

# ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ВЕЛИЧИН

УДК 536.532

## ОЦІНКА МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З КЕРОВАНИМ ПРОФІЛЕМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ

© Кочан Орест<sup>1</sup>, Демків Тарас<sup>2</sup>, Саченко Анатолій<sup>1</sup>, 2008

<sup>1</sup> НДІ Інтелектуальних комп'ютерних систем  
Тернопільського національного економічного університету

<sup>2</sup> Львівський національний університет імені І. Франка,  
кафедра загальної фізики

*Запропонована методика оцінки методичної похибки термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля, що викликана тепловим потоком, спрямованим до/від робочого кінця головної термопар. Ця методична похибка викликана відхиленням від номінальних реальних характеристик перетворення головної термопар та термопар системи керування профілем температурного поля. Її оцінка визначається як границя зміни температури робочого кінця головної термопар за стрибкоподібної зміни характеристик перетворення термопар.*

*Предложено методику оценивания методической погрешности термоэлектрического преобразователя с управляемым профилем температурного поля, которая вызвана тепловым потоком, направленным к или от рабочего конца главной термопары. Эта методическая погрешность вызвана отклонением от номинальных реальных характеристик преобразования главной термопары и термопары системы управления профилем температурного поля. Ее оценка определяется как граница изменения температуры рабочего конца главной термопары при скачкообразном изменении характеристик преобразования термопар.*

*The method of a methodical error evaluation for the thermocouple with a controlled temperature profile caused by a thermal flow to/from the hot junction of the thermocouple is presented in this paper. This methodical error is caused by a deviation of the real conversion characteristics of main thermocouple and thermocouples of a control system from their nominal conversion characteristics. Its evaluation is considered as a limit of temperature variation of the hot junction of main thermocouple in the condition of stepping changing of the conversion characteristic of thermocouples.*

**Вступ.** Для вимірювання температури у промисловості, наукових дослідженнях та інших галузях широко використовують термоелектричні перетворювачі на базі термопар. Але під час їхньої експлуатації з часом, під дією температури експлуатації, в електродах проходять деградаційні процеси. Швидкість проходження згаданих деградаційних процесів залежить від температури, при якій експлуатувалися окремі ділянки електродів термопар. Тобто з часом експлуатації зростає термоелектрична неоднорідність електродів термопар. Деградаційні процеси ведуть до появи двох типів взаємно пов'язаних похибок вимірювання температури [1]:

1. Похибки, яка залежить від зміни характеристики перетворення термопар у часі – часового дрейфу [2, 3].

2. Похибки, яка залежить від зміни вихідної термо-ЕРС при зміні профілю температурного поля вздовж електродів термопар [4].

Відомі спроби корекції похибок першого типу за рахунок періодичної перевірки [5] термопар і прогнозування їхнього дрейфу [6]. Однак наявність термоелектричної неоднорідності не дає змоги отримати високу точність вимірювання температури таким способом. Це привело до розроблення методів перевірки [7] або калібрування [8...11] на місці експлуатації, а також поєднання їх з методом прогно-

зування [12]. Робилося допущення, що профіль температурного поля уздовж електродів термопар не змінюється і похибкою другого типу можна нехтувати. Але це припущення не завжди справджується, тому низка робіт стосувалася дослідження похибок як від початкової [13–15], так і набутої [16...19] неоднорідності термоелектродів.

Для радикального усунення зміни значення термоЕРС неоднорідних термопар від зміни профілю температурного поля уздовж їхніх електродів було запропоновано новий давач температури – термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля [20]. Похибки вимірювання температури за допомогою систем, що використовують такий термоелектричний перетворювач, детально розглянуто у [21, 22]. Там само вказано на притаманну такому термоелектричному перетворювачу методичну похибку, однак прийняття її значення не було достатньо обґрунтоване. Тому метою цієї роботи є розроблення методу оцінки верхньої межі методичної похибки термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля та здійснення такої оцінки для умов [21, 22]. Для цього спочатку детальніше розглянемо конструктивну схему запропонованого термоелектричного перетворювача і причину виникнення його методичної похибки.

**Термоелектричний перетворювач з керованим профілем температурного поля.** Конструктивна схема термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля подана на рис. 1.

