DOI: 10.63527/1607-8829-2023-3-37-49

Anatychuk L.I., *Acad. NAS Ukraine* [1,2]
Kobylianskyi R.R., *Cand.Sc.(Phys-Math)* [1,2]
Lysko V.V., *Cand. Sc (Phys &Math)*[1,2]
Prybyla A.V., *Cand. Sc (Phys &Math)* [1,2]
Konstantynovych I.A., *Cand. Sc. (Phys and Math)* [1,2]
Kobylianska A.K., *Cand. Sc (Phys &Math)* [1]
Havryliuk M.V. [1,2]
Boychuk V.V. [2]

[1] Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;
[2] Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, 2 Kotsiubynskyi str.,
Chernivtsi, 58000, Ukraine
e-mail: anatych@gmail.com

METHOD OF CALIBRATION OF THERMOELECTRIC SENSORS FOR MEDICAL PURPOSES

This paper presents the results of creating an experimental bench for calibrating thermoelectric heat flux sensors and analyzing their metrological properties. Calibration procedures have been developed for both one and two sensors simultaneously. A new type of thermoelectric sensors capable of simultaneously measuring temperature and heat flux on the surface of the human body has also been created and tested.

Key words: calibration bench, thermoelectric sensor, heat flux, volt-watt sensitivity.

Introduction

The use of thermoelectric sensors is very promising for assessing local thermal radiation on the surface of the human body [1 – 4]. Modern thermoelectric heat flux sensors, created on the basis of high-performance semiconductor materials, are characterized by high sensitivity, fast response, manufacturability, optimal weight-dimensional characteristics, high reliability and low cost [5 – 16]. These sensors are easy to maintain and are capable of continuously monitoring the thermal radiation of the human body [17 – 31], as well as detecting heat losses in remote heating mains.

The issue of calibration of thermoelectric heat flux sensors, which are used in devices for measuring integral heat fluxes of biological objects, losses through building elements, heat-shielding materials and in sections of heating mains, remains relevant. Usually, the calibration of these sensors is performed by the absolute method, which includes the use of a blocking heater and differential thermocouples as indicators of zero temperature difference [32, 33]. However, such calibration requires an increase in the accuracy of measurements, since these sensors are measuring instruments. Increasing the accuracy is possible by using an additional highly sensitive thermoelectric heat flux sensor [34 – 40].

Therefore, *the main purpose of the work* is to create an experimental bench for calibrating thermoelectric heat flux sensors using an improved method, as well as to analyze their metrological properties.

1. Design of the experimental bench for calibrating thermoelectric heat flux sensors (HFS)

To analyze metrological parameters and calibrate thermoelectric heat flux sensors (HFS) in the temperature range from – 30 °C to + 130 °C, a bench design was created, shown in Fig. 1.

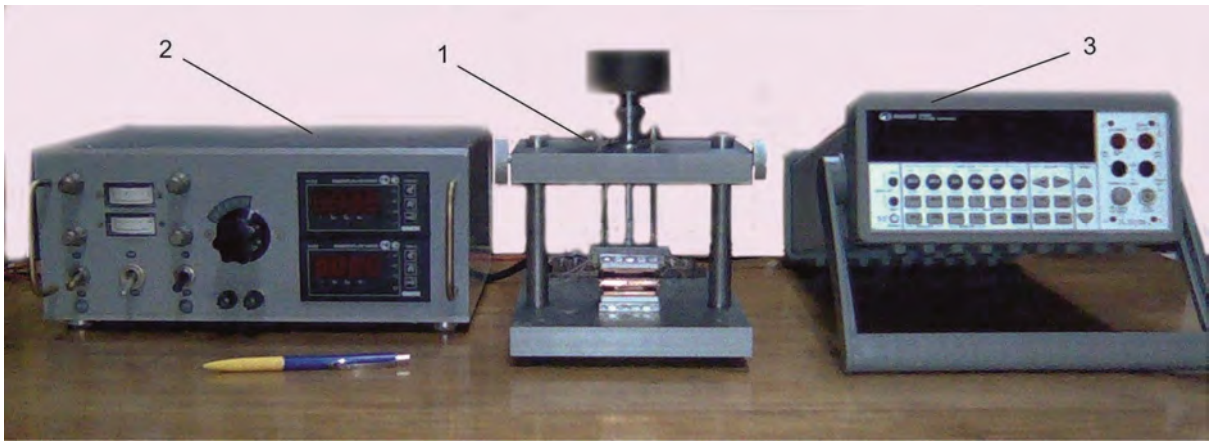


Fig. 1. Visual inspection of the bench for analysis of metrological properties and calibration of thermoelectric heat flux sensors (HFS).

The bench includes a measuring unit 1, a control unit 2 and a measuring instrument 3 (high-precision digital multimeter). The measuring unit 1 is equipped with an aluminum platform on which liquid heat exchangers, a clamping device and a switchboard are installed. One or two HFS under study can be placed between the hot and cold heat exchangers.

Measuring unit 1 is schematically shown in Fig. 2.

