

Предполагалось, что координаты расположения датчиков известны. Однако на практике они определяются с погрешностями, поэтому в дополнение к первой математической модели применим вторую, регрессионную, модель для вычисления поправок. В качестве регрессионной модели возьмем полный полином степени N . Для $N = 2$ имеем:

$$\left. \begin{aligned} \Delta y &= a_0 + a_1 y + a_2 z + a_3 yz + a_4 y^2 + a_5 z^2, \\ \Delta z &= b_0 + b_1 y + b_2 z + b_3 yz + b_4 y^2 + b_5 z^2, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где y, z – вычисленные координаты по первичной модели; $\Delta y, \Delta z$ – поправки к вычисленным координатам; a_j, b_j – коэффициенты; $j = 0, \dots, 5$ – порядковый номер коэффициента.

Коэффициенты a_j, b_j в (5) определяются на этапе настройки мишени в результате решения двух систем – одна для определения коэффициентов a_j , другая – для b_j . В этих системах используются координаты ТП, вычисленные по первичной модели и измеренные вручную по бумажной мишени.

Исследование сходимости методов решения (2) показало, что в качестве начальных значений определяемых параметров целесообразно взять $\tilde{y}_0 = 0$, $\tilde{z}_0 = 0$, $\tilde{t}_0 = 0,001$, $\tilde{a} = 340$. Критерием оценки скорости сходимости являлось количество итераций

последовательных приближений (3) при $\zeta = 10^{-10}$ и выполнении условия (4).

Результаты исследований показали, что количество итераций (3) не превышало 8–12 при любой ТП в зоне регистрации. Экспериментальная проверка мишени, основанной на рассмотренной модели, была проведена в производственных условиях и показала хорошие результаты (погрешность определения координат не превысила 1 мм).

Список литературы

1. Шапиро Я. М. Внешняя баллистика. – М. : Оборонгиз, 1946. – 408 с.
2. Пат. 2392577 Российская Федерация, МПК F41 J 5/06. Устройство определения внешнебаллистических параметров на основе акустических датчиков / Афанасьев Н. Ю., Афанасьев В. А., Веркиенко Ю. В., Коробейников В. В. ; заявитель и патентообладатель Институт прикладной механики УрО РАН. – № 2008129855/02 ; заявл. 18.07.2008 ; опубл. 20.06.2010. Бюл. № 17-ил.
3. Ермолаев С. И., Комаров Л. Б., Чурбанов Е. В. Внешняя баллистика. –Л. : Типогр. ВМАКВ им. А. Н. Крылова, 1958. – 715 с.
4. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. – М. : Наука, 1987. – 600 с.
5. Гроп Д. Методы идентификации систем : пер. с англ. – М. : Мир, 1979. – 302 с.
6. Беклемишев Д. В. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры. – М. : Наука, 1974. – 320 с.
7. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы теории наблюдений. – М. : Физматгиз, 1962. – 352 с.

V. V. Korobeynikov, Candidate of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics, Izhevsk

Subsonic Model Acoustic Target

A model of an acoustic target which is used at development of the information and measuring systems for testing small arms at subsonic bullet velocity is considered.

Key words: acoustics, target, coordinates, approximation.

УДК 681.3.084

В. А. Куликов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
Е. А. Коновалов, аспирант, Ижевский государственный технический университет

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВНОСТИ НАСТУПЛЕНИЯ СМЕРТИ ПО МЕТОДУ РЕГУЛЯРНОГО ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА

Представлены результаты разработки портативного прибора, позволяющего выполнять термометрирование объектов судебно-медицинской экспертизы с высоким разрешением и производить расчет давности наступления смерти с применением оптимизации параметров тепловой модели.

Ключевые слова: давность наступления смерти, измерение температуры человека, тепловая модель человека, оптимизация параметров тепловой модели.

Тепловой метод определения давности наступления смерти (ДНС) человека является основным методом, который применяется при проведении судебно-медицинских экспертиз [1]. Ме-

тод основан на анализе динамики посмертной температуры тела и расчете момента начала его остывания, который интерпретируется как момент наступления смерти. К настоящему времени разработаны

модели остывания тела, однако отсутствуют приборы, позволяющие на месте проведения экспертизы в автоматическом режиме определять ДНС. Разработан и испытан первый такой прибор, принципы построения и функционирования которого изложены в данной статье.

