

Симуляція впливу термоелектричної неоднорідності

Б. Стадник д.т.н., проф., С. Прохоренко, д.т.н., проф., Т. Домінюк к.т.н.,
Р. Івах, к.т.н., доц., Н. Домінюк, М. Прохоренко, *М. Возний

Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери, 12, Львів – Україна

*Жешівський університет, Рейтана 16, Ряшів – Польща

Abstract. Article describes the simulation of thermoelectric inhomogeneity influence on thermopower of thermocouple. Modeling results correspond with analytical solution of this problem and results of experiment.

Keywords: modeling, thermocouple, thermoelectric, thermopower, thermoelectric inhomogeneity, temperature measurements.

Постановка проблеми. Станом на сьогодні температура залишається одним з найважливіших параметрів у різноманітних технологічних процесах. За такими параметрами як температурний діапазон та точність вимірювання термоелектричні перетворювачі температури залишаються поза конкуренцією для контактної термометрії. Проте їх точність і стабільність у часі залежить від стабільності термоелектричних характеристик термоелектродів, які в можуть змінюватися в умовах експлуатації. Слід зазначити, що зміни лише в одному з термоелектродів вже можуть викликати зміну функції перетворення термоелектричного перетворювача, а відтак і зростання похибки вимірювання температури.

Для потреб практичного використання вводять поняття термоелектричної неоднорідності — неоднаковість по довжині термоелектрода значень коефіцієнта Зеєбека. Саме термоелектричною неоднорідністю пояснюють як початкове відхилення від номінальної статичної характеристики так і набуте у процесі експлуатації [1].

Слід зазначити, що термоелектрична неоднорідність впливає на термо-ЕРС термоелектричного перетворювача лише у випадку, коли градієнт температури топологічно відповідає її розташуванню.

Мета – розроблення інструментарію для оцінювання впливу термоелектричної неоднорідності на термо-ЕРС термоелектричного перетворювача.

Як відомо, термо-ЕРС термоелектричного перетворювача, що складається з термоелектродів А та В можна записати у вигляді

$$E_{AB}|_{T_1}^{T_2} = E_{AB,n}|_{T_1}^{T_2} + \Delta E_{AB,x}|_{T_1}^{T_2}. \quad (1)$$

де:

$E_{AB,n}|_{T_1}^{T_2} = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{A,n}(T) dT - \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{B,n}(T) dT$ – номінальне значення термо-ЕРС, що виникає у термоелектричному перетворювачі, робочий з'юот (т.з. робочі кінці) якого знаходиться при температурі T_2 , а з'юот порівняння (вільні кінці) – при T_1 , а

$$\Delta E_{AB,x}|_{T_1}^{T_2} = \int_{x_1}^{x_2} \nabla T(x) \cdot \Delta \alpha_{A,x}(x) dx - \int_{x_1}^{x_2} \nabla T(x) \cdot \Delta \alpha_{B,x}(x) dx$$

— паразитна термо-е.р.с, що виникає при накладанні градієнта температури $\nabla T(x)$ на зони з термоелектричною неоднорідністю $\Delta \alpha_{A,x}(x)$ та $\Delta \alpha_{B,x}(x)$.

Оскільки методики визначення термоелектричної неоднорідності базуються на вимірюванні термо-ЕРС, що виникає у відомому (задається попередньо) температурному полі, через яке протягується термоелектрод. Таким чином отримується залежність $E(x)$, з якої вираховуються значення термоелектричної неоднорідності

Тому вихідні дані для побудови моделі можна сформулювати наступним чином:

розглядається один однорідний термоелектрод (коефіцієнт термо-ЕРС є однаковий по довжині) в одному місці якого наявна термоелектрична неоднорідність, залежність якої від координати задається;

вздовж термоелектроду рухається температурне поле, профіль якого можна задавати;

обчислюється залежність термо-ЕРС, що виникає на різних кінцях термоелектроду, від координати, що задає положення температурного поля.

Оскільки розглядається тільки один термоелектрод, то оцінювання числового значення термо-ЕРС

$E_A|_{x_1}^{x_2}$ здійснюється за наступним виразом:

$$E_A|_{x_1}^{x_2} = \int_{x_1}^{x_2} \nabla T(x) \cdot \alpha_{A,x}(x) dx, \quad (2)$$

де $\Delta \alpha_{A,x}(x)$ — залежність коефіцієнта термо-ЕРС від координати x , $\nabla T(x)$ — залежність градієнта температури від координати x .

На практиці складно користуватися аналітичним представленням як термоелектричної неоднорідності так і температурного поля вздовж термоелектроду. Тому для рішення цієї задачі доцільно скористатися методом скінченних елементів. Оскільки діаметр термоелектроду значно менший за його довжину, то раціонально звести поставлену задачу до осьового розгляду (вздовж осі термоелектроду).