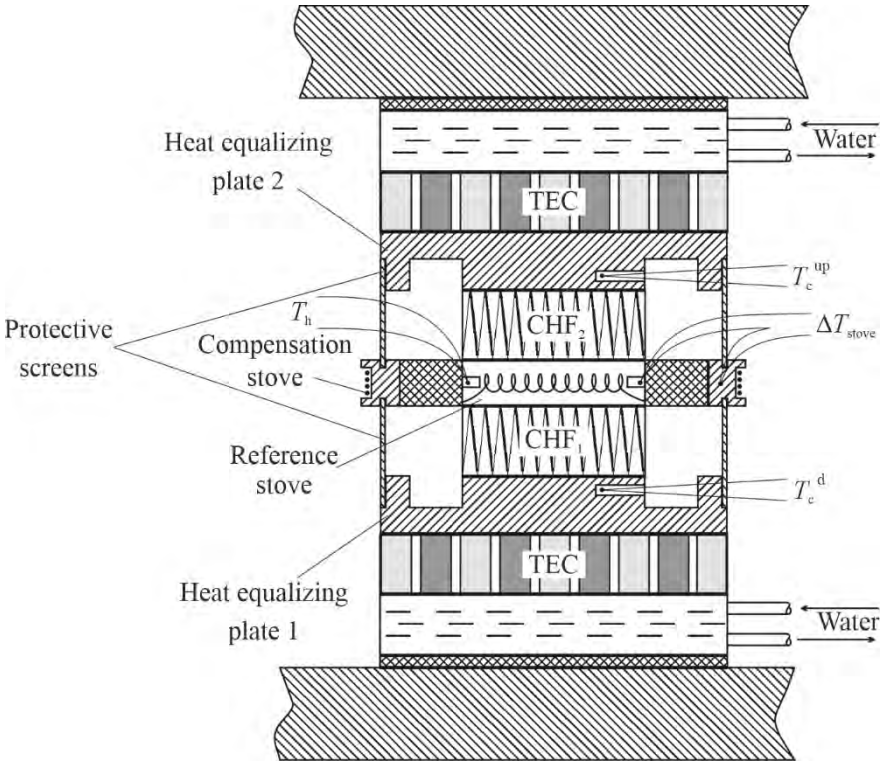


Fig. 2. Schematic representation of the measuring unit of the bench for calibrating thermoelectric heat flux sensors (HFS).

As can be seen in Figs. 1 and 2, two identical heat exchange modules designed for heat removal – cold heat exchangers – are installed on the lower base of the aluminum platform and on the suspension of the upper base of the measuring unit 1. These heat exchangers are reversible, as they are based on thermoelectric coolers (TECs) with liquid heat removal, and can operate in both cooling and heating modes depending on the direction of electric current flow. On the working side of the TEC, copper plates are fixed for heat equalization with built-in temperature sensors – platinum resistance thermometers. These plates have a highly polished flat surface – the working platform, on which the studied HFS is placed. The opposite side of the HFS is in contact with a hot heat exchanger – a flat heater, which has two polished working surfaces (upper and lower). The flat heater is made thin enough to minimize the area of its side surface and ensure uniform heating throughout the volume. The body of this heater also has a temperature sensor – a platinum resistance thermometer. The use of platinum temperature sensors allows one to accurately measure and control the temperature of the working areas of heat exchangers using thermostats with an accuracy of ± 0.1°C in the temperature range from – 30 to + 130 °C.

Since the side surface of the hot heat exchanger is not included in the heat exchange processes with the HFS and can be a source of heat loss, an annular protective heater was installed to minimize these losses. The main task of this heater is to maintain a temperature that corresponds to the temperature of the hot heat exchanger. The temperature is controlled by a differential thermocouple connected to the free channel of the thermostat. The thermostat is configured so that the appropriate adjustment of the supply voltage to the heater of the annular protective furnace provides a zero thermocouple signal, which contributes to the adiabatic insulation of the side surface of the hot heat exchanger.

The annular protective heater also plays an important role in transferring its temperature to the protective screen located opposite the side surface of the investigated HFS. On the lower and upper surfaces of the annular protective heater, there are pre-milled grooves into which the "hot" ends of the protective screens are inserted. The "cold" ends of these screens are in thermal contact with the working surfaces of the cold heat exchangers. This creates a temperature gradient on the surfaces of the protective screens in the vertical direction, which corresponds to the temperature on the side surface of the vehicle, thus ensuring that heat is not dissipated into the environment during the vehicle calibration.

The bench uses two cold heat exchangers, which allows for the simultaneous comparative calibration of two HFSs. When only one HFS is calibrated, the second cold heat exchanger functions as an additional protective heater. It is set to a temperature similar to that of the hot heat exchanger using a thermostat, which provides adiabatic protection against heat loss from the unused surface of the hot heat exchanger. The thermostating process of all heat exchangers is controlled by control unit 2, which includes adjustable power supplies for TEC and heaters, two dual-channel microprocessor temperature controllers RE-202, switching elements and control terminals for measurements.

All electrical connections from the measuring unit 1 are assembled on a terminal block and connected to the control unit 2 via a cable. A measuring device is also connected to this unit – a high-precision digital multimeter M3500, which has the ability to transfer measurement results to a personal computer in real time. This configuration of the bench allows for effective calibration of thermoelectric HFSs and investigation of their metrological characteristics in dynamics.