Установлено [2], что прибор, предназначенный для определения ДНС, должен удовлетворять следующему перечню основных технических требований:

- диапазон измерения температуры тела и среды от -50 до $+50$ °С;
- разрешающая способность – не хуже $0,01$ К;
- конструктив первичного преобразователя должен позволять проникать во внутренние органы тела;

– прибор должен содержать микропроцессорный блок для выполнения многопараметрической оптимизации параметров тепловой модели тела с последующим расчетом ДНС;

– прибор должен иметь средства ввода и отображения информации.

На рис. 1 представлена структурная схема портативного измерителя ДНС.

Основными блоками устройства являются измерительный канал, состоящий из первичного преобразователя температуры – термопреобразователя сопротивления, промежуточного преобразователя, аналогового фильтра и АЦП; микроконтроллер, жидкокристаллический дисплей, клавиатура и интерфейсный модуль для связи с персональным компьютером (ПК).

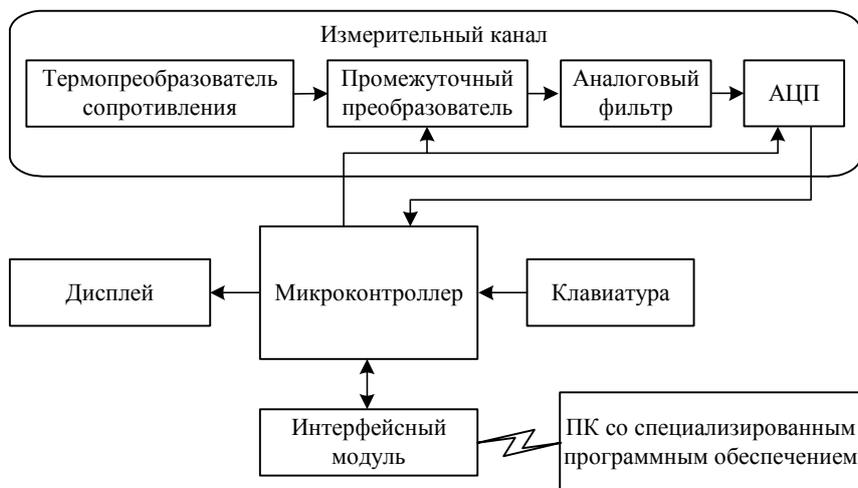


Рис. 1. Структурная схема портативного измерителя ДНС

Термопреобразователь сопротивления (ТПС) содержит медный чувствительный элемент (ЧЭ) из микропровода (рис. 2), встроенный теплопроводящий каркас и при малых габаритах обладает минимальным саморазогревом под действием измерительного тока. Основные параметры ТПС: диаметр 3 мм; диаметр каркаса $0,6$ мм; длина каркаса 20 мм; диаметр провода $0,04$ мм; номинальное сопротивление 50 Ом; инерционность в нулевом термостате 20 с.

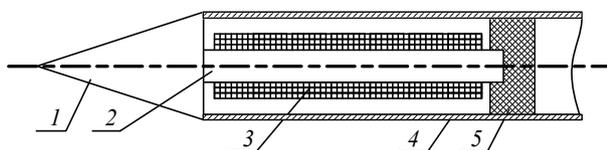


Рис. 2. Конструкция ТПС: 1 – теплоприемник; 2 – каркас; 3 – катушка ЧЭ; 4 – защитная трубка; 5 – пробка-заглушка

Преобразование сопротивления в напряжение осуществляется промежуточным преобразователем (ПП) (рис. 3), выполненным в виде пассивного моста [3], линейризация которого осуществляется АЦП в соответствии с выражением

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ОП}}} = \frac{R_3 R_{\text{ОП}} - R_4 (R_1 + R_2)}{R_3 R_{\text{ОП}} + R_4 R_{\text{ОП}}}$$

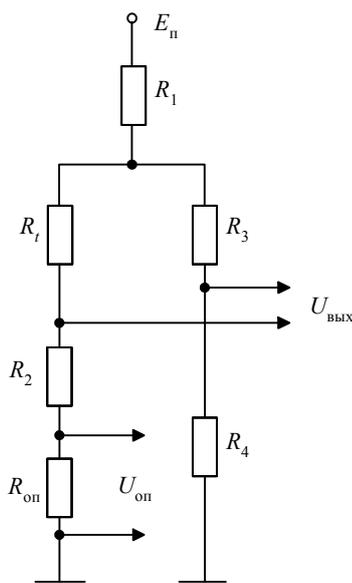


Рис. 3. Мостовой промежуточный преобразователь с регулируемым значением опорного напряжения

Проблема высокоточной коммутации ТПС решена с использованием четырехпроводной линии связи. Подавление влияния сопротивления коммутирующих цепей осуществляется путем выполнения системы неравенств

$$\begin{cases} R_3 + R_4 \gg R_{оп} + R_2 + R_1, \\ R_{оп} + R_2 \gg R_1. \end{cases}$$

