

УДК 615.478

**Д.Н. Кузнецов, Ю.Д. Украинский, О.А. Корчагина**  
Донецкий национальный технический университет, г.Донецк,  
кафедра электронной техники  
Донецкий национальный университет, СКТБ «Турбулентность»  
E-mail: [kuzen2000@rambler.ru](mailto:kuzen2000@rambler.ru)

## ТЕРМОМЕТР ДЛЯ ЭКСПРЕСС ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КОНДИЦИОНИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ДЫХАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

### *Abstract*

*Kuznetsov D, Ukrainskiy Y, Korchagina O. Thermometer for express diagnostics of diseases on change to the air-conditioning function of respiratory vehicle. The questions of planning the digital thermometer for measuring temperature have considered. The results of calibrating the thermometer on a temperature and results of his clinical tests have resulted.*

**Keywords:** the thermometer, temperature of an exhalation, graduation, error of measurements, designing.

### *Анотація*

*Кузнецов Д.М., Український Ю.М., Корчагіна О.О Термометр для експрес діагностики захворювань по зміні кондиціонуючій функції дихального апарату. У статті розглянуті питання проектування цифрового термометра для вимірювання температури повітря, що видихається. Приведені результати градування термометра по температурі і результати його клінічних випробувань.*

**Ключові слова:** термометр, температура видиху, градування, похибка вимірювань, проектування.

### *Аннотация*

*Кузнецов Д.Н., Украинский Ю.Д., Корчагина О.А. Термометр для экспресс диагностики заболеваний по изменению кондиционирующей функции дыхательного аппарата. В статье рассмотрены вопросы проектирования цифрового термометра для измерения температуры выдыхаемого воздуха. Приведены результаты градуировки термометра по температуре и результаты его клинических испытаний.*

**Ключевые слова:** Термометр, температура выдоха, градуировка, погрешность измерений, проектирование.

### **Актуальность.**

Одной из важнейших задач современной медицины является своевременная диагностика заболеваний. Успешное решение этой задачи во многом определяется наличием эффективных методов экспресс диагностики и соответствующих технических средств.

Дыхательный аппарат, как и другие физиологические системы, характеризуется полифункциональностью: наряду с основной газообменной, ему свойственен целый ряд неспецифических функций, которые обеспечивают оптимальные условия газообмена. Одной из таких функций является кондиционирующая функция дыхательного аппарата (КФДА) — его способность увлажнять, согревать или охлаждать вдыхаемый воздух, и,

тем самым, стабилизировать температуру выдыхаемого альвеолярного воздуха (ТВАВ) на гомеостатически константном уровне. Ранее изучен диапазон физиологических колебаний должных значений ТВАВ у мужчин и женщин различных возрастных периодов. Согласно современным авторам [1,2], у практически здоровых лиц при комфортной температуре среды (18,0–22,0 °С) показатели ТВАВ удерживаются на уровне 34,3–35,6 °С по средним данным и на уровне 33,9–35,6 °С по индивидуальным с суточными колебаниями в 0,7–1,0 °С. С учетом различных исследований разработан способ дифференциальной оценки состояния КФДА по выраженности отклонения ТВАВ от ее должных значений ( $\Delta$ ТВАВ как диагностического критерия) с выделением 3-х степеней недостаточности этой функции и соответствующей клинико-патогенетической характеристикой. Таким образом, актуальность изучения КФДА обусловлена адекватной ролью и патогенетической значимостью этой функции и возможностью использования ее показателей (в частности, ТВАВ) в диагностических целях для объективизации и количественной оценки эффективности лечения, профилактики, реабилитации больных, профпригодности в отделениях общей терапии, отделениях кардиологии и пульмонологии, функциональной диагностики, поликлинической практике, спортивной медицине и др.

#### **Постановка задачи.**

Основной задачей, решение которой рассматривается в рамках данной статьи, является создание цифрового термометра для измерения ТВАВ. Термометр должен быть доступным по цене, простым в конструкции и эксплуатации, но при этом надежным и обеспечивающим следующие технические характеристики:

- диапазон измерений, °С от 10 до 45;
- границы допустимой погрешности измерений, °С  $\pm 0,1$ ;
- время установления показаний, с не более 0,5;
- два режима измерений: первый — измерение осредненных значений температуры

окружающего воздуха, второй — измерение максимальной температуры выдыхаемого альвеолярного воздуха.