2. Procedure for calibrating one thermoelectric heat flux sensor (HFS)

- Using the specialized bench shown in Fig. 1, calibration of one thermoelectric heat flux sensor (HFS) is performed according to the following procedure:
- Connect measuring unit 1 to control unit 2;

- Connect input cable of measuring device 3 to the corresponding terminals on the control unit 2;
- Connect the hoses of the liquid cooling system of the TEC to the water main, open the water supply and activate the cooling system;
- Raise and fix the upper cold heat exchanger in the upper position;
- Place the investigated HFS on the working surface of the lower cold heat exchanger;
- Connect the leads of the investigated HFS to the corresponding terminals on the switchboard;
- Install the lower protective screen;
- Place the hot heat exchanger with the annular protective heater on the HFS and on the upper edge of the protective screen;
- Install the upper protective screen;
- Lower the upper cold heat exchanger, so that its heat equalizing plate touches the upper protective screen, while the pressing force is adjusted using weights;
- On the thermostats of control unit 2, set the temperature of the lower cold heat exchanger.
- On the control unit 2, set the measurement switch to the "Heater voltage" position. Turn on the measuring instrument 3 and switch it to the "DC voltage" mode with automatic range selection. Using the formula

$$W = U^2 \cdot R$$

(where R is the resistance of the heater), determine the voltage that must be applied to the hot heat exchanger heater to achieve the required electrical power in the range from 10 mW to 1 W.

- While watching the "hot heat exchanger temperature" indicator on the corresponding channel of the thermostat operating in the temperature sensor mode, and waiting for this temperature to stabilize, set an identical temperature value on the upper cold heat exchanger. The temperature of the annular heater is automatically regulated;
- Set the switch on control unit 2 to the "HFS thermoEMF" position;
- After the temperatures on the stationary heat exchangers reach the specified values, measure the thermoEMF value of thermoelectric HFS;
- Switch the measurement switch to the "Hot Heat Exchanger Heater Voltage" and "Hot Heat Exchanger Heater Current" positions in sequence to accurately determine the corresponding electrical parameters.
- Calculate the heater power using the following formula:

$$W = U \cdot I. \tag{2}$$

- Calculate the volt-watt sensitivity of a thermoelectric HFS using this mathematical formula:

$$\nu = \frac{E}{W}. \tag{3}$$

3. Procedure for calibrating two thermoelectric heat flux sensors (HFS)

Paired calibration of two thermoelectric heat flux sensors (HFSs) is performed simultaneously only for identical samples. This process differs from the calibration of a single HFS in that the second HFS is placed on top of the hot heat exchanger. The leads of this second HFS are connected to the corresponding terminals on the measuring unit 1, and the measurement of the thermal EMF signal of the HFS is carried out using the corresponding position of the measurement switch on the control unit 2.

The same temperature is set on the upper cold heat exchanger as on the lower one using a thermostat. The electric power released on the hot heat exchanger is distributed equally between the two HFSs and dissipated through the two cold heat exchangers. Since the hot side temperatures of both HFSs are common, and the cold side temperatures are the same and controlled by a thermostat, the volt-watt sensitivities of each HFS can be calculated using the following formulae:

$$\nu_1 = \frac{2 \cdot E_1}{W}, \tag{4}$$

$$\nu_2 = \frac{2 \cdot E_2}{W}. \tag{5}$$

where E_1 and E_2 are thermoEMF values for the first and second investigated HFS, accordingly. The number "2" in the numerator of the formula arises because the total power dissipated in the hot heat exchanger is divided equally between the two HFSs, so half the power value is used for each of them. Thus, the volt-watt sensitivities of each of the HFSs can be calculated using the following expression:

$$W_1 = W_2 = \frac{W}{2}. \tag{6}$$

4. Results of measuring HFS parameters

As a result of modification of the geometric parameters of the half-elements in the thermoelectric microthermopiles, prototypes of primary converters of the HFS with dimensions of 22 × 22 × 4 mm were created. These prototypes are characterized by an improved design, providing increased sensitivity and accelerated response to changes (see Fig. 3). The metrological parameters of these converters, such as volt-watt sensitivity and time constant, were analyzed using a specially designed test bench for HFS calibration, according to the described methodology.

Visualization of the above HFS prototypes is presented in Fig. 3.

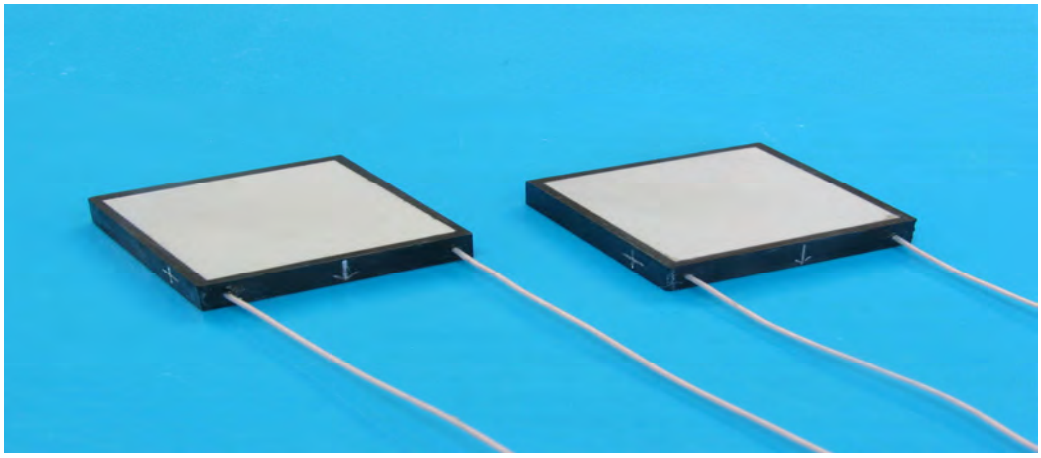


Fig. 3. Visualization of experimental models of HFS with dimensions of 22×22×4 mm.

