

УДК 537.32

Анатычук Л.И., Кобылянский Р.Р.



Анатычук Л.И.

Институт термоэлектричества НАН и МОН  
Украины, ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина

**О ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ЭЛЕКТРОННЫМ  
МЕДИЦИНСКИМ ТЕРМОМЕТРОМ С  
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ  
ИСТОЧНИКОМ ПИТАНИЯ**



Кобылянский Р.Р.

---

*В работе приведены результаты компьютерных исследований влияния термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра на точность измерения температуры. С помощью компьютерного моделирования установлена зависимость величины погрешности измерения температуры, которая вызвана влиянием термоэлектрического источника питания, от расстояния между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания. Разработана усовершенствованная конструкция электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания.*

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, термоэлектрический источник питания, электронный медицинский термометр, точность измерения температуры.

*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 supply, electronic medical thermometer, accuracy of temperature measurement.

## Введение

*Общая характеристика проблемы.* В настоящее время измерение температуры тела человека в медицине является одним из первых и наиболее распространенных показателей состояния здоровья. Уже свыше 300 лет для измерения температуры человека используют ртутные термометры.

В мире до недавнего времени выпускалось ежегодно около 45 млн. ртутных термометров, на изготовление которых тратилось 45 тонн ртути. Рано или поздно из-за неосторожного обращения термометры разбивались, а ртуть накапливалась где-то в щелях жилых помещений или больниц, постепенно отравляя людей, которые там находились. Поэтому в последние десятилетия, благодаря достижениям в микроэлектронике, разработаны электронные медицинские термометры, которые постепенно заменяют ртутные.

Однако этим экологические проблемы не решены в полной мере. В качестве источников питания для электронных термометров используются химические гальванические элементы,

которые содержат в своем составе ядовитые вещества, такие как щелочи, свинец, кадмий, ртуть, цинк и никель. Согласно статистическим данным уже изготовлено около 200 млн. электронных термометров, а для обеспечения населения такими термометрами их необходимо около 1 млрд. штук. То есть такое количество химических гальванических элементов нужно ежегодно заменять в термометрах, поскольку ресурс работы их не больше одного года, а при интенсивном использовании термометра, например, в больнице, он значительно меньше. Однако утилизация и переработка таких гальванических элементов практически отсутствует.

Химические гальванические элементы имеют еще один недостаток – в период, когда заканчивается их срок годности, возникает проблема точности показаний электронного термометра. Эта проблема является важной, поскольку от показаний термометра зависит принятие первоочередных действий. Из выше сказанного следует, что замена химических гальванических элементов и разработка термоэлектрического источника питания для электронного термометра, благодаря которому термометр будет работать от тепла тела человека, является актуальной [1-10]. Однако не менее важными при этом остаются вопросы точности измерения температуры с помощью электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания.

Поэтому целью работы является определение влияния термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра на точность измерения температуры.

### **Компьютерное моделирование влияния термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра на точность измерения температуры**

Электронный медицинский термометр с термоэлектрическим источником питания состоит из трех основных функциональных узлов: датчика температуры, регистратора температуры и термоэлектрического источника питания, который работает от тепла тела человека. Общеизвестно, что наличие теплоотвода, которым в данном случае является термоэлектрический источник питания, приводит к изменению температурного и теплового полей в области измерения температуры. Это, в свою очередь, снижает точность измерения температуры с помощью такого термометра.

С целью определения влияния термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра на точность измерения температуры была создана трехмерная компьютерная модель биологической ткани, поверхность которой контактирует с термоэлектрическим источником питания термометра. Для построения компьютерной модели использован пакет прикладных программ Comsol Multiphysics [11], что дает возможность проводить моделирование теплофизических процессов в биологической ткани тела человека с учетом кровообращения и метаболизма. Расчеты распределений температур и плотности тепловых потоков в биологической ткани и термоэлектрическом тепломере осуществлялись методом конечных элементов.

