

## ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 534.615:681.883.2.024

### ПОРТАТИВНЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ АКУСТОЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

© 2023 г. В. В. Казаков

Поступила в редакцию 19.09.2022 г.

После доработки 19.09.2022 г.

Принята к публикации 08.11.2022 г.

DOI: 10.31857/S0032816223020209, EDN: GTDYVZ

Акустотермометрический метод измерения температуры предназначен для решения задач медицинской диагностики и основан на измерении уровня акустического шума мегагерцового диапазона, излучаемого нагретой областью в глубине тела человека и принимаемого с помощью пьезоэлектрического элемента. Существуют различные методы пассивной акустотермометрии: модуляционный – с периодически переключаемой к входному усилителю нагрузки, эквивалентной принимающему пьезоэлементу; корреляционный – с использованием двух принимающих пьезоэлементов; компенсационный – с использованием эталона акустической нагрузки с известной температурой [1]. Изготовленные на их основе макеты приборов (одноканальные и многоканальные) являются стационарными, и для регистрации данных используется компьютер с внешней платой аналого-цифрового преобразователя (АЦП). На практике такие приборы применялись для дистанционного измерения акусто-яркостной температуры различных органов человека (печени, грудной клетки, кисти, предплечья) при воздействии на них медицинских препаратов или после перенесенных болезней [2, 3]. Установлена также возможность контроля температуры прооперированного органа в послеоперационный период с помощью этих приборов.

Для решения задачи оперативного проведения измерений в условиях клиники на основе компенсационного метода разработан и изготовлен портативный измеритель с индикацией и регистрацией данных микроконтроллером MSP430F247, имеющим микромощное потребление тока. Особенностью измерителя является то, что, помимо акусто-яркостной температуры  $T_1$  в глубине тела, он измеряет и термодинамическую температуру  $T_2$  по шкале Цельсия в месте контакта датчика с поверхностью. Это позволило повысить достоверность и информативность измерений. При созда-

нии измерителя была решена задача многоканальной записи и сохранения данных во внешнюю (съёмную) флэш-память, что позволило не только оперативно проводить измерения температур, но и сохранять данные для последующей обработки и систематизации уже на стационарном компьютере. Перед проведением измерений компенсационным методом необходимо выполнить процедуру калибровки путем прикосновения рабочей поверхности датчика к образцам с известной температурой и затуханием звука [4]. Внешний вид электронного блока и датчика измерителя приведен на рис. 1.

Датчик предназначен для преобразования акустического шума в электрический сигнал и измерения температуры в месте его контакта с поверхностью исследуемого объекта. Рабочая часть датчика с пьезоэлементом прикладывается к поверхности через акустический гель и в таком положении удерживается рукой. В качестве чувствительного элемента используется пьезоэлектрический элемент диаметром 10 мм из ЦТС-19 с резонансной частотой 2 МГц. Он закреплен по контуру в кольце из латуни. С рабочей стороны пьезоэлемент акустически согласован с биологической тканью с помощью четвертьволнового слоя из Herculite XRV (Kerr), а с противоположной – акустически нагружен на воздух и электрически согласован с предусилителем на маломощном транзисторе BFR193, имеющим входное сопротивление 300 Ом. С внутренней стороны к пьезоэлементу также приклеен датчик температуры ТС1047. Входной электрический сигнал, создаваемый собственными тепловыми шумами пьезоэлемента, составляет 0.1–0.3 мкВ. Общий коэффициент усиления предусилителя и многокаскадного усилителя на микросхемах AD8014 в полосе частот 1.5–2.5 МГц составляет 145 дБ.

Электронный блок содержит жидкокристаллический двухстрочный индикатор МТ-08S2А-

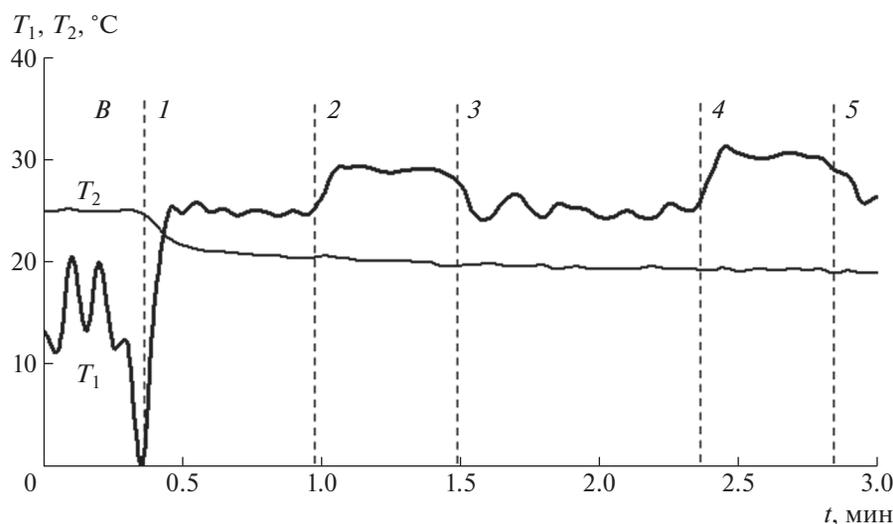


Рис. 1. Измеритель акустояркой температуры.