Table 1 represents data obtained as a result of measuring characteristics of two prototypes of HFS with dimensions of 22 × 22 × 4 mm.

Table 1

Measured data of the characteristics of thermoelectric heat flux sensors with dimensions of 22 × 22 × 4 mm

№	Parameter name	HFS	
		№1	№2
1.	Heat flux range, W/m^2	$10^{-2} \div 10^3$	$10^{-2} \div 10^3$
2.	Sensitivity, V/W	1.48	1.51
3.	Time constant, s	12	12
4.	Working temperature range, ºC	– 30 ÷ + 130	– 30 ÷ + 130
5.	Overall dimensions of thermopile, mm	22 × 22 × 4	22 × 22 × 4

A new design of thermoelectric converters was created, allowing simultaneous recording of temperature and heat flux of the human body surface. Visualization of experimental prototypes of these HFSs with dimensions of 16×16×3 mm is presented in Fig. 4.

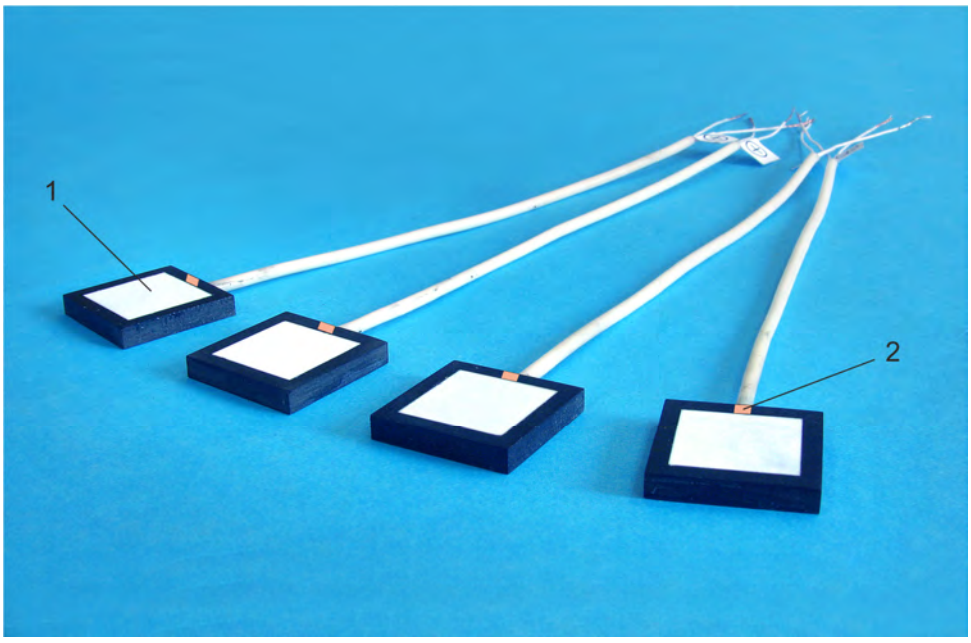


Fig. 4. Visualization of experimental models of HFS with dimensions of 16×16×3 mm: 1 – thermoelectric heat flux sensor, 2 – temperature sensor.

Table 2 presents the results of measuring the main characteristics of the four prototypes of HFS with dimensions of 16×16×3 mm.

Table 2

Measured data of the characteristics of thermoelectric heat flux sensors with dimensions of 16 × 16 × 3 mm

№	Parameter name	HFS			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
1.	Heat flux range, W/m^2	$10^{-2} \div 10^3$	$10^{-2} \div 10^3$	$10^{-2} \div 10^3$	$10^{-2} \div 10^3$
2.	Sensitivity, V/W	3.2	3.32	3.1	3.25
3.	Time constant, s	10	11	11	10
4.	Overall dimensions of thermopile, mm	16 × 16 × 3	16 × 16 × 3	16 × 16 × 3	16 × 16 × 3

Time parameters of the above thermoelectric HFS are presented in Fig. 5.