У ньому передбачена стабілізація профілю температурного поля уздовж електродів головної термопари ТСМ за допомогою декількох підсистем регулювання температури. Для цього у склад звичайного термоелектричного перетворювача введено додаткові давачі температури (тобто додаткові термопари) ТС1, ТС2, ... і відповідні їм нагрівачі Н1, Н2, ... Така конструктивна схема дає змогу забезпечити для ТСМ власний, сталий профіль температурного поля уздовж її електродів, незалежний від профілів об'єкта вимірювання і перевірної печі, а також їхніх змін у ході роботи.

Однак ця сама конструктивна схема є джерелом методичної похибки, причиною якої є тепловий потік  $q$  від нагрівача Н1 до робочого кінця головної термопари ТСМ. Для того, щоби зменшити вплив теплового потоку  $q$ , тобто для того, щоби головна термопара ТСМ вимірювала власне температуру середовища  $T_s$ , по-перше, її робочий кінець винесений на порівняно велику відстань  $L_1$  від найближчого нагрівача Н1 (співвідношення  $L_1$  до діаметра чохла ТСМ більше за 10), а, по-друге, температура, яку повинен підтримувати нагрівач Н1 (уставка його підсистеми регулювання), задана такою, що дорівнює температурі робочого кінця ТСМ. Тому, в ідеальному випадку, тепловий потік  $q$ , через відсутність різниці температур на відрізку  $L_1$  дорівнює нулю і методична похибка відсутня.

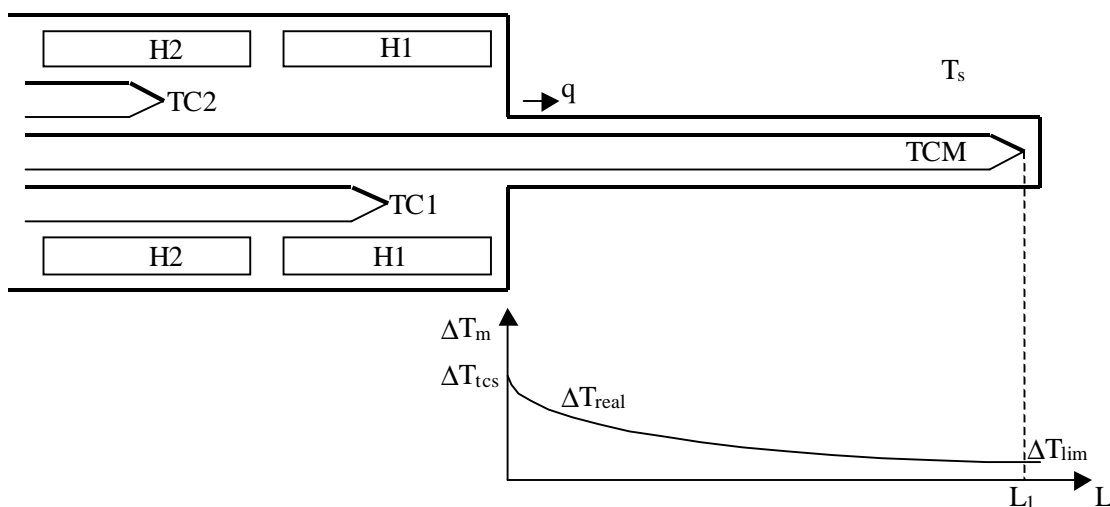


Рис. 1. Конструктивна схема термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля і графік зміни температури уздовж чохла головної термопари

Але внаслідок наявності похибок розкиду характеристик перетворення термопар ТСМ і ТС1 різниця температур на відрізку  $L_1$  нулю не дорівнює, тому тепловий потік  $q$  і створена ним методична похибка мають деякі значення. Якщо границя допустимого відхилення реальної характеристики перетворення термопар типу ХА від номінальної досягає  $\Delta T_{tc}$  °С, то різниця температур  $\Delta T_{tcs}$ , яка створює методичну похибку, на відрізку  $L_1$  становить  $\Delta T_{tcs} = \sqrt{2} \times \Delta T_{tc}$  °С. У зв'язку з тепловіддачею у середовище з температурою  $T_s$  з поверхні чохла ТСМ, який на рис. 1 розміщений праворуч від нагрівача Н1, різниця температур середовища та електродів головної термопарі ТСМ вздовж координати  $L$  змінюється відповідно до кривої  $\Delta T_{real}$ . Тоді значення  $\Delta T_{lim}$ , яке відповідає значенню координати  $L_1$ , дорівнює максимальному значенню методичної похибки пропонованого термоелектричного перетворювача.