Компьютерным моделированием было определено влияние термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра на температуру поверхности кожи тела человека в условиях реальной эксплуатации. Установлена зависимость погрешности измерения температуры от расстояния между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания (рис. 1 а, б).

Установлено, что для уменьшения погрешности измерения температуры тела человека с помощью такого термометра необходимо, чтобы датчик температуры и термоэлектрический источник питания были расположены на таком расстоянии между ними, при котором изменение температуры тела, вызванное термоэлектрическим источником питания, не приводит к изменению температуры тела, где расположен датчик температуры.

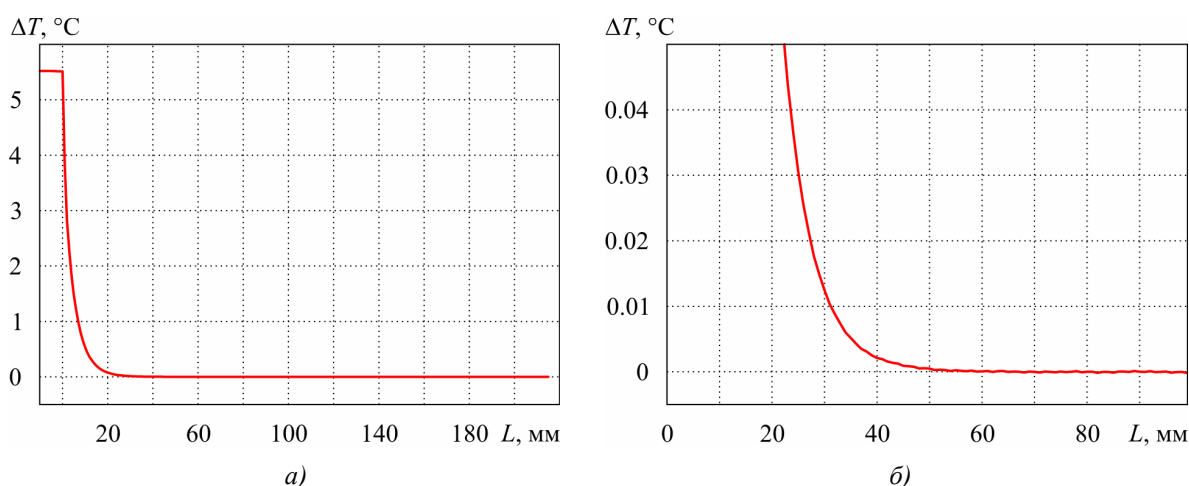


Рис. 1. Отклонение температуры тела человека в области измерения, обусловленное влиянием термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра  
а) в полном диапазоне изменения величины погрешности измерения температуры,  
б) в области оптимальной величины погрешности измерения температуры  
( $\Delta T$  – отклонение температуры (погрешность измерения температуры),  
 $L$  – расстояние между датчиком температуры и ТЭ источником питания термометра).

Из рис. 1 а видно, что при размещении датчика температуры и термоэлектрического источника питания на поверхности тела человека на расстоянии  $L = 2$  см отклонение измеренного значения температуры от истинного составляет  $\Delta T = 0.1$  °С. При расстоянии между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания  $L = 5$  см отклонение температуры составляет  $\Delta T = 0.01$  °С (рис.1 б). Таким образом, точность измерения температуры тела человека с помощью электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания будет зависеть от выбора конструкции термометра, то есть от расстояния между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания.

Отсюда следует, что конструктивно электронный медицинский термометр с термоэлектрическим источником питания должен быть изготовлен таким образом, чтобы расстояние между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания было равно или больше величины, которая определяется функцией  $L(\Delta T)$ , являющаяся обратной функцией к приведенной на рис. 1 а. С помощью компьютерной аппроксимации зависимости  $L(\Delta T)$  получен следующий аналитический вид такой зависимости:

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

где  $L$  – расстояние между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания,  $\Delta T$  – погрешность измерения температуры, коэффициенты  $a = 56.667757$ ,  $b = 55.97536$ ,  $c = 4504.9994$ ,  $d = 5420.2644$ ,  $e = 193369.08$ ,  $f = 16196.544$ ,  $g = -62445.826$ ,  $h = -7992.4153$ ,  $i = -8885.923$ ,  $j = 4548.9939$ .

