin ümumi icazə verilən xətasından 1–3 dərəcə daha az götürülməsi tövsiyə edilir; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – 1-ci və 2-ci termocütlərdə ölçülmüş EQ dəyərləri; $W(T_i, T_s)$ – Yakobi matrisi:

$$W(T_i, T_s) = \begin{pmatrix} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T_i} & \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial T_i} \\ \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T_s} & \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial T_s} \end{pmatrix} \quad (11)$$

$W^{-1}(T_i, T_s)$ – tərs Yakobi matrisi:

$$W^{-1}(T_i, T_s) = \frac{1}{\det W(T_i, T_s)} \begin{pmatrix} \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T_s} & \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial T_s} \\ \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial T_i} & \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial T_i} \end{pmatrix} \quad (12)$$

burada $\det W(T_i, T_s)$ – (11)-dən tapılan matrisin determinanı (11); ERR_i və ERR_s – müvafiq olaraq isti və soyuq qovşaq temperaturunun korreksiyasıdır.

Nəzərə alınan termoelektrik çeviricinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi məsələsini metroloji vəziyyətin d əlavə parametrisini daxil etməklə həll etmək olar. Vəziyyətin qiymətləndirilməsi istilik çeviricisinin i modelinə termocütlərin termoelektrik gücünün qismən törəmələrinin asılılıqlarının daxil edilməsi və istilik çeviricisinin fiziki parametrlərinin qoşulması üçün əlavə tənlik verilməsi əsasında mümkündür. Biz bu zaman innovativ d metroloji hal parametrisini əldə edirik.

Əvvəlki ölçmələrdən əldə edilən mövcud dəyərləri və T_s -i ölçüldükdən sonra, i -ci ölçü tam olaraq eyni soyuq qovşaq temperaturu ilə seçilir.

$$T_s = T_{si} \quad (13)$$

Bu zaman temperaturu hesablamaq üçün mikrokompyuterdən istifadə olunduğundan və bütün ölçmə məlumatları RAM-da saxlandığından (13) tənliyini təmin edən əvvəlki ölçməni yüksək dəqiqliklə tapmaq mümkündür. Bu halda, cərəyanın isti qovşaqlarının temperaturları və (13) düsturu üzrə seçilmiş ölçülər üst-üstə düşməməlidir [7]:

$$\Delta T_i = T_i - T_{ii} \neq 0. \quad (14)$$

Beləliklə, (13) və (14) düsturları nəzərə alınmaqla, termocütlərin hər biri üçün (2) düsturu aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\frac{\Delta \epsilon_1}{\Delta T_i} \approx \frac{\partial \epsilon_1}{\partial T_i} \quad (15)$$

$$\frac{\Delta \epsilon_2}{\Delta T_i} \approx \frac{\partial \epsilon_2}{\partial T_i} \quad (16)$$

Termocütlərin termoelektrik gücünün artımının nisbətini nəzərdən keçirdikdə onu aşağıdakı formada təqdim edə bilərik [8]:

$$\frac{\Delta \epsilon_1}{\Delta \epsilon_2} = \frac{\frac{\Delta T_i}{\Delta T_i} \approx \frac{\partial T_i}{\partial T_i} \approx \frac{\partial T_i}{\partial T_i}}{\frac{\Delta T_i}{\Delta T_i} \approx \frac{\partial T_i}{\partial T_i} \approx \frac{\partial T_i}{\partial T_i}} \quad (17)$$

burada, termoEHQ və temperatur artımları onların cari və seçilmiş i-ci ölçü arasındakı fərqlər kimi başa düşülür və T_{i0} (6) ifadəsinə bənzər şəkildə müəyyən edilir:

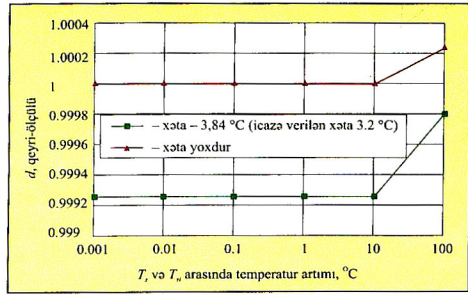
$$T_{i0} = \frac{T_i + T_{ii}}{2} \quad (18)$$

Bu zaman (17) düsturuna əsaslanaraq, (8) düsturundakı kimi d metroloji vəziyyətinin aşağıdakı meyarını təqdim edə bilərik:

$$d = \frac{\Delta \epsilon_1}{\Delta \epsilon_2} \quad (19)$$

(19) düsturunun məxrəcinin qiyməti IEC 60584-1:2013 standartına uyğun olaraq (9) tənliyinin termocüt polinomlarının nominal əmsalları ilə müəyyən edilir və eyni tipli bütün termocütlər üçün eynidir. Bu zaman paylayıcının qiyməti (9) tənliyinin termocüt polinomlarının real əmsalları ilə müəyyən edilir. Buna görə də d parametrinin qiymətinin vahidə yaxınlığı axtarılan qiymətin ölçü xətasının kiçikliyini xarakterizə edir.