Треба відзначити, що аналітичне визначення параметрів кривої  $\Delta T_{real}$  є складним теплотехнічним завданням [23, 24]. Але для оцінки верхньої межі методичної похибки  $\Delta T_{lim}$  пропонованого термоелектричного перетворювача цю задачу можна значно спростити. Для її визначення достатньо оцінити температуру у точці робочого кінця ТСМ, тобто знайти значення тільки однієї точки кривої  $\Delta T_{real}$  для координати  $L_1$ , яка відповідає значенню шуканої методичної похибки  $\Delta T_{lim}$ . Знайти це значення можна у вигляді розв'язання диференційного рівняння, яке описує тепловий баланс чохла головної термопарі ТСМ.

**Аналітичне розв'язання задачі визначення методичної похибки.** Відповідно до прийнятого методу розв'язання задачі оцінки методичної похибки  $\Delta T_{lim}$  визначимо вплив нагрівача Н1 на робочий кінець головної термопарі ТСМ. Припустимо, що у деякий момент часу різниця температур між нагрівачем Н1 і робочим кінцем головної термопарі ТСМ дорівнює нулю. Надалі нагрівач Н1 за короткий час доводить цю різницю до значення  $\Delta T_{tcs}$ . У такому разі настає перехідний процес, який можна описати, використовуючи закон Ньютона–Ріхмана [25, 26]. Теоретично такий перехідний процес продовжується нескінченно, але можна визначити границю, до якої він прямує. Ця границя і буде відповідати методичній похибці  $\Delta T_{lim}$ , викликаний різницею температур  $\Delta T_{tcs}$  між нагрівачем Н1 і робочим кінцем головної термопарі ТСМ.

Для знаходження методичної похибки  $\Delta T_{lim}$  складаємо рівняння теплового балансу для чохла головної термопарі ТСМ. Елементарна кількість теплоти  $q$ , що виділяється нагрівачем Н1 за час  $dt$ , витрачається на нагрівання металу на температуру  $dT$  і на розсіяння тепла в просторі з температурою  $T_s$ . Згідно із законом Ньютона–Ріхмана [25, 26] запишемо диференціальне рівняння для температури усталеного режиму, визначивши температуру прогріву чохла  $T$  як функцію часу  $t$ :

$$qdt = cVrdT + aS(T - T_s)dt, \quad (1)$$

де  $q$  – тепловий потік, викликаний різницею температур між нагрівачем Н1 і робочим кінцем головної термопарі ТСМ;  $c$  – теплоємність матеріалу чохла головної термопарі ТСМ;  $V$  – об'єм матеріалу чохла головної термопарі ТСМ;  $S$  – площа зовнішньої поверхні, що охолоджується, тобто чохла головної термопарі ТСМ;  $a$  – коефіцієнт теплопередачі сталь-повітря;  $r$  – густина матеріалу чохла головної термопарі ТСМ.

Треба зазначити, що диференціальне рівняння (1) записано для випадку знаходження нагрівача Н1 не збоку від чохла (як це видно з рис. 1), а в його центрі. Однак така некоректність фізичного змісту диференціального рівняння (1) не призводить до значного спотворення результату, якщо тепловий потік  $q$ , генерований Н1 під дією  $\Delta T_{tcs}$ , буде відповідати реальному. Тоді оцінка методичної похибки буде дещо завищеною, з чим можна змиритися.

Своєю чергою, тепловий потік  $q$  можна розрахувати за формулою [25, 26]:

$$q = \frac{I \Delta T_{tcs} S_N}{L}, \quad (2)$$

де  $I$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу чохла головної термопарі ТСМ;  $\Delta T_{tcs}$  – різниця температур між нагрівачем Н1 і робочим кінцем головної термопарі ТСМ;  $S_N$  – площа поверхні, через яку передається тепловий потік;  $L$  – відстань від нагрівача Н1 до робочого кінця головної термопарі ТСМ.