### Конструкция электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания

На рис. 2 представлена схематическая конструкция электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания. Такой термометр содержит собственно сам

электронный медицинский термометр и термоэлектрический источник питания. В свою очередь, электронный медицинский термометр содержит корпус 1, датчик температуры 2, аналого-цифровой преобразователь 3, стабилизатор напряжения 4, конденсатор 5 и цифровой дисплей 6. Термоэлектрический источник питания состоит из двух термоэлектрических микромодулей 7 и теплоотводящего радиатора 8, который отводит тепло от холодных сторон термоэлектрических микромодулей 7 в окружающую среду. Теплоотводящий радиатор 8 выполнен в виде корпуса из материала с высокой теплопроводностью. Датчик температуры 2 расположен на острие нетеплопроводящего элемента 9, соединенного с термоэлектрическим источником питания. Длина нетеплопроводящего элемента 9 выбрана согласно зависимости (1) с учетом условия неперевышения заданной погрешности измерения температуры. Каждый термоэлектрический микромодуль 7 содержит плоскую термоэлектрическую батарею [1, 2], которая состоит из совокупности соединенных в последовательную электрическую цепь полупроводниковых термопарных элементов, промежутки между которыми заполнены электроизоляционным эпоксидным компаундом, и две керамические пластины, которые плотно контактируют с верхней и нижней гранями термопарных элементов, а также два электрических вывода. Такой микромодуль изготовлен на базе современных высокоэффективных термоэлектрических материалов на основе *Bi-Te*.

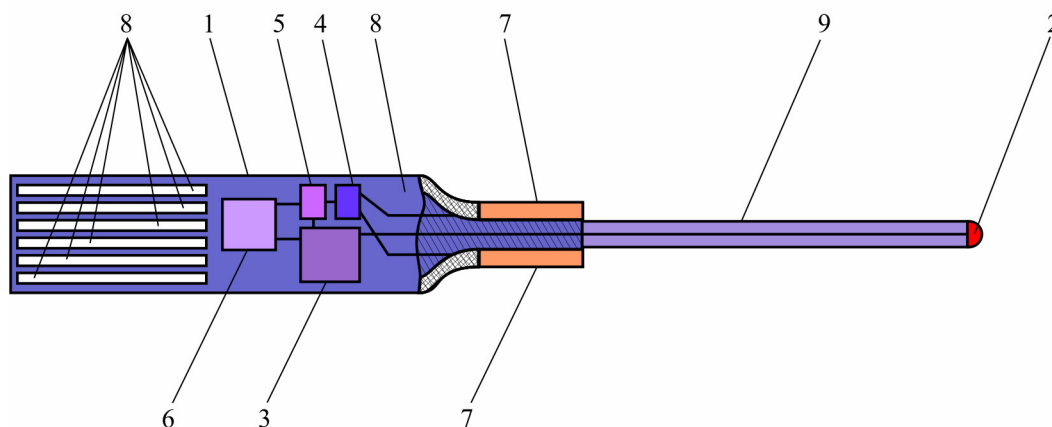


Рис. 2. Конструкция электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания [10]: 1 – корпус, 2 – датчик температуры, 3 – аналого-цифровой преобразователь, 4 – стабилизатор напряжения, 5 – конденсатор, 6 – цифровой дисплей, 7 – термоэлектрические микромодули, 8 – теплоотводящий радиатор, 9 – нетеплопроводящий элемент.