Şəkil 5-də termocüt parametrlərinin sürüşməsinin olması və olmaması halında K (xromel – alumel) və L (xromel – kopel) tipli termocütlər üçün d metroloji vəziyyətin meyarının soyuq qovşağın temperatur artımından asılılığı göstərilir. Bu zaman yaranmış xəta əmsalın dəyərində mütənasib olaraq vahid gözlənti və RMS 10^{-6} -ya bərabər olan $\epsilon_K(T)$ və $\epsilon_L(T)$ poli-



Şəkil 5. d metroloji vəziyyət parametrlərinin isti qovşağın temperatur artımından asılılığı

nomlarının bütün əmsalları üçün təsadüfi qiyməti seçməklə simulyasiya edilir [9].

Yerinə yetirilmiş tədqiqat işi zamanı həqiqi temperatur xətasının dəyərini IEC 60584-1:2013 standartına uyğun olaraq icazə verilən xətaya uyğun olduğu təsadüfi bir tətbiq seçildi. Daha sonra d metroloji vəziyyət parametri $T_i = 800$ °C, $T_s = 50$ °C həqiqi temperaturlarda hesablandı.

Şəkil 5-dən görüldüyü kimi, hesablanmış d metroloji vəziyyətinin seçilmiş parametri, onların arasındakı fərq 10 °C-dən az olduqda ölçülən cərəyan dəyəri ilə seçilmiş dəyər T_{ii} arasındakı temperatur artımından praktiki olaraq asılı deyil. Bu zaman iki termocütlü termoelektrik çevirici sxemin təklif olunan variantı əlavə olaraq daha səmərəli mikrokompyuterdən və yüzlərlə meqabaytlıq vəziyyətin qiymətləndirilməsi üçün əlavə həcmdə operativ yaddaşdan istifadəni tələb edəcəkdir. Bu zaman hər i-ci ölçmə zamanı RAM-a $\epsilon_{ii} - 1$ -ci termocütün termoEHQ-si; $\epsilon_{2i} - 2$ -ci termocütün termoEHQ-si; T_{ii} , $T_{si} -$ ölçülmüş isti və soyuq qovşaq temperaturları daxil ediləcəkdir [10].

Nəticə

Məqalədə termocüt qovşaqlarının temperaturlarından termoelektrik enerjinin qismən törəmələrinin istifadəsinə əsaslanan təklif olunan riyazi modelin tətbiqlə termocütlərin vəziyyəti haqqında əlavə məlumatların işlənilməsi yolu ilə istismar zamanı termoelektrik çeviricinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, d metroloji

vəziyyətinin seçilmiş parametri, onların arasındakı fərq 10 °C-dən az olduqda ölçülən cərəyan

dəyəri ilə seçilmiş dəyər T_{ii} arasındakı temperatur artımından praktiki olaraq asılı deyil.

Ədəbiyyat siyahısı

1. İsgəndərzadə E.B., Aslanov Z.Y. Ölçmə və nəzarət üsulları və vasitələri. – Bakı: Vektor, 2017, s. 176.
2. Fərzanə N.Q., İlyasov L.V., Əzim-zadə AY. Texnoloji ölçmələr və cihazlar. –M., 1989, s. 135.
3. Самарский А.А. Численные методы: учеб. пособие для вузов. – М.: Наука, 1989, 432 с.
4. IEC 60584-1:2013 Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerances, pp. 6-8.
5. Олейник Б.Н., Лаздина С.И., Лаздин В.П., Жагулло О.М. Приборы и методы температурных измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1987, 296 с.
6. Thomas D. McGee – Principles and Methods of Temperature Measurement, John Wiley & Sons, 2014, p. 195.
7. Michalski L., Eckersdorf K., Kurcharski J., McGhee J. Temperature measurement, John Wiley & Sons, 2001, p. 316.
8. Grazia Lamanna, Christoph Steinhausen. On the Importance of Kinetic Effects in the Modelling of Droplet Evaporation at High Pressure and Temperature Conditions. 2020, p. 272.
9. Robert F. Speyer (2012). Thermal Analysis of Materials. Materials Engineering, 2007, p. 8.
10. Thomas W. Leland, Jr., G.A. Mansoori (ed.). Basic Principles of Classical and Statistical Thermodynamics, 2005, p. 145.

References

1. İsgəndərzadə E.B., Aslanov Z.Y. Ölçmə və nəzarət üsulları və vasitələri. – Bakı: Vektor, 2017, s. 176.
2. Fərzanə N.Q., İlyasov L.V., Əzim-zadə AY. Texnoloji ölçmələr və cihazlar. – M., 1989, s. 135.
3. Самарский А.А. Численные методы: учеб. пособие для вузов. – М.: Nedra, 1989, 432 с.
4. IEC 60584-1:2013 Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerances, pp. 6-8.
5. Олейник Б.Н., Лаздина С.И., Лаздин В.П., Жагулло О.М. Приборы и методы температурных измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1987, 296 с.
6. Thomas D. McGee – Principles and Methods of Temperature Measurement, John Wiley & Sons, 2014, p. 195.
7. Michalski L., Eckersdorf K., Kurcharski J., McGhee J. Temperature measurement, John Wiley & Sons, 2001, p. 316.
8. Grazia Lamanna, Christoph Steinhausen. On the Importance of Kinetic Effects in the Modelling of Droplet Evaporation at High Pressure and Temperature Conditions. 2020, p. 272.
9. Robert F. Speyer (2012). Thermal Analysis of Materials. Materials Engineering, 2007, p. 8.
10. Thomas W. Leland, Jr., G.A. Mansoori (ed.). Basic Principles of Classical and Statistical Thermodynamics, 2005, p. 145.