Розв'язавши диференціальне рівняння (1) щодо часу  $t$ , отримаємо залежність температури робочого кінця головної термопарі ТСМ від часу

$$T = T_s + \frac{q}{aS} \left( 1 - e^{-\frac{aS}{cVr}t} \right). \quad (3)$$

У (3) доданок  $\frac{q}{aS}(1 - e^{-\frac{aS}{cVr}t})$  власне і відповідає методичній похибці  $\Delta T_{\text{lim}}$ , причому визначає зміну цієї методичної похибки у часі (див. рис. 2). Якщо спрямувати час  $t$  до нескінченності, то член  $e^{-\frac{aS}{cVr}t}$  буде прямувати до нуля. Отже, верхня межа методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$  асимптотично прямує до своєї границі

$$\Delta T_{\text{lim}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \left( \frac{q}{aS} (1 - e^{-\frac{aS}{cVr}t}) \right) = \frac{q}{aS}. \quad (4)$$

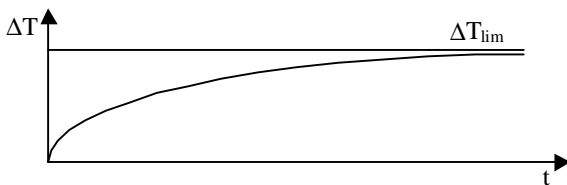


Рис. 2. Зміна методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$  у часі під дією стрибка температури нагрівача НІ

**Оцінка залежності методичної похибки від температури.** Як видно з (1)...(4), методична похибка  $\Delta T_{\text{lim}}$  є функцією багатьох змінних. Оцінимо її значення для конкретної конструкції термоелектричного перетворювача, який ґрунтується на термопарах типу хромель-алюмель (ХА) і має корпус, виготовлений з нержавіючої сталі [21, 22]. Для такого термоелектричного перетворювача значення параметрів, необхідних для оцінки верхньої межі методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$ , будуть становити

$$S_N = 6,3 \times 10^{-5} \text{ m}^2; L = 0,15 \text{ m}; S = 5,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2;$$

$$a = 44 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times \text{K}} [27]; I = 14,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \times \text{K}} [27].$$

Значення границі допустимого відхилення реальної характеристики перетворення термопар від номінальної залежить від вимірюваної температури середовища  $T_s$ . Згідно з [28, 29] границя допустимого відхилення термо-ЕРС реальної характеристики перетворення від номінальної для термопар типу ХА становить

$$\Delta E = 0,14 + 0,22 \times 10^{-3} (T - 300) \text{ mV} \quad (5)$$

за температур, більших за  $300^\circ\text{C}$ , а за менших температур –  $\Delta E = 0,14 \text{ mV}$ .

Для визначення допустимого відхилення в  $^\circ\text{C}$ , потрібного для підстановки в (2), значення  $\Delta E$ , отримане згідно з (5), необхідно поділити на середню чутливість термопари  $s$ , яка для термопар типу ХА становить  $\approx 42 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Результати розрахунку оцінки верхньої межі методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$  подано на графіку (рис. 3). Як видно з цього графіка,  $\Delta T_{\text{lim}}$  є функцією границі допустимого відхилення термопар  $\Delta E$ . Верхня межа методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$  лінійно збільшується за температур більших за  $300^\circ\text{C}$ . За менших температур верхня межа методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$  залишається постійною, оскільки для термопар типу ХА в цьому діапазоні не змінюється границя допустимого відхилення термо-ЕРС реальної характеристики перетворення від номінальної  $\Delta E$ .

**Висновки.** Запропонований метод оцінки методичної похибки термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля [20] є достатньо коректним з погляду фізики, доволі адекватно відображає процеси теплопередачі, які зумовлюють шукану методичну похибку, хоча і забезпечує дещо завищену оцінку верхньої межі цієї похибки при заданих конструктивних параметрів термоелектричного перетворювача. Одночасно запропонований метод оцінки методичної похибки є достатньо простим, забезпечує числову оцінку її верхньої межі і не вимагає використання складного математичного апарату.

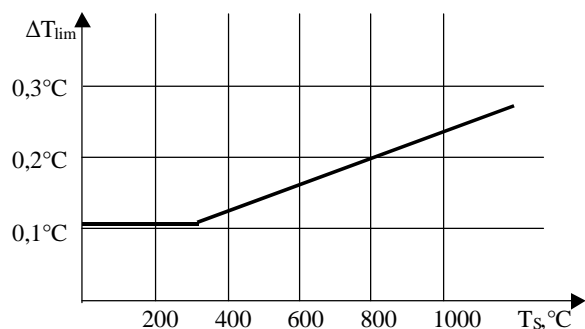


Рис. 3. Зміна методичної похибки  $\Delta T_{\text{lim}}$  від вимірюваної температури  $T_s$

Як видно з графіка рис. 3, верхня межа методичної похибки запропонованого в [20] термоелектричного перетворювача є значно (на порядок) меншою від границі допустимого відхилення реальної характеристики перетворення термопар від номінальної [28,

29]. Отже, метод стабілізації впливної величини, застосований для зменшення впливу на результат вимірювання похибки набутої неоднорідності, виявився ефективним. Методична похибка, яка виникає внаслідок паразитного теплового потоку, практично не погіршить потенціальної точності запропонованого в [20] термоелектричного перетворювача, яка практично буде визначатися точністю взірцевого засобу вимірювання температури, використаного для його перевірки або калібрування задля корекції похибок початкового відхилення характеристики перетворення від номінальної, часового дрейфу під дією температури експлуатації тощо.