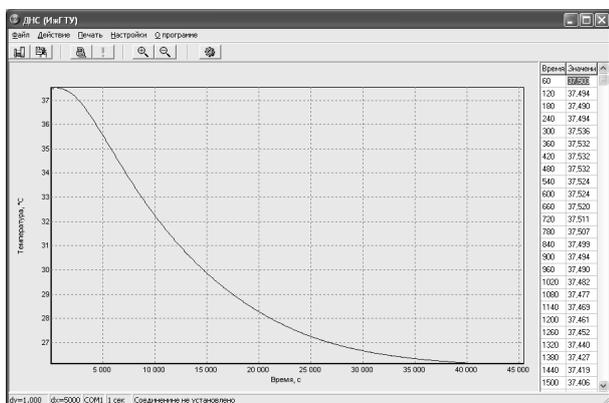
Выходной сигнал моста поступает на вход 16-разрядного сигма-дельта АЦП AD7705 со встроенным усилителем. Схема допускает изменения сопротивления ТПС в диапазоне $50 \pm 26,94$ Ом, что в перерасчете на температуру дает интервал измерений $20 \pm 128,29$ °С. Измерительный ток в схеме составляет 4 мА, что исключает саморазогрев ТПС [4, 5]. Единице младшего разряда АЦП соответствует перепад температуры в 0,004 К, что удовлетворяет требованиям.

Предложены варианты градуировки измерительного канала прибора по двум и одной точкам.

Внешний вид прибора представлен на рис. 4, а. Прибор может использоваться как в лабораторных, так и в полевых условиях.



а



б

Рис. 4. Прибор для измерения ДНС (а) и главное окно программы ПК (б)

Работа с прибором организована посредством меню и одновременно предусмотрена возможность использования горячих клавиш.

Главное меню содержит разделы:

- 1) измерение температуры;
- 2) определение ДНС;
- 3) работа с ПК;
- 4) опции настройки.

Определение ДНС производится по результатам термометрирования тела и среды с использованием заложенной в программное обеспечение прибора тепловой модели остывания тела. При этом производится оптимизация параметров модели с учетом реальной динамики температуры тела и среды [6].

Режим работы с ПК предназначен для копирования накопленных в приборе данных и выполнения длительного термометрирования объектов. Для ПК разработано программное обеспечение, предназначенное для приема, отображения и сохранения температурных трендов. На рис. 4, б показано главное окно программы.

При проведении испытаний установлено, что показания прибора не зависят от температуры вторичного блока и напряжения питания.

Экспериментальная проверка прибора и модели остывания тела проводилась в лабораторных условиях. В качестве объекта экспертизы использовалась физическая модель головы в виде шара, заполненного песком, теплофизические параметры которого близки к параметрам биологической ткани.

В табл. 1 представлены результаты расчета времени остывания объекта без использования и с использованием оптимизации по методу Пауэлла параметров тепловой модели. Обозначения: T_1, T_2, T_3 – результаты термометрирования физической модели через фиксированный временной интервал 15 минут; $ДНС_p$ – реальное значение времени остывания физической модели; $ДНС_1$ – значение ДНС, найденное при номинальных значениях параметров, – температуре среды $T_c = 25,75$ °С и значении коэффициента $K = 12$; $\Delta ДНС_1 = ДНС_1 - ДНС_p$ – погрешность расчета ДНС при номинальных значениях параметров; $T_{оп}, K_{оп}, ДНС_2, \Delta ДНС_2 = ДНС_2 - ДНС_p$ – параметры, полученные с использованием оптимизации значений температуры среды T_c и коэффициента K . Как видно, применение оптимизации ведет к снижению среднего значения погрешности определения ДНС, при этом также уменьшается суммарное значение средней погрешности и среднего квадратического отклонения (СКО).

В течение двух лет прибор находился в опытной эксплуатации в Бюро судебно-медицинской экспертизы Минздрава Удмуртской Республики и использовался при определении ДНС реальных объектов.

В табл. 2 приведены исходные данные и результаты расчетов, полученные при проведении судебно-медицинских экспертиз: $ДНС_1, \Delta ДНС_1 =$

$= \text{ДНС}_1 - \text{ДНС}_p$ – значения, найденные при номинальных значениях параметров, – начальной температуре тела $T_0 = 37^\circ\text{C}$, $T_c = 20^\circ\text{C}$ и $K = 12$; ДНС_2 , $\Delta\text{ДНС}_2 = \text{ДНС}_2 - \text{ДНС}_p$ – значения, полученные при

оптимальных параметрах $T_{\text{он}}$, $T_{\text{сн}}$ и K_n . Отметим, что во всех случаях, представленных в таблице, было известно точное значение ДНС_p .