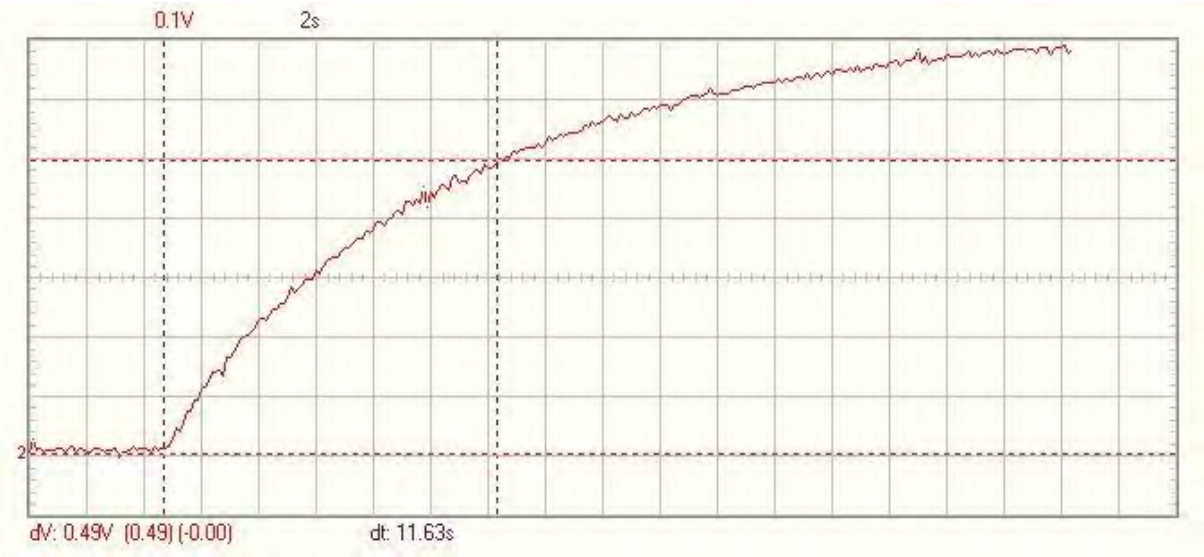


Fig. 5. Time characteristic graph of thermoelectric HFS with dimensions of 16×16×3 mm, equipped with ceramic receiving surface.

Therefore, a specialized bench for calibrating thermoelectric HFS provides the ability to analyze the characteristics of these converters and effectively transmit measurement data to a personal computer in real time. At the same time, the developed thermoelectric sensors, which simultaneously measure temperature and heat flux, allow for continuous monitoring of a person's temperature and thermal state, which is important for various applications in medicine and other industries.

Conclusions

1. A bench for calibrating thermoelectric heat flux sensors has been created and put into operation, which provides the ability to analyze their metrological parameters and transmit measurement data to a personal computer in real time. A methodology has been developed for calibrating both one and two converters simultaneously.

2. An innovative type of thermoelectric converters has been created that allows for simultaneous measurement of temperature and heat flux, which opens up opportunities for continuous monitoring of a person's temperature and thermal state in real time.
3. An improved method for calibrating thermoelectric sensors has been introduced using an additional highly sensitive heat flux converter, which helps to increase the accuracy of determining the volt-watt sensitivity of these devices.

References

1. Anatychuk L.I. (2003). *Thermoelectricity. Vol.2. Thermoelectric power converters*. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity.
2. Anatychuk L.I. (1998). *Thermoelectricity. Vol.1. Physics of thermoelectricity*. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity.
3. Anatychuk L.I. (2007). Current status and some prospects of thermoelectricity. *J. Thermoelectricity*, 2, 7 – 20.
4. Demchuk B.M., Kushneryk L.Ya., Rublenyk I.M. (2002). Thermoelectric sensors for orthopaedics. *J. Thermoelectricity*, 4, 80 – 85.
5. *Patent of Ukraine 53104 A* (2003). Sensor for preliminary diagnosis of inflammatory processes of the mammary glands. A.A. Ashcheulov, A.V. Klepikovskyi, L.Ya. Kushneryk, et al.
6. Ashcheulov A.A., Kushneryk L.Ya. (2004). Thermoelectric device for medico-biological express diagnostics. *Technology and Design in Electronic Equipment*, 4, 38 – 39.
7. *Patent of Ukraine 71619* (2012). L.I. Anatychuk, R.R. Kobylianskyi. Thermoelectric medical heat meter. Institute of Thermoelectricity (In Ukrainian).
8. *Patent of Ukraine 72032* (2012). L.I. Anatychuk, R.R. Kobylianskyi. Thermoelectric sensor for temperature and heat flux measurement. Institute of Thermoelectricity (In Ukrainian).
9. *Patent of Ukraine 73037* (2012). P.D. Mykytiuk, R.R. Kobylianskyi, T.V. Slepeniuk. Thermoelectric medical device. Institute of Thermoelectricity (In Ukrainian).
10. *Patent of Ukraine 78619* (2013). L.I. Anatychuk, R.R. Kobylianskyi. Method for determination of heat flux density. Institute of Thermoelectricity. (In Ukrainian).
11. *Patent of Ukraine 79929* (2013). L.I. Anatychuk. Thermoelectric converter of heat flux for gradient heat meters. Institute of Thermoelectricity (In Ukrainian).
12. Gischuk V.S. (2012). Electronic recorder of human heat flux sensor signals. *J. Thermoelectricity*, 4, 105 – 108.
13. Gischuk V.S. (2013). Electronic recorder with signal processing of thermoelectric heat flux sensor. *J. Thermoelectricity,* 1, 82 – 86.
14. Gischuk V.S. (2013). Modernized device for measuring human heat fluxes. *J. Thermoelectricity,* 2, 91 – 95.
15. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2012). Study of the influence of thermoelectric heat meter on determination of human heat release. *J. Thermoelectricity,* 4, 60 – 66.
16. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2012). 3D-model for determination of the influence of thermoelectric heat meter on the accuracy of measuring human heat release. *Scientific Herald of Chernivtsi University: Collected papers. Physics. Electronics. Vol. 2, Issue 1*. Chernivtsi: Chernivtsi National University, 15 – 20.
17. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2013). Computer simulation of thermoelectric heat meter readings in real-world operating conditions. *J. Thermoelectricity,* 1, 53 – 60.