2FLG-3V0, микроконтроллер MSP430F247 с тактовой частотой 16 МГц и встроенным 8-канальным 12-разрядным АЦП, два Li-Ion аккумулятора типоразмера 18650 (2400 мА · ч, 3.7 В) и узлы коммутации, стабилизации напряжений и дополнительной аналоговой обработки сигналов. Усиленный сигнал с пьезоэлемента подается на квадратичный детектор на микросхеме AD835, и уже сигнал, пропорциональный акустояркой температуре, поступает на вход АЦП микроконтроллера. Далее этот сигнал, записанный с частотой дискретизации 300 Гц, усредняется за одну, три или пять секунд. От времени усреднения зависит чувствительность измерений. С помощью микроконтроллера осуществляется запись и обработка данных: проведение расчетов, вывод результатов измерений на дисплей, а также запись значений акустояркой температуры, текущей температуры пьезоэлемента и сигнала маркера событий во внешнюю флэш-память на микросхеме 24FC256T-I/SN, вставляемую в корпус электронного блока. Для считывания данных из флэш-памяти в компьютер используется плата UMFT4222H с протоколом I2C обмена данными. Результат измерений сохраняется в ASCII-формате в виде матрицы из трех столбцов, позволяющей для последующей обработки данных пользоваться стандартными пакетами программ (MathCad, Excel и др.).

На рис. 2 приведены результаты типичного демонстрационного эксперимента. В кювету с водой из воздушной среды  $B$  в момент, отмеченный штриховой линией 1, на глубину 1 см погружали рабочую поверхность датчика. Затем в область приема датчиком акустического шума периодически вводили (моменты введения соответствуют штриховым линиям 2 и 4) и полностью выводили (моменты выведения соответствуют штриховым линиям 3 и 5) указательный палец руки. При этом расстояние между поверхностью пальца и рабочей поверхностью датчика составляло примерно 1 см. Время усреднения выбрано равным 3 с. Согласно рис. 2, изменения температур  $T_1$  и  $T_2$  датчика существенно различны. В частности, по изменению акустояркой температуры  $T_1$  можно определить наличие нагретого объекта в области приема датчика, в то время как изменение термодинамической температуры  $T_2$  это не показывает.

**Основные технические характеристики портативного измерителя.** Диапазон частот измеряемого шума 1.5–2.5 МГц; чувствительность 0.3°C при времени интегрирования 5 с; глубина измерений шума до 3–4 см; ручной и автоматический (непрерывный) режимы измерения и записи данных; время усреднения 1, 3, 5 с; количество записываемых сигналов в одном отсчете 3; максимальное количество отсчетов 3950. Напряжение



**Рис. 2.** Изменение акустояростной ( $T_1$ ) и термодинамической ( $T_2$ ) температур при периодическом введении (штриховые линии 2, 4) и выведении (штриховые линии 3, 5) пальца руки в область измерения датчика. Штриховая линия 1 — момент погружения рабочей поверхности датчика из воздушной среды  $B$  в воду.

питания 6–8 В; ток потребления 70 мА. Габариты: электронного блока —  $100 \times 180 \times 40$  мм, датчика —  $\varnothing 20 \times 115$  мм.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН (проект № FFUF-2021-0014).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mansfel'd A.D. // Acoustical Physics. 2009. V. 55. Iss. 4–5. P. 556. <https://doi.org/10.1134/S1063771009040125>
2. Аносов А.А., Беляев Р.В., Вилков В.А., Дворникова М.В., Дворникова В.В., Казанский А.С., Курятникова Н.А.,

Мансфельд А.Д. // Акустический журнал. 2013. Т. 59. № 1. С. 109.

<https://doi.org/10.7868/S0320791913010024>

3. Аносов А.А., Ерофеев А.В., Щербаков М.И., Мансфельд А.Д. // Акустический журнал. 2022. Т. 68. № 3. С. 330.

<https://doi.org/10.31857/S0320791922020010>

4. Anosov A.A., Belyaev R.V., Vilkov V.A., Dvornikova M.V., Dvornikova V.V., Kazanskii A.S., Kuryatnikova N.A., Mansfel'd A.D. // Acoustical Physics. 2012. V. 58. Iss. 5. P. 542.

<https://doi.org/10.1134/S1063771012030037>

Адрес для справок: Россия, 603950, Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46, Институт прикладной физики РАН, тел.: +7(831)4164986. E-mail: kazak@appl.sci-nnov.ru