

УДК 537.32



Анатичук Л.І.

Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.

Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна



Кобилянський Р.Р.

**ПРО ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ
ТЕМПЕРАТУРИ ЕЛЕКТРОННИМ
МЕДИЧНИМ ТЕРМОМЕТРОМ З
ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМ ДЖЕРЕЛОМ ЖИВЛЕННЯ**

У роботі наведено результати комп'ютерних досліджень впливу термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра на точність вимірювання температури. За допомогою комп'ютерного моделювання встановлено залежність похибки вимірювання температури, що викликана впливом термоелектричного джерела живлення, від відстані між датчиком температури і термоелектричним джерелом живлення. Розроблено вдосконалену конструкцію електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, термоелектричне джерело живлення, електронний медичний термометр, точність вимірювання температури.

The paper presents the results of computer studies on the impact of thermoelectric power supply of electronic medical thermometer on the accuracy of temperature measurement. Computer simulation was used to establish the dependence of the magnitude of temperature measurement error due to the impact of thermoelectric power supply on the distance between the sensor and thermoelectric power supply. An improved design of electronic medical thermometer with thermoelectric power supply was developed.

Key words: computer simulation, thermoelectric power source, electronic medical thermometer, accuracy of the temperature measurement.

Вступ

Загальна характеристика проблеми. Сьогодні вимірювання температури тіла людини в медицині – один із перших і найбільш розповсюджених показників стану здоров'я. Уже понад 300 років для вимірювання температури людини використовують ртутні термометри.

У світі донедавна випускалося щорічно близько 45 млн. ртутних термометрів, на виготовлення яких витрачалося 45 тонн ртуті. Рано чи пізно через необережне використання термометрів вони розбивалися, а ртуть залягала десь по шпаринах житлових приміщень або лікарень, поступово отруюючи людей, що там знаходяться. Тому в останні десятиріччя завдяки досягненням у мікроелектроніці розроблено електронні медичні термометри, які поступово замінюють ртутні.

Однак цим екологічні проблеми не розв'язані повною мірою. Як джерело живлення для електронних термометрів використовуються хімічні гальванічні елементи, що містять у своєму складі отруйні речовини такі, як луги, свинець, кадмій, ртуть, цинк та нікель. Згідно із статистичними даними вже виготовлено майже 200 млн. електронних термометрів, а для забезпечення населення такими термометрами їх необхідно майже 1 млрд. штук. Тобто така кількість хімічних гальванічних елементів має щороку замінюватися у термометрах, оскільки ресурс

роботи їх не більше одного року, а за інтенсивного використання термометра, наприклад, у лікарні, він значно менший. Проте належної утилізації і переробки таких гальванічних елементів практично немає.

Хімічні гальванічні елементи мають ще один недолік – у період, коли закінчується їх термін придатності, виникає проблема достовірності показів електронного термометра. Ця проблема важлива, оскільки від показів термометра залежить прийняття першочергових дій. Звідси слідує, що заміна хімічних гальванічних елементів та розробка термоелектричного джерела живлення для електронного термометра, завдяки якому термометр буде працювати від тепла тіла людини, є актуальною [1-10]. Однак не менш важливим при цьому залишається питання точності вимірювання температури за допомогою електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення.

Тому *мета роботи* – визначення впливу термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра на точність вимірювання температури.

Комп'ютерне моделювання впливу термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра на точність вимірювання температури

Електронний медичний термометр з термоелектричним джерелом живлення складається з трьох основних функціональних вузлів: датчика температури, реєстратора температури та термоелектричного джерела живлення, що працює від тепла тіла людини. Загально відомо, що наявність тепловідводу, яким в даному випадку є термоелектричне джерело живлення, призводить до зміни температурного та теплового полів в області вимірювання температури. Це, у свою чергу, знижує точність вимірювання температури за допомогою такого термометра.