Созданные ранее прототипы данного термометра по ряду параметров не отвечают современным требованиям. Как правило, это полностью аналоговые приборы со стрелочным индикатором, с малой точностью и ограниченной функциональностью. Разработка термометра для измерения ТВАВ, удовлетворяющего перечисленным выше требованиям, возможно лишь при использовании современной элементной базы и микропроцессорных средств.

#### **Реализация термометра.**

По сформулированным техническим требованиям и рекомендациям в СКТБ «Турбулентность» (ДонНУ) был разработан опытный образец цифрового термометра для измерения ТВАВ, работающий по принципу термометра сопротивления. В качестве термочувствительного элемента используется малогабаритный бусиновый термистор СТЗ-18, обеспечивающий необходимое быстродействие и время установления показаний. Функциональная схема термометра представлена на рисунке 1. Конструктивно он состоит из датчика и измерительного блока.

Датчик преобразует измеряемую температуру в электрический сигнал сопротивления, который по соединительному кабелю небольшой длины (порядка 1 метра) поступает в измерительный блок. В измерительном блоке осуществляется преобразование измерительного сигнала сопротивления в сигнал напряжения, с последующим усилением, аналого-цифровым преобразованием, обработкой и индикацией результата.

Конструкция датчика представлена на рисунке 2. Корпус датчика состоит из трех основных частей: измерительной камеры с расположенным в ней термистором, сменной насадки и рукоятки для удерживания датчика в руке.

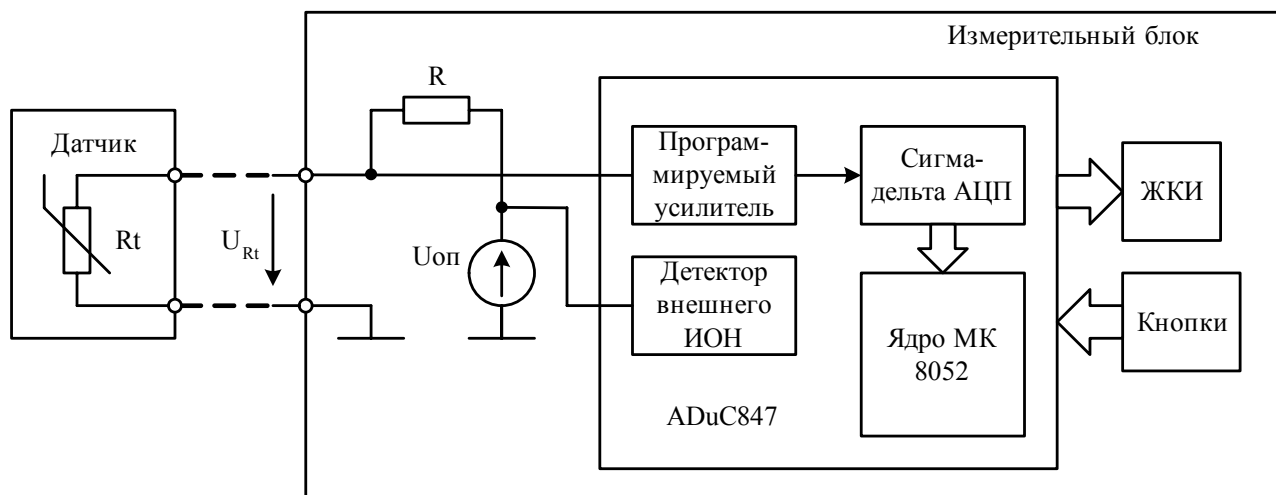


Рисунок 1 — Функциональная схема термометра

Измерительный блок построен на базе современного микроконвертера ADuC847 фирмы Analog Device [3], что позволило значительно упростить измерительную схему прибора, выполнить ее в одноплатном варианте и разместить в небольшом отдельном корпусе размерами 125x70x25 мм, включая элемент питания. Микроконвертер ADuC847 представляет собой законченную прецизионную систему сбора и обработки измерительной информации на одном кристалле, основными элементами которой являются 24-разрядный сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь и стандартное цифровое ядро микроконтроллера i8052 с расширенными функциональными возможностями.