Измерение температуры тела человека с помощью электронного медицинского термометра осуществляется датчиком температуры 2, который непосредственно контактирует с телом человека, а электрическое питание такого термометра обеспечивается термоэлектрическими микромодулями 7 за счет тепла тела человека. Для того, чтобы получить необходимые электрическое напряжение и мощность с помощью термоэлектрических микромодулей 7 для питания электронного медицинского термометра, нужно организовать перепад температуры между гранями микромодулей. При контакте электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания и тела человека образуется градиент температуры между соответствующими гранями термоэлектрических микромодулей 7, вследствие чего на их выводах генерируется термоЭДС, обеспечивающая электрическое питание такого прибора. Величина термоЭДС соответствует значению теплового потока, который проходит через термоэлектрические микромодули 7, холодные стороны которых контактируют с теплоотводящим радиатором 8, который отводит тепло в окружающую среду. В конструкции прибора используется также стабилизатор напряжения 4 термоэлектрических

микромодулей 7 к уровню 1.5 В и конденсатор 5 для накопления электрического заряда, необходимого для включения электронного медицинского термометра.

Преимуществом такого термометра по сравнению с обычным электронным является экологическая безопасность, поскольку он не содержит химических гальванических источников питания, которые подлежат специальной утилизации, а также простота эксплуатации, обусловленная отсутствием периодической замены источников питания. Предложенная конструкция электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания обеспечивает большую точность измерения температуры тела человека, причем электрическое питание такого термометра стабильно во времени и не нуждается в затратах на обслуживание.

## Выводы

1. С помощью компьютерного моделирования определено влияние термоэлектрического источника питания электронного медицинского термометра на точность измерения температуры. Установлена зависимость величины погрешности измерения температуры, которая вызвана влиянием термоэлектрического источника питания, от расстояния между датчиком температуры и термоэлектрическим источником питания.
2. Разработана конструкция электронного медицинского термометра с термоэлектрическим источником питания, дающая возможность повысить точность измерения температуры тела человека.

## Литература

1. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: [справочник] / Л.И. Анатычук. – Киев: Наукова думка, 1979. – 768 с.
2. Анатычук Л.И. Термоэлектричество. Термоэлектрические преобразователи энергии: [том II] / Киев, Черновцы: Институт термоэлектричества, 2003. – 376 с.
3. Анатычук Л.И. Рациональные области исследований и применений термоэлектричества // Термоэлектричество. – 2000. – № 4. – С. 3-15.
4. Анатычук Л.И. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества // Термоэлектричество. – 2007. – № 2. – С. 7-20.
5. Струтинская Л.Т. Термоэлектрические микрогенераторы. Современное состояние и перспективы использования / Л.Т. Струтинская // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2008. – № 4. – С. 5 – 13.
6. Анатычук Л.И. Электронный медицинский термометр с термоэлектрическим источником питания / Л.И. Анатычук, Р.Р. Кобылянский, С.Б. Романюк // Стендовый доклад XV Международного Форума по термоэлектричеству 21 – 24 мая 2013 года. – Таллинн, Эстония, – 2013.
7. Заявка № u201308794 от 15.07.13. Электронный медицинский термометр с термоэлектрическим источником питания // Анатычук Л.И., Кобылянский Р.Р., Романюк С.Б. – 2013.
8. Заявка № u201308855 от 15.07.13. Электронный медицинский термометр с фотоэлектрическим источником питания // Анатычук Л.И., Кобылянский Р.Р., Романюк С.Б. – 2013.
9. Заявка № u201308793 от 15.07.13. Электронный медицинский термометр с комбинированным источником питания // Анатычук Л.И., Кобылянский Р.Р., Романюк С.Б. – 2013.
10. Заявка № u201312570 от 28.10.13. Электронный медицинский термометр с термоэлектрическим источником питания // Анатычук Л.И. – 2013.
11. *COMSOL Multiphysics User's Guide* (COMSOLAB, 2010), 804 p.

Поступила в редакцию 29.10.2013.