Крім того, як видно з (4), існує достатньо простий метод додаткового зменшення методичної похибки, зумовленої тепловим потоком від останньої секції нагрівача до робочого кінця головної термопари – збільшення площі зовнішньої поверхні чохла  $S$ . Цього можна досягти як, наприклад, за рахунок механічної обробки його поверхні (нанесення поздовжніх або поперечних канавок, різьби тощо), так і кріплення на кінці чохла додаткового радіатора.

1. Кочан О.В., Кочан Р.В., Васильків Н.М., Яскілка В.Я. Оцінка максимальної похибки неоднорідних термопар // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2007. – Т. 12. – № 1. – С. 122–129. 2. Датчики для измерения температуры в промышленности / Г.В. Самсонов, А.И. Киц, О.А. Кюздени и др. – К.: Наукова думка, 1972. – 223 с. 3. Куритник И.П. Современное состояние термоэлектрических преобразователей. – М., 1985. – 56 с. (Обзор информ./ ЦНИИТЭИ приборостроения. ТС-6. – Вып.1). 4. Куренков И.И. Некоторые законы термоэлектрической неоднородности // Исследование в области температурных измерений: Сб. тр. – М.: ВНИИМ. – 1976. – С.11–15. 5. А.с. 352152 СРСР. Устройство для измерения температуры. А.А. Саченко, К.М. Обелевская, Л.В. Заничковская и др.; Опубл. 1972, Бюл. № 28. 6. А. Саченко. Повышение точности измерения электрическими методами высоких температур в промышленных условиях. Автореферат дис... к.т.н.: 05.11.05 – “приборы и методы измерения электрических и магнитных величин” – Львов: Физико-механический институт АН УССР, 1978. 7. Kortvelyessy L. *Thermoelement Praxis*. – Vulkan-Verlag, Essen, 1981. – S. 498. 8. Alf Hundves, Henz G. Buschfort. *Self calibrating temperature sensing probe and probe –indicator combination*-United State Patent 3.499.340. 73-1, G01 -15/00. 9. Саченко А.А.,

Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 96 с. 10. Саченко А.А. Разработка методов повышения точности и создание систем прецизионного измерения температуры для промышленных технологий. Дис... д-ра техн. наук: 05.11.16. – Ленинград, 1988. – 278 с. 11. Кочан В.В. Электрические измерители температуры повышенной точности со встроенными калибраторами: Автореферат дисс...канд. техн. наук: 05.11.05/ Киевск. политехн. ин-т. – Киев, 1989. 12. Березький О.М. Засоби вимірювання температури з елементами штучного інтелекту. Автореферат дис... к.т.н.: 05.11.04 – Львів: Державний університет “Львівська політехніка”, 1996. 13. Гришков А.Я., Сирота А.М. Влияние неоднородности термоэлектродов на показания термопар // Исследования сплавов для термопар. – М.: Металлургия, 1969. – С.107–115. 14. Тартаковский Д.Ф. Расчет погрешности термопары от термоэлектрической неоднородности ее электродов // Труды метролог. ин-тов СССР. – 1969. – Вып.105 (165). – С.107–114. 15. Левин И.Я., Рогельберг И.Л. Термоэлектрическая неоднородность проволок и методы ее измерения // Исследование сплавов для термопар. – М.: Металлургия, 1971. – Вып.32. – С. 93–105. 16. Мильченко В.Ю. Исследование методов и разработка средств поверки термоэлектрических преобразователей из неблагородных металлов. Автореферат дис...к.т.н.: 05.11.15 – М.: ВНИИФТРИ, 1984. 17. Мильченко В.Ю., Саченко А.А. Метод определения дрейфа характеристик термоэлектрических преобразователей в произвольном температурном поле // Метрология. –1988. – №8. –С.43–49. 18. Чирка М.І. Підвищення точності вимірювання температури термоелектричними перетворювачами в нерівномірних теплових полях. Автореферат дис... к.т.н.: 05.11.04 – Львів: Держ. ун-т “Львівська політехніка”, 1997. 19. Чирка М.І., Васильків Н.М., Кочан Р.В. Метод підвищення точності прогнозування нестабільності характеристик перетворення термоелектричних перетворювачів // Вісник ТАНГ. Економіко-математичне моделювання. – 1999. – № 6. – С.37–42. 20. Кочан О.В., Кочан Р.В. Термоелектричний перетворювач. Пат. 200701855 Україна, Заявл. 22.02.2007. 21. Кочан О.В., Кочан Р.В. Оцінка похибки вимірювання температури з допомогою термоелектричного перетворювача з керованим профілем температурного поля. Вісник Хмельницького національного університету. Том 1. Технічні науки. – 2007. – № 2. – С. 237–241. 22. Kochan O., Kochan R.,