Цифровой термометр имеет 4 режима работы:

- 1) Режим 1 — подготовка к работе после включения.
- 2) Режим 2 — циклическое измерение текущей температуры окружающей среды.
- 3) Режим 3 — измерение максимальной температуры выдоха (ТВАВ) за интервал 10 секунд.
- 4) Режим 4 — режим индикации результатов измерений.

Внешний вид термометра представлен на рисунке 3. Для работы с термометром используются 2 кнопки на передней панели: кнопка включения питания «Вкл» и кнопка переключения режимов работы «Режим». Для индикации результатов измерений используется двухстрочный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ). Рассмотрим алгоритм работы термометра.

1. При нажатии на кнопку «Вкл» на схему термометра подается питание и он стартует в режиме 1. При этом последовательно с интервалом в несколько секунд в первой строке ЖКИ индицируются «START» и измеренное значение текущего заряда элемента питания термометра в вольтах «Un=...». Затем термометр автоматически переходит в режим 2.

2. В режиме 2 термометр циклически измеряет текущую температуру окружающего воздуха и индицирует результаты измерений в первой строке ЖКИ «T1 =...». Период дискретизации измерительных данных равен 0,1 секунде, а время текущего усреднения составляет 1 секунду (усреднение по десяти выборкам).

3. При нажатии кнопки «Режим» термометр переходит в режим 3 и измеряет максимальную температуру выдыхаемого воздуха (ТВАВ) за интервал 10...12 секунд. Период дискретизации измерительных данных равен 0,1 секунде.

4. Затем термометр автоматически переходит в режим 4 и индицирует результаты измерений на ЖКИ.

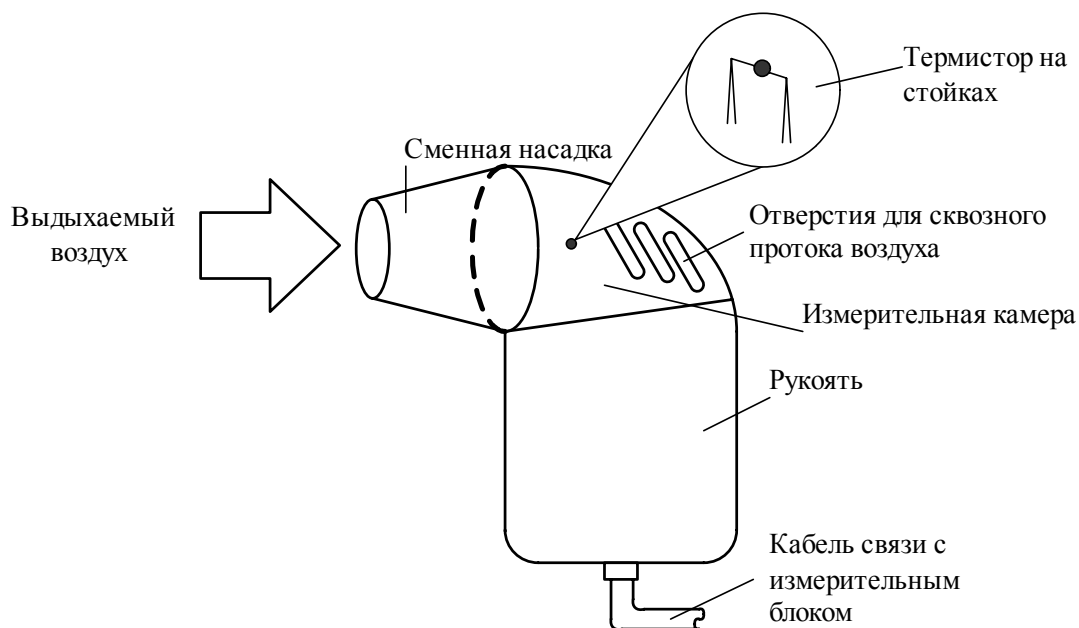


Рисунок 2 — Конструкция датчика

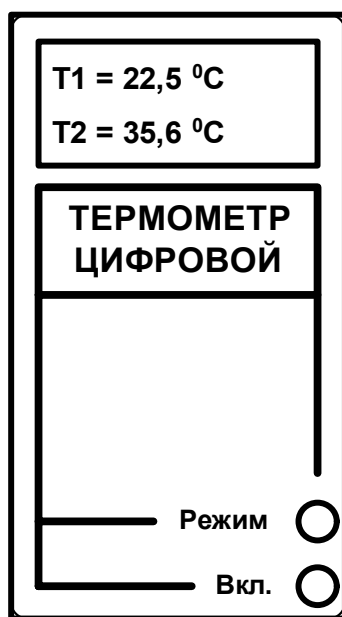


Рисунок 3 — Внешний вид термометра

В первой строке выдается последнее измеренное в режиме 2 значение температуры окружающей среды, во второй — максимальная температура выдоха в режиме 3.