З метою визначення впливу термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра на точність вимірювання температури було створено тривимірну комп'ютерну модель біологічної тканини, поверхня якої контактує з термоелектричним джерелом живлення термометра. Для побудови комп'ютерної моделі використано пакет прикладних програм Comsol Multiphysics [11], що дає можливість моделювати теплофізичні процеси у біологічній тканині тіла людини з урахуванням кровообігу та метаболізму. Розрахунок розподілів температур та густини теплових потоків у біологічній тканині та термоелектричному тепломірі здійснювався методом скінченних елементів.

Комп'ютерним моделюванням було визначено вплив термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра на температуру поверхні шкіри тіла людини в умовах реальної експлуатації. Встановлено залежність похибки вимірювання температури від відстані між датчиком температури і термоелектричним джерелом живлення (рис.1 а, б).

Встановлено, що для зменшення похибки вимірювання температури тіла людини за допомогою такого термометра необхідно, щоб датчик температури і термоелектричне джерело живлення були розташовані на такій відстані між ними, за якої зміна температури тіла, викликана термоелектричним джерелом живлення, не приводить до зміни температури тіла, де розташований датчик температури.

З рис.1 а видно, що з розміщенням датчика температури і термоелектричного джерела живлення на поверхні тіла людини на відстані $L = 2$ см відхилення виміряного значення температури від істинного складає $\Delta T = 0.1$ °C.

На відстані датчика температури і термоелектричного джерела живлення $L = 5$ см відхилення температури складає $\Delta T = 0.01$ °C (рис.1 б). Таким чином, точність вимірювання температури тіла людини за допомогою електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом

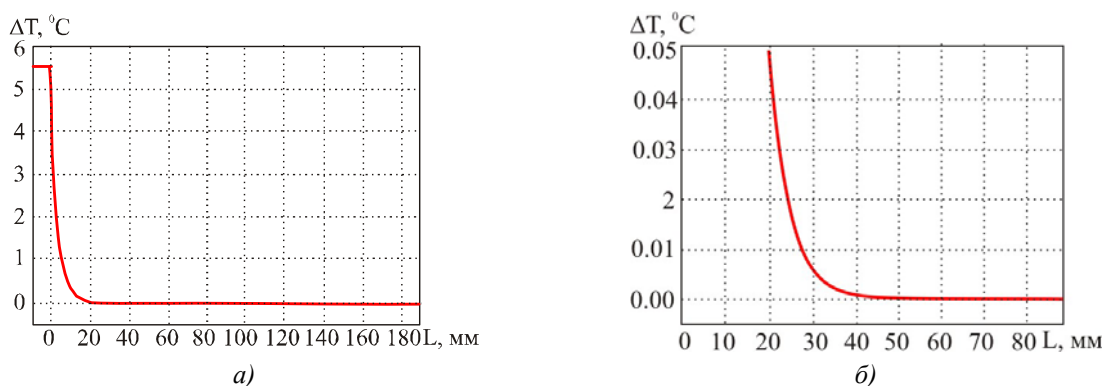


Рис.1. Відхилення температури тіла людини в області вимірювання, зумовлене впливом термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра
 а) в повному діапазоні зміни величини похибки вимірювання температури,
 б) в області оптимальної величини похибки вимірювання температури
 (ΔT – відхилення температури (похибка вимірювання температури), L – відстань від краю термоелектричного джерела живлення термометра)

живлення буде залежати від вибору конструкції термометра, тобто від відстані між датчиком температури та термоелектричним джерелом живлення.

Звідси слідує, що конструктивно електронний медичний термометр з термоелектричним джерелом живлення має бути виготовлений таким чином, щоб відстань між датчиком температури і термоелектричним джерелом живлення була більшою від величини, яка визначається функцією $L(\Delta T)$, що є оберненою функцією до наведеної на рис.1 а. За допомогою комп'ютерної апроксимації залежності $L(\Delta T)$ отримано такий аналітичний її вигляд:

$$L(\Delta T) = (a + c \cdot \Delta T^{0.5} + e \cdot \Delta T + g \cdot \Delta T^{1.5} + i \cdot \Delta T^2) / (1 + b \cdot \Delta T^{0.5} + d \cdot \Delta T + f \cdot \Delta T^{1.5} + h \cdot \Delta T^2 + j \cdot \Delta T^{2.5}), \quad (1)$$

Тут L – відстань між датчиком температури і термоелектричним джерелом живлення, ΔT – похибка вимірювання температури, коефіцієнти $a = 56.667757$, $b = 55.97536$, $c = 4504.9994$, $d = 5420.2644$, $e = 193369.08$, $f = 16196.544$, $g = -62445.826$, $h = -7992.4153$, $i = -8885.923$, $j = 4548.9939$.