*Bojko O., Chyrka M. Temperature Measurement System Based on Thermocouple With Controlled Temperature Field. Proc. of the IEEE international workshop on Intelligent Data Acquisition and Advancing Computing Systems (IDAACS'2007), Dortmund, Germany, September 6 – 8, 2007. – P. 47–50.* 23. Карелю Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с. 24. Галицин А.С., Жуковский А.Н. Интегральные преобразования и специальные функции в задачах теплопроводности. – К.: Наукова думка, 1975. – 281 с. 25. Крижанівський С.Є. Диференціальні рівняння. Харків, Державне науково-технічне видавництво

України ім. Гонти, 1938. – 398 с. 26. Недужий И.А., Алабовский А.Н. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 248 с. 27. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с. 28. ГОСТ 3044-84. Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статистические характеристики преобразования, – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 56 с. 29. Бычковский Р.В. Контактные датчики температуры. – М.: Металлургия, 1978. – 240 с.

УДК 519.65

## НЕПЕРЕРВНА АПРОКСИМАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОДІОДНОГО СЕНСОРА І ЙОГО ЧУТЛИВОСТІ СУМОЮ МНОГОЧЛЕНА ТА ЕКСПОНЕНТИ З НЕЛІНІЙНИМ ПАРАМЕТРОМ

© Малахівський Петро, 2008

Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки та математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, Українська академія друкарства, м. Львів, [psmal@cmm.lviv.ua](mailto:psmal@cmm.lviv.ua)

*Розглянуто задачу побудови неперервного й гладкого мінімаксного сплайн-наближення функцій сумою многочлена та експоненти з нелінійним параметром. Кожна ланка такого сплайна визначається як чебишовське наближення функції з ермітовим інтерполюванням у крайніх точках відрізка. Запропоновано алгоритм побудови такого сплайн-наближення із заздалегідь заданою похибкою. Подано неперервну апроксимацію температурної характеристики й чутливості термодіодного сенсора. Виконано аналіз похибки цієї апроксимації, а також точності відтворення чутливості сенсора.*

*Рассмотрена задача построения непрерывного и гладкого минимаксного сплайн-приближения функций суммой многочлена и экспоненты с нелинейным параметром. Каждое звено такого сплайна определяется как чебышевское приближение функции с эрмитовым интерполированием в крайних точках отрезка. Предложен алгоритм построения такого сплайн-приближения с предварительно заданной погрешностью. Подана непрерывная аппроксимация температурной характеристики и чувствительности термодиодного сенсора. Осуществлен анализ погрешности этой аппроксимации, а также точности восстановления чувствительности сенсора.*

*It is considered the problem of construction of the continuous and smoothed minimax spline-approximation by sum of polynomial and exponential with nonlinear parameter. The algorithm for construction so approximation with an a priori given error, when all spline links are determined as Chebyshev approximation, is described. An exemplary application of this approximation for the transfer-function of diode temperature sensor for cryogenic temperature range is given. The comparison of values of sensor sensitivity and values of the derivative of obtained spline function is done.*

Розглянемо задачу побудови неперервного й гладкого мінімаксного сплайн-наближення функцій сумою многочлена та експоненти

$$E_n(a; x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i + A e^{px}, \quad A \neq 0, \\ p \neq 0, n = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

з нелінійним параметром  $p$ . Сплайн-наближення таким виразом застосовується для апроксимації залежностей деяких фізичних величин [1], зокрема, опису температурної характеристики термодіодного сенсора [2]. Задача полягає у побудові неперервного й гладкого сплайн-наближення, яке забезпечує апроксимацію