5. При нажатии на кнопку «Режим» термометр переходит в режим 2 и рабочий цикл измерений (п.2–5) повторяется с п.2.

Повышенные требования к точности измерений обуславливают необходимость проведения температурной градуировки термометра. Градуировка разработанного опытного образца осуществлялась в жидкостном термостате путем сопоставления его показаний с показаниями образцового термометра в температурном диапазоне от 0 до 45 °C. Результаты градуировки приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Экспериментальные данные градуировки термометра по температуре

T, °C	0	6	10,6	15	20,2	25,4	30,3	35,5	39,4	44,6
Rt, Ом	2401,2	1867,7	1562	1319,5	1085,6	897,7	754,5	631,5	551,2	463,8

График зависимости сопротивления термистора от температуры приведен на рис.4. График распределения погрешностей аппроксимации экспериментальных данных градуировки цифрового термометра приведен на рис.5. Из результатов следует, что погрешность градуировки не превышает 0,1 °С.

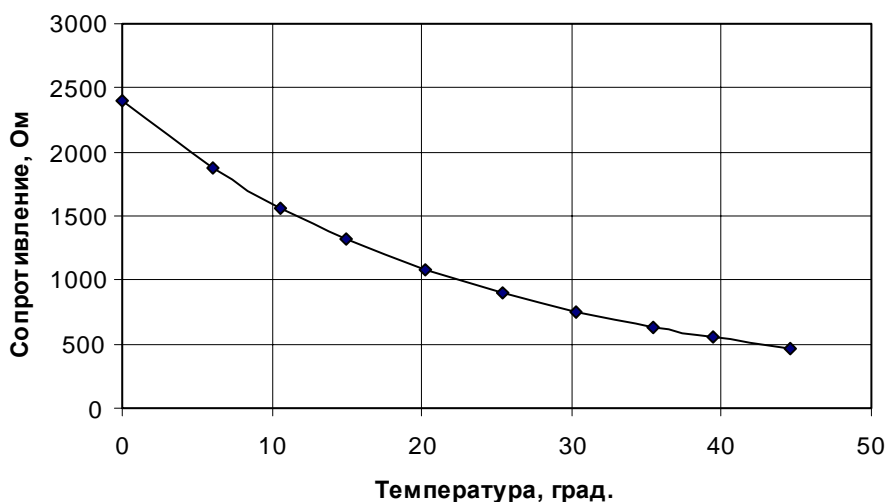


Рисунок 4 — График зависимости сопротивления термистора от температуры

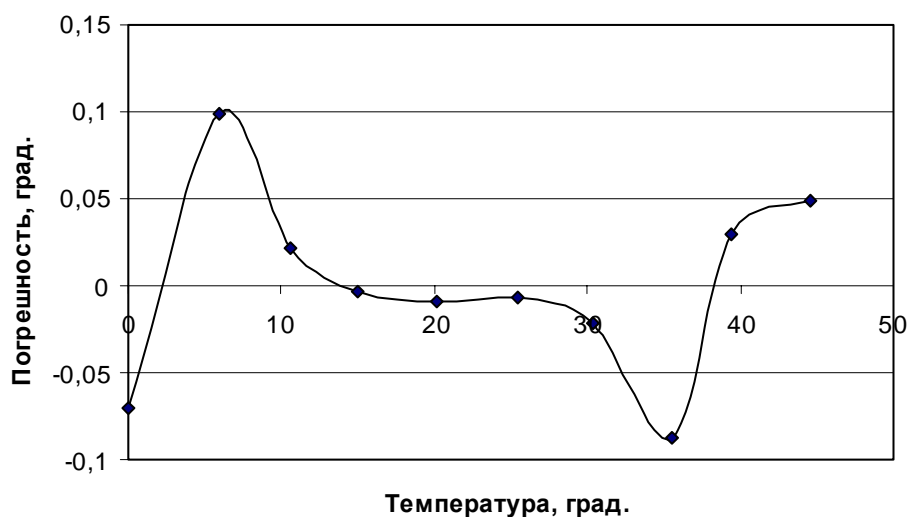


Рисунок 5 — График распределения погрешностей аппроксимации

В качестве аппроксимирующей функции использована функция вида:

$$\frac{1}{T} = a_2 \cdot (\ln Rt)^2 + a_1 \cdot (\ln Rt) + a_0, \tag{1}$$

где  $a_2..a_0$  — постоянные коэффициенты, определяемые при обработке данных градуировки. В частности, для исследуемого термометра получены следующие значения:  $a_2=6,1522e-6$ ;  $a_1=2,2773e-4$ ;  $a_0=1,5166e-3$ .

### Результаты использования термометра.

На базе городской больницы № 23 в отделениях пульмонологии и кардиологии проведены исследования по изучению КФДА у больных бронхиальной астмой, ревматизмом, острым инфарктом миокарда. По методике, разработанной ранее, у обследуемых с помощью цифрового термометра определялись пневмотермометрический показатель — максимальная температура воздуха при максимально возможном по глубине выдохе (обозначаемая в исследованиях как ТВАВ), температура окружающей среды, а также аксилярная температура и спирометрические показатели. Полученные сведения сопоставлялись с ранее разработанными должными значениями этих показателей, что позволило определить степень изменения ТВАВ и недостаточности КФДА у обследуемых соответственно. Математическую обработку материала осуществляли с использованием стандартных статистических методов. Анализировали лишь достоверные различия ( $P < 0,05$ ).

В отделении пульмонологии обследованы 64 больных бронхиальной астмой (включая 1,2,3, степени тяжести), из них 38 женщин и 26 мужчин в возрасте 19–70 лет. При анализе результатов термометрических исследований выявлено снижение ТВАВ в среднем на  $0,7 \pm 0,09$  °, возрастание на  $0,5 \pm 0,08$  ° разности между ТВАВ и аксилярной температурой. Причем, выраженность изменений этих показателей возрастала с увеличением степени тяжести заболевания.

В отделении кардиологии обследован 71 больной ревматизмом в возрасте 20–65 лет, включая мужчин — 29, женщин — 42. При анализе результатов исследований выявлено выраженное понижение ТВАВ на  $0,6 \pm 0,08$  °, увеличение разности между ТВАВ и аксилярной температурой на  $0,4 \pm 0,06$  °. Здесь также наблюдалась зависимость выраженности изменения показателя КФДА от стадии недостаточности кровообращения, что отражает роль состояния гемодинамики в респираторном теплообмене.

При анализе результатов термометрических исследований у 97 больных с инфарктом миокарда (включая 40 женщин и 57 мужчин в возрасте 38–72 лет) выявлено повышение ТВАВ на  $0,4 \pm 0,06$  °, а разность между ТВАВ и температурой тела составила  $0,4 \pm 0,08$  °.

Как следует из результатов исследований, под влиянием указанных заболеваний наступали изменения КФДА, что проявлялось в снижении (на примере больных бронхиальной астмой и ревматизмом) либо повышении (на примере больных инфарктом миокарда) ТВАВ по сравнению с ее величинами у практически здоровых лиц.

### Выводы.

Разработанный цифровой термометр удовлетворяет требованиям, предъявляемым к техническим средствам измерений температуры выдыхаемого альвелярного воздуха. Исследования, проведенные на базе городской больницы № 23, подтверждают возможность использования термометра для экспресс диагностики некоторых заболеваний по изменению КФДА.

### Литература

1. Агарков С.Ф. Корреляция показателей кондиционирующей и газообменной функций дыхательного аппарата в норме и патологии/ Украинский кардиологический журнал. — 1997. — №3 выпуск 2. — С. 33–36.
2. Приходько А.Г., Перельман Ю.М. Холодовая реактивность дыхательных путей у больных хроническим бронхитом/ Пульмонология. — 2003. — №3. — С. 24–28.
3. <http://www.analog.com/en/analog-microcontrollers/aduc847/products/product.html>.

Здано в редакцію:  
11.03.2009р.

Рекомендовано до друку:  
д.т.н, проф. Зорі А.А.