Конструкція електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення

На рис.2 показано схематичну конструкцію електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення. Такий термометр містить власне сам електронний медичний термометр та термоелектричне джерело живлення. У свою чергу, електронний медичний термометр містить корпус 1, датчик температури 2, аналого-цифровий перетворювач 3, стабілізатор напруги 4, конденсатор 5 та цифровий дисплей 6. Термоелектричне джерело живлення складається з двох термоелектричних мікромодулів 7 та тепловідвідного радіатора 8, що відводить тепло з холодних сторін термоелектричних мікромодулів 7 у навколишнє середовище. Тепловідвідний радіатор 8 виконаний у вигляді корпусу із матеріалу з високою теплопровідністю. Датчик температури 2 розташований на вістрі нетеплопровідного елемента 9, з'єданого з термоелектричним джерелом живлення. Довжина нетеплопровідного елемента 9 вибрана згідно залежності (1) із врахуванням умови неперевищення заданої похибки вимірювання температури. Кожен термоелектричний мікромодуль 7 містить плоску термоелектричну батарею [1, 2], яка складається із сукупності з'єднаних у послідовне електричне коло напівпровідникових термопарних

елементів, проміжки між якими заповнені електроізоляційним епоксидним компаундом, та дві керамічні пластини, що щільно контактують з верхньою і нижньою гранями термопарних елементів, а також два електричних виводи. Такий мікромодуль виготовлений на базі сучасних високоефективних термоелектричних матеріалів на основі *Bi-Te*.

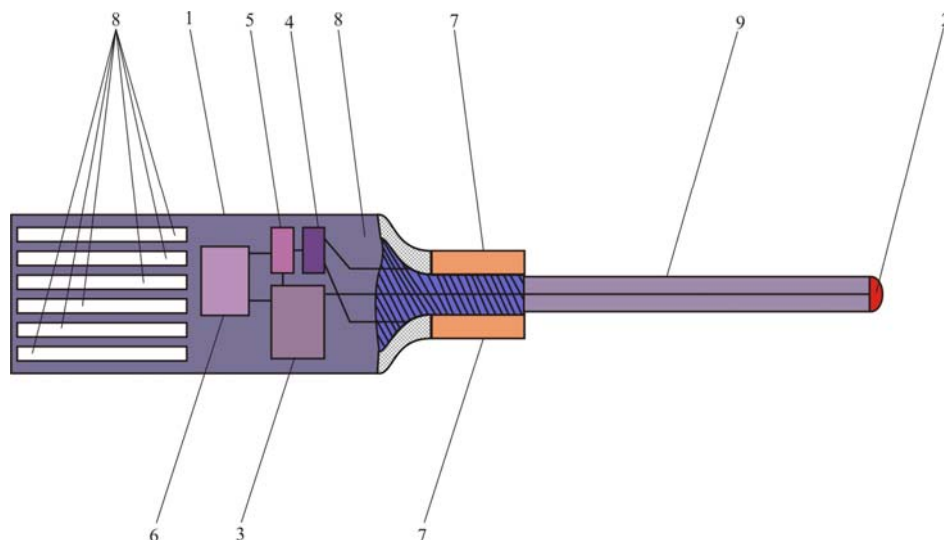


Рис.2. Конструкція електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення [10]:

- 1 – корпус, 2 – датчик температури, 3 – аналого-цифровий перетворювач, 4 – стабілізатор напруги, 5 – конденсатор, 6 – цифровий дисплей, 7 – термоелектричні мікромодулі, 8 – тепловідвідний радіатор, 9 – нетеплопровідний елемент