Розбивши розглядуваний відрізок термоелектроду на елементарні ділянки довжиною dx , провівши лінійну інтерполяцію профілю температурного поля вздовж термоелектроду та профілю термоелектричної неоднорідності з кроком dx , вираховавши градієнт температури DT вздовж осі x , можна обчислити результуючу термо-ЕРС за наступною формулою:

$$E = \sum_{x=x_1}^{x_2} DT_x \cdot \alpha_x \cdot dx. \quad (3)$$

Обчислене за (3) значення термо-ЕРС відповідатиме одному положенню температурного поля. Оскільки безконтактні методи дослідження термоелектричної неоднорідності оперують рухомим температурним полем вздовж термоелектроду, то змістивши заданий профіль температурного поля, наприклад, вправо на dx проводимо обчислення термо-ЕРС згідно виразу (3). Таким чином отримуємо залежність термо-ЕРС E від положення температурного поля відно-

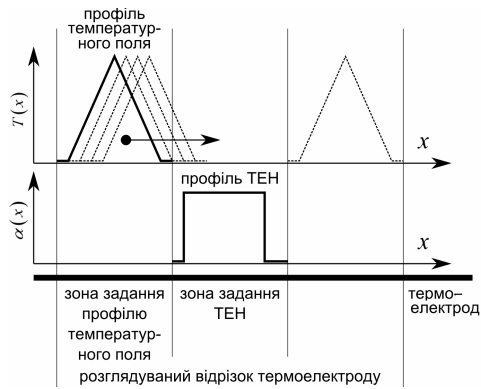


Рис. 1. Схематичне представлення руху температурного поля через зону термоелектричної неоднорідності.

сно зони термоелектричної неоднорідності.

Для кращого розуміння процесу обчислень доцільно в загальних рисах представити рух температурного поля через зону термоелектричної неоднорідності (див. рис. 1). Профіль температурного поля задається у своїх координатах, а профіль термоелектричної неоднорідності – у своїх. Оскільки градієнт температурного поля має цілковито проходити через зону термоелектричної неоднорідності, то розглядуваний відрізок термоелектроду повинен мати довжину, яка вміщуватиме подвійну довжину заданого профілю температурного поля та довжину перед-задання профілю термоелектричної неоднорідності. Виходячи з цього формується єдина система координат та прово-



Рис. 2. Алгоритм обчислення залежності термо-ЕРС E від положення температурного поля $T(x)$ відносно зони термоелектричної неоднорідності α_x .

диться лінійне інтерполювання заданих профілів температурного поля та термоелектричної неоднорідності з кроком dx . Після обчислення термо-ЕРС профіль температурного поля зсувається в єдиній системі координат праворуч на dx . Все повторюється знову доки температурне поле повністю не перейде зону термоелектричної неоднорідності.

За розписаним вище принципом було сформовано алгоритм, що представлено на рис. 2. Результатом роботи цього алгоритму буде графічне представлення залежності термо-ЕРС E від положення профілю температурного поля відносно зони термоелектричної неоднорідності.

За цим алгоритмом зrealізовано імітаційну модель в середовищі MATLAB.

Результати обчислень з використанням розробленої моделі числових значень термо-ЕРС, що виникають при проходженні різних типових профілів температурного поля $T(x)$ через ділянки провідника з різними формами термоелектричної неоднорідності $\alpha(x)$, подані на рис. 3.

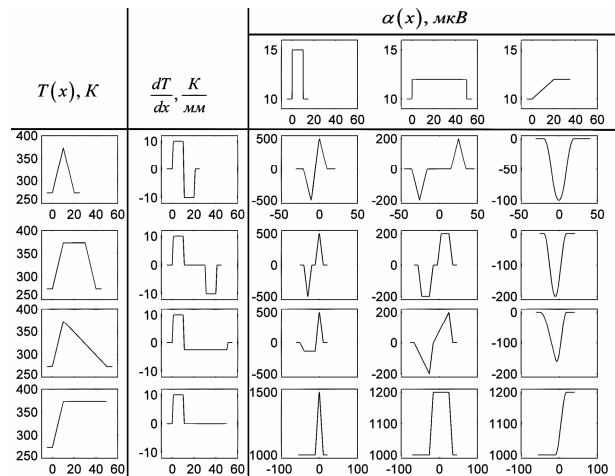


Рис. 3. Результати числового моделювання термо-ЕРС, що виникає при проходженні різних профілів температурного поля $T(x)$ через ділянки провідника з термоелектричною неоднорідністю $\alpha(x)$. Одиниці вимірювання змінної x — мм.

Кількісні та якісні результати проведеного моделювання цілком узгоджуються з аналітичними розв'язками цієї задачі, що представлені в [1]. Криві температурних профілів відповідають безконтактним методам точкового нагрівання симетричних і асиметричних градієнтів та методу двох середовищ.

Висновки: ×Адекватність розробленої моделі підтверджується співпадінням результатів симуляції з відомими аналітичними розв'язками. ×Розроблений інструментарій дозволяє проводити симуляцію впливу термоелектричної неоднорідності будь-якої форми будь якого термоелектроду на термо-ЕРС у заданому температурному полі. ×Цікавішою є обернена задача – за реєстрованим профілем термо-ЕРС, отриманим при проходженні температурного поля з відомим профілем, відтворити профіль термоелектричної неоднорідності.

[1] Рогельберг И.Л. Сплавы для термопар / Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. [Справ.изд.] -М.: Металлургия. – 1983. – 360 с.