Таблица 1. Результаты расчета времени остывания физической модели без использования (ДНС_1) и с использованием оптимизации (ДНС_2)

| № п/п | $T_1, ^\circ\text{C}$ | $T_2, ^\circ\text{C}$ | $T_3, ^\circ\text{C}$ | $\text{ДНС}_p, \text{ч}$ | $\text{ДНС}_1, \text{ч}$ | $\Delta\text{ДНС}_1, \text{ч}$ | $T_{\text{сн}}, ^\circ\text{C}$ | K | $\text{ДНС}_2, \text{ч}$ | $\Delta\text{ДНС}_2, \text{ч}$ | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------|--------------------------|--------------------------------|------|
| 1 | 34,012 | 33,41 | 32,842 | 2 | 1,45 | -0,55 | 26,198 | 4,9 | 1,85 | -0,15 | |
| 2 | 31,798 | 31,33 | 30,888 | 3 | 2,33 | -0,67 | 20,966 | 10,6 | 2,95 | -0,05 | |
| 3 | 30,101 | 29,747 | 29,419 | 4 | 3,18 | -0,82 | 23,491 | 8,3 | 3,99 | -0,01 | |
| 4 | 28,833 | 28,572 | 28,328 | 5 | 4,03 | -0,97 | 24,285 | 7,6 | 5,11 | 0,11 | |
| 5 | 27,89 | 27,697 | 27,524 | 6 | 4,73 | -1,27 | 24,858 | 6,8 | 6,03 | 0,03 | |
| 6 | 27,221 | 27,09 | 26,977 | 7 | 5,8 | -1,2 | 25,111 | 7,3 | 7,48 | 0,48 | |
| 7 | 26,774 | 26,686 | 26,61 | 8 | 7,03 | -0,97 | 25,427 | 6,6 | 8,72 | 0,72 | |
| Среднее значение, ч | | | | | | -0,92 | Среднее значение, ч | | | | 0,16 |
| СКО, ч | | | | | | 0,26 | СКО, ч | | | | 0,31 |

Таблица 2. Результаты расчета ДНС человека без использования (ДНС_1) и с использованием оптимизации параметров T_0 , T_c и K (ДНС_2)

| № п/п | $T_c, ^\circ\text{C}$ | $T_1, ^\circ\text{C}$ | $T_2, ^\circ\text{C}$ | $\text{ДНС}_p, \text{ч}$ | $\text{ДНС}_1, \text{ч}$ | $\Delta\text{ДНС}_1, \text{ч}$ | $T_{\text{он}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{сн}}, ^\circ\text{C}$ | K_n | $\text{ДНС}_2, \text{ч}$ | $\Delta\text{ДНС}_2, \text{ч}$ |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------|--------------------------|--------------------------------|
| 1 | 12,100 | 29,200 | 28,876 | 3,50 | 3,89 | 0,39 | 35,332 | 13,602 | 10,6 | 3,41 | -0,08 |
| 2 | 16,700 | 23,000 | 22,805 | 5,00 | 6,55 | 1,55 | 35,000 | 18,817 | 42,6 | 4,82 | -0,17 |
| 3 | 18,300 | 26,200 | 25,951 | 4,00 | 4,82 | 0,82 | 37,000 | 22,060 | 4,8 | 4,06 | 0,06 |
| 4 | 21,112 | 30,188 | 30,054 | 5,60 | 6,96 | 1,36 | 36,037 | 26,057 | 10,8 | 4,94 | -0,65 |
| 5 | 13,400 | 26,900 | 26,607 | 4,50 | 4,77 | 0,27 | 37,000 | 14,046 | 25,7 | 4,47 | -0,02 |
| 6 | 20,800 | 24,800 | 24,708 | 7,50 | 10,46 | 2,96 | 35,000 | 23,000 | 3,4 | 7,10 | -0,39 |
| 7 | 20,517 | 25,338 | 25,206 | 6,00 | 7,75 | 1,75 | 36,023 | 22,633 | 10,4 | 5,66 | -0,33 |
| 8 | 19,000 | 26,600 | 26,385 | 4,00 | 5,38 | 1,38 | 39,375 | 23,000 | 42,6 | 4,16 | 0,16 |
| 9 | 22,146 | 27,864 | 27,746 | 7,50 | 8,10 | 0,60 | 37,500 | 24,361 | 11,8 | 6,89 | -0,60 |
| 10 | 17,400 | 28,500 | 28,246 | 5,00 | 4,57 | -0,42 | 37,500 | 18,270 | 11,8 | 4,81 | -0,18 |
| 11 | 17,732 | 22,164 | 22,084 | 12,50 | 14,05 | 1,55 | 39,000 | 19,000 | 42,6 | 12,16 | -0,33 |
| 12 | 17,000 | 25,800 | 25,546 | 3,00 | 5,05 | 2,05 | 33,583 | 20,375 | 52,4 | 3,16 | 0,15 |
| 13 | 17,200 | 29,600 | 29,401 | 4,00 | 5,50 | 1,50 | 39,000 | 26,060 | 11,6 | 3,99 | -0,00 |
| 14 | 19,748 | 26,414 | 26,296 | 8,00 | 9,46 | 1,466 | 35,000 | 21,650 | 11,6 | 7,44 | -0,55 |
| 15 | 12,600 | 18,800 | 18,696 | 11,50 | 14,19 | 2,69 | 39,000 | 15,030 | 9,8 | 11,66 | 0,16 |
| 16 | 15,000 | 23,000 | 22,873 | 8,50 | 11,25 | 2,75 | 39,000 | 19,500 | 10,4 | 8,19 | -0,30 |
| 17 | 17,238 | 21,187 | 21,099 | 11,00 | 12,40 | 1,40 | 37,500 | 18,099 | 11,8 | 11,10 | 0,10 |
| 18 | 22,750 | 26,514 | 26,418 | 9,20 | 8,96 | -0,23 | 37,500 | 22,750 | 11,8 | 9,38 | 0,18 |
| 19 | 19,831 | 21,743 | 21,681 | 11,00 | 11,41 | 0,41 | 36,989 | 20,366 | 3,7 | 10,11 | -0,88 |
| 20 | 19,863 | 26,263 | 26,167 | 10,00 | 11,56 | 1,56 | 36,000 | 19,863 | 20,1 | 10,75 | 0,75 |
| Среднее значение, ч | | | | | | 1,29 | Среднее значение, ч | | | | -0,14 |
| СКО, ч | | | | | | 0,93 | СКО, ч | | | | 0,37 |