Вимірювання температури тіла людини за допомогою електронного медичного термометра здійснюється датчиком температури 2, який безпосередньо контактує з тілом людини, а електричне живлення такого термометра забезпечується термоелектричними мікромодулями 7 за рахунок тепла тіла людини. Для того, щоб отримати необхідні електричну напругу та потужність за допомогою термоелектричних мікромодулів 7 для живлення електронного медичного термометра, слід забезпечити перепад температури між гранями мікромодулів. З прикладанням електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення до тіла людини (наприклад, під пахву) створюється градієнт температури між відповідними гранями термоелектричних мікромодулів 7, внаслідок чого на їх виводах генерується термоелектрорушійна сила (термоЕРС), що забезпечує електричне живлення такого приладу. Величина термоЕРС відповідає значенню теплового потоку, що проходить через термоелектричні мікромодулі 7, холодні сторони яких контактують з тепловідвідним радіатором 8, який відводить тепло у навколишнє середовище. В конструкції приладу використовується також стабілізатор напруги 4 термоелектричних мікромодулів 7 до рівня 1.5 В та конденсатор 5 для накопичення електричного заряду, необхідного для включення електронного медичного термометра.

Перевага такого термометра порівняно із звичайним електронним в екологічній безпечності, оскільки він не містить хімічних гальванічних джерел живлення, що потребують спеціальної утилізації, а також в простоті експлуатації, що зумовлена відсутністю періодичної заміни джерел живлення. Запропонована конструкція термометра забезпечує підвищену точність вимірювання температури тіла людини за допомогою електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення, причому електричне живлення такого термометра стабільне в часі та не потребує затрат на обслуговування.

Висновки

1. За допомогою комп'ютерного моделювання визначено вплив термоелектричного джерела живлення електронного медичного термометра на точність вимірювання температури. Встановлено залежність величини похибки вимірювання температури, що викликана впливом термоелектричного джерела живлення, від відстані між датчиком температури і термоелектричним джерелом живлення.
2. Розроблено конструкцію електронного медичного термометра з термоелектричним джерелом живлення, що дає можливість підвищити точність вимірювання температури тіла людини за допомогою такого термометра.

Література

1. Анатичук Л.І. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник. – / Л. И. Анатичук // К.: Наукова думка, 1979. – 768 с.
2. Анатичук Л.І. Термоэлектричество. Т.2. Термоэлектрические преобразователи энергии. – / Л.И. Анатичук // Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. – 376 с.
3. Струтинская Л.Т. Термоэлектрические микрогенераторы. Современное состояние и перспективы использования / Л.Т. Струтинская // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – №4. – с. 5-13.
4. Анатичук Л.І. Рациональные области исследований и применений термоэлектричества / Л.И. Анатичук // Термоэлектричество.– 2000.– №4. – С.3-15.
5. Анатичук Л.І. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества // Л.И. Анатичук // Термоэлектричество – 2007. – №2. – С. 7-20
6. Анатичук Л.І. Електронний медичний термометр з термоелектричним джерелом живлення / Л.І. Анатичук, Р.Р. Кобилянський, С.Б. Романюк // Стендовий доклад XV Міжнародного форуму по термоелектричтву 21-24 мая 2013 года. – Таллінн, Естонія, 2013.
7. Заявка № u201308794 від 15.07.13. Електронний медичний термометр з термоелектричним джерелом живлення // Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Романюк С.Б. – 2013.
8. Заявка № u201308855 від 15.07.13. Електронний медичний термометр з фотоелектричним джерелом живлення // Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Романюк С.Б. – 2013.
9. Заявка № u201308793 від 15.07.13. Електронний медичний термометр з комбінованим джерелом живлення // Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Романюк С.Б. – 2013.
10. Заявка № u201312570 від 28.10.2013. Електронний медичний термометр з термоелектричним джерелом живлення // Анатичук Л.І. – 2013.
11. COMSOL Multiphysics User's Guide // COMSOLAB. – 2010. – 804 p.

Надійшла до редакції 29.10.2013