Как видно из табл. 2, использование многопараметрической оптимизации методом Пауэлла по трем параметрам позволяет уменьшить среднее значение и СКО абсолютной погрешности определения ДНС.

Таким образом, представленный микропроцессорный прибор позволяет решать задачу определения ДНС при проведении судебно-медицинских экспертиз и может быть использован как портативный термометр с высоким разрешением по температуре и как прибор, который в совокупности с компьютером может применяться для длительного термометрирования объектов при исследовании их термодинамических свойств.

Список литературы

1. Солохин А. А., Солохин Ю. А. Руководство по судебно-медицинской экспертизе трупа. – М. : РМАПО, 1997. – 264 с.
2. Коновалов Е. А. Система температурной диагностики для судебной медицины // Сб. тр. Второй междунар. науч.-практич. конф. «Измерения в современном мире». – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – С. 119–122.
3. Куликов В. А., Коновалов Е. А., Власов В. Г. Разработка измерительного канала термометра высокого разрешения // Интеллектуальные системы в производстве. – 2010. – № 1(15). – С. 236–243.
4. Куликов А. В., Коновалов Е. А. Экспериментальные исследования малогабаритных термопреобразователей сопротивления высокого разрешения. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2006. – 12 с. – Деп. в ВИНТИ 17.04.06, № 510-В2006.

5. Исследование алгоритма учета саморазогрева термопреобразователей сопротивления измерительным током / И. Е. Калугин [и др.] // Информац. технологии в промышленности и образовании : сб. тр. науч.-техн. конф. факультета «Информатика и вычислительная техника», посвященной 50-летию кафедры «Вычислительная техника»

ИжГТУ (25 апреля 2009 г.) ; науч. ред. Ю. В. Веркиенко. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2009. – С. 270–277.

6. Коновалов Е. А. Оценка эффективности применения оптимизационного подхода при расчете времени остывания объекта в переменных внешних условиях // Вестник ИжГТУ. – 2010. – № 1(45). – С. 97–98.

V. A. Kulikov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

E. A. Konovalov, Postgraduate Student, Izhevsk State Technical University

Microprocessor Device for Measuring Prescription of Death Coming by Regular Thermal Condition Method

The article presents the results of portable instrument development for high resolution thermal measurements of forensic medical examination objects and computer calculation of prescription of death coming using thermal model characteristics optimization.

Key words: prescription of death coming, body temperature measuring, body thermal model, optimization of thermal model characteristics.