18. Anatychuk L.I., Giba R.G., Kobylianskyi R.R. On some features of the use of medical heat meters in the study of local human heat release. *J. Thermoelectricity*,2, 67 – 73.
19. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovich I.A. (2013). On the influence of a thermoelectric power source on the accuracy of temperature and heat flux measurement. *J. Thermoelectricity*, 6, 53 – 61.
20. Ivashchuk O.I., Morar I.K., Kobylianskyi R.R., Nepelyak L.V., Deley V.D. (2013). The role of abdominal heat flow in monitoring acute destructive pancreatitis. *Abstracts of scientific and practical conference "Current issues in surgery"*, Chernivtsi, Ukraine, 254 – 259.
21. Kobylianskyi R.R. (2016). The influence of thermal insulation on the readings of thermoelectric medical sensor. *Scientific Herald of Chernivtsi University: Collected papers. Physics. Electronics. Vol. 5, Issue 1*. Chernivtsi: Chernivtsi National University, 45 – 49.
22. Kobylianskyi R.R. (2016). Computer simulation of readings of a medical thermoelectric sensor. *J. Thermoelectricity*, 4. 69 – 77.
23. Gischuk V.S., Kobylianskyi R.R., Cherkez R.G. (2014). Multichannel device for measuring the temperature and density of heat fluxes. *Scientific Herald of Chernivtsi University: Collected papers. Physics. Electronics. Vol. 3, Issue. 1*. Chernivtsi: Chernivtsi National University, 96 – 100.
24. Kobylianskyi R.R., Boychuk V.V. (2015). The use of thermoelectric heat meters in medical diagnostics. *Scientific Herald of Chernivtsi University: Collected papers. Physics. Electronics. Vol. 4, Issue 1*. Chernivtsi: Chernivtsi National University, 90 – 96.
25. Anatychuk L.I., Ivashchuk O.I., Kobylianskyi R.R., Postevka I.D., Bodiaka V.Yu., Gushul I.Ya. (2016). Thermoelectric device for measuring the temperature and density of heat flux "ALTEC-10008". *J. Thermoelectricity*. 1, 76 – 84.
26. Anatychuk L.I., Yuryk O.E., Kobylianskyi R.R., Roy I.V., Fishchenko Ya.V., Slobodianiuk N.P., Yuryk N.E., Duda B.S. (2017). Thermoelectric device for diagnosing inflammatory processes and neurological manifestations of osteochondrosis of the human spine. *J. Thermoelectricity*, 3, 54 – 67.
27. Yuryk O.E., Anatychuk L.I., Roy I.V., Kobylianskyi R.R., Fishchenko Ya.V., Slobodianuk N.P., Yuryk N.E., Duda B.S. (2017). Peculiarities of heat exchange in patients with neurological manifestations of osteochondrosis in the lumbosacral spine. *Trauma*, 18(6).
28. Anatychuk L.I., Luste O.J, Kobylianskyi R.R. (2017). Information and energy theory of thermoelectric temperature and heat flux sensors for medical purposes. *J. Thermoelectricity*, 4, 5 – 20.
29. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskyi V.I., Tiumentsev V.A. (2017). Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of inflammatory processes in the human organism. *Tekhnologiya i Konstruirovanie v Elektronnoi Apparature – Technology and Design in Electronic Equipment*, 6, 44 – 48.
30. Anatychuk L.I., Ivashchuk O.I., Kobylianskyi R.R., Postevka I.D., Bodiaka V.Yu., Gushul I.Ya., Chuprovska Yu.Ya. (2018). On the influence of ambient temperature on the readings of thermoelectric medical sensors. *Sensor Electronics and Microsystem Technologies*, 15 (1), 17 – 29.
31. Anatychuk L.I., Pasyechnikova N.V., Naumenko V.O., Zadorozhnyi O.S., Havryliuk M.V., Kobylianskyi R.R. (2018). Thermoelectric device for determination of heat flux from the surface of eyes. *J. Thermoelectricity*, 5, 52 – 67.
32. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovich I.A. (2014). Calibration of thermoelectric heat flux sensors. *Proc. of XV International scientific and practical conference "Modern information and electronic technologies"* (Odesa, Ukraine, May 26-30, 2014.) Vol.2, 30 – 31.

33. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovich I.A., Lysko V.V., Pugantseva O.V., Rozver Yu.Yu., Tiumentsev V.A. (2016). Calibration bench for thermoelectric heat flux converters. *J. Thermoelectricity,* 5, 71 – 79.
34. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovich I.A., Kuz R.V., Manyk O.M., Nitsovich O.V., Cherkez R.G. (2016). Manufacturing technology of thermoelectric microthermopiles. *J. Thermoelectricity,* 6, 49 – 54.
35. Anatychuk L.I., Razinkov V.V., Bukharayeva N.R., Kobylianskyi R.R. (2017). Thermoelectric bracelet. *J. Thermoelectricity,* 2, 58 – 72.
36. Anatychuk L.I., Todurov B.M., Kobylianskyi R.R., Dzhal S.A. (2019). On the use of thermoelectric microgenerators to power pacemakers. *J. Thermoelectricity,* 5, 63 – 88.
37. Anatychuk L.I., Yuryk O.E., Strafun S.S., Stashkevich A.T., Kobylianskyi R.R., Cheviuk A.D., Yuryk N.E., Duda B.S. (2021). Thermometric indicators in patients with chronic low back pain. *J. Thermoelectricity,* 1, 52 – 66.
38. Chunzhi Wang, Hongzhe Jiao, Lukyan Anatychuk, Nataliya Pasyechnikova, Volodymyr Naumenko, Oleg Zadorozhnyy, Lyudmyla Vikhor, Roman Kobylianskyi, Roman Fedoriv, Orest Kochan (2022). Development of a temperature and heat flux measurement system based on microcontroller and its application in ophthalmology. *Measurement Science Review*, 22 (2), 73 – 79.
39. Kobylianskyi R.R., Prybyla A.V., Konstantynovich I.A., Boychuk V.V. (2022). Results of experimental investigations of thermoelectric medical heat flux sensors, *J. Thermoelectricity*, 3-4, 70 – 83.
40. Yuryk O., Anatychuk L., Kobylianskyi R., Yuryk N. (2023). *Measurement of heat flux density as a new method of diagnosing neurological diseases.* Kharkiv: PC Technology Center, 31 – 68.

Submitted 11.07.2023.

Анатичук Л.І., *акад. НАН України* [1,2]
Кобилянський Р.Р., *канд. фіз.-мат. наук* [1,2]
Лисько В.В., *канд. фіз.-мат. наук* [1,2]
Прибила А.В., *канд. фіз.-мат. наук* [1,2]
Константинович І.А., *канд. фіз.-мат. наук* [1,2]
Кобилянська А.К., *канд. фіз.-мат. наук* [1]
Гаврилюк М.В. [1,2]
Бойчук В.В. [2]

[1] Інститут термоелектрики НАН та МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
[2] Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58012, Україна
e-mail: anatych@gmail.com

МЕТОДИКА КАЛІБРУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ СЕНСОРІВ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У даній роботі представлено результати створення експериментального стенду для калібрування термоелектричних датчиків теплового потоку та аналізу їхніх метрологічних властивостей. Розроблені процедури калібрування як для одного, так і для двох датчиків одночасно. Також було створено та випробувано новий тип термоелектричних датчиків, які здатні одночасно вимірювати температуру та тепловий потік на поверхні тіла людини.
Ключові слова: калібрувальний стенд, термоелектричний датчик, тепловий потік, вольт-ватна чутливість.

Література

1. Анатичук Л.І. Термоелектрика. Т.2. Термоелектричні перетворювачі енергії. Київ, Чернівці: Інститут термоелектрики, 2003. – 376 с.
2. Anatychuk L.I. (1998). *Thermoelectricity. Vol.1. Physics of thermoelectricity*. Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity.
3. Анатичук Л.І. Сучасний стан і деякі перспективи термоелектрики // Термоелектрика. – 2007. – № 2. – С. 7 – 20.
4. Демчук Б.М., Кушнерик Л.Я., Рубленик І.М. Термоелектричні датчики для ортопедії.// Термоелектрика. – 2002. – №4. – С. 80 – 85.
5. Патент України 53104 А. Датчик для попередньої діагностики запальних процесів молочних залоз // А.А.Ашеулов, А.В.Клепіковський, Л.Я. Кушнерик та ін. – 2003.
6. Ащеулов А.А., Кушнерик Л.Я. Термоелектричний прилад для медико-біологічної експрес-діагностики // Технологія та конструювання в електронній апаратурі. – №4. – 2004. – С. 38 – 39.
7. Пат. 71619 Україна, МПК H01L 35/00. Термоелектричний медичний тепломір / Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.; Інститут термоелектрики. – № u 2011 14007; заявл. 28.11.11; опубл. 25.07.12, Бюл. № 14.
8. Пат. 72032 Україна, МПК H01L 35/00. Термоелектричний сенсор для вимірювання температури і теплового потоку / Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.; Інститут термоелектрики. – № u 2011 14005; заявл. 28.11.11; опубл. 10.08.12, Бюл. № 15.
9. Пат. 73037 Україна, МПК H01L 35/02. Термоелектричний медичний пристрій / Микитюк П.Д., Кобилянський Р.Р., Слепенюк Т.В.; Інститут термоелектрики. – № u 2012 01922; заявл. 20.02.12; опубл. 10.09.12, Бюл. № 17.
10. Пат. 78619 Україна, МПК H01L 35/00. Метод визначення густини теплового потоку / Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р.; Інститут термоелектрики. – № u 2012 11018; заявл. 21.09.12; опубл. 25.03.13, Бюл. № 6.
11. Пат. 79929 Україна, МПК H01L 35/00. Термоелектричний перетворювач теплового потоку для градієнтних тепломірів / Анатичук Л.І.; Інститут термоелектрики. – № u 2012 11857; заявл. 15.10.12; опубл. 13.05.13, Бюл. № 9.
12. Гищук В.С. Електронний регістратор сигналів сенсорів теплового потоку людини // Термоелектрика. − № 4. – 2012. – С. 105 – 108.
13. Гищук В.С. Електронний регістратор з обробкою сигналів термоелектричного сенсора теплового потоку // Термоелектрика. − № 1. – 2013. – С. 82 – 86.
14. Гищук В.С Модернізований прилад для вимірювання теплових потоків людини // Термоелектрика. – №2. – 2013. – С. 91 – 95.
15. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. Дослідження впливу термоелектричного тепломіра на визначення тепловиділення людини // Термоелектрика. − № 4. – 2012. – С. 60 – 66.

16. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. 3D-модель для визначення впливу термоелектричного тепломіра на точність вимірювання тепловиділення людини // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 2, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2012. – С. 15 – 20.
17. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. Комп'ютерне моделювання показів термоелектричного тепломіра в умовах реальної експлуатації // Термоелектрика. − № 1. – 2013. – С. 53 – 60.
18. Анатичук Л.І., Гіба Р.Г., Кобилянський Р.Р. Про деякі особливості використання медичних тепломірів при дослідженні локальних тепловиділень людини // Термоелектрика. − № 2. – 2013. – С. 67 – 73.
19. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А. Про вплив термоелектричного джерела живлення на точність вимірювання температури і теплового потоку // Термоелектрика. − № 6. – 2013. – С. 53 – 61.
20. Іващук О.І., Морар І.К., Кобилянський Р.Р., Непеляк Л.В., Делей В.Д. Роль теплового потоку черевної порожнини в моніторингу гострого деструктивного панкреатиту // Збірник тез науково-практичної конференції "Актуальні питання хірургії", м. Чернівці, Україна. – 2013. – С. 254 – 259.
21. Кобилянський Р.Р. Про вплив теплової ізоляції на покази термоелектричного сенсора медичного призначення // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 5, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2016. – С. 45 – 49.
22. Кобилянський Р.Р. Комп'ютерне моделювання показів термоелектричного сенсора медичного призначення // Термоелектрика. − № 4. – 2016. – С. 69 – 77.
23. Гищук В.С., Кобилянський Р.Р., Черкез Р.Г. Багатоканальний прилад для вимірювання температури і густини теплових потоків // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 3, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. – С. 96 – 100.
24. Кобилянський Р.Р., Бойчук В.В. Використання термоелектричних тепломірів у медичній діагностиці // Науковий вісник Чернівецького університету: збірник наук. праць. Фізика. Електроніка. – Т. 4, Вип. 1. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2015. – С. 90 – 96.
25. Анатичук Л.І., Іващук О.І., Кобилянський Р.Р., Постевка І.Д., Бодяка В.Ю., Гушул І.Я. Термоелектричний прилад для вимірювання температури і густини теплового потоку "АЛТЕК-10008" // Термоелектрика. − № 1. – 2016. – С. 76 – 84.
26. Анатичук Л.І., Юрик О.Є., Кобилянський Р.Р., Рой І.В., Фіщенко Я.В., Слободянюк Н.П., Юрик Н.Є., Дуда Б.С. Термоелектричний прилад для діагностики запальних процесів та неврологічних проявів остеохондрозу хребта людини // Термоелектрика. − № 3. – 2017. – С. 54 – 67.
27. Юрик О.Є., Анатичук Л.І., Рой І.В., Кобилянський Р.Р., Фіщенко Я.В., Слободянюк Н.П., Юрик Н.Є., Дуда Б.С. Особливості теплового обміну у пацієнтів з неврологічними проявами остеохондрозу в попереково-крижовому відділі хребта // Травма. − Т.18. – № 6. – 2017.
28. Анатичук Л.І., Лусте О.Я., Кобилянський Р.Р. Інформаційно-енергетична теорія термоелектричних сенсорів температури і теплового потоку медичного призначення // Термоелектрика. − № 4. – 2017. – С. 5 – 20.
29. Anatychuk L.I., Kobylianskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskyi V.I., Tiumentsev V.A. (2017). Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of

inflammatory processes in the human organism. *Tekhnologiya i Konstruirovanie v Elektronnoi Apparature – Technology and Design in Electronic Equipment*, 6, 44 – 48.

30. Анатичук Л.І., Іващук О.І., Кобилянський Р.Р., Постевка І.Д., Бодяка В.Ю., Гушул І.Я., Чупровська Ю.Я. Про вплив температури навколишнього середовища на покази термоелектричних сенсорів медичного призначення // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. − Т. 15. – № 1. – 2018. – С. 17 – 29.
31. Анатичук Л.І., Пасєчнікова Н.В., Науменко В.О., Задорожний О.С., Гаврилюк М.В., Кобилянський Р.Р. Термоелектричний прилад для визначення теплового потоку з поверхні очей // Термоелектрика. − № 5. – 2018. – С. 52 – 67.
32. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А. Градуювання термоелектричних сенсорів теплового потоку // Труди XV Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та електронні технології» 26-30 травня 2014 року. – Т. 2. – Одеса, Україна. – 2014. – С. 30 – 31.
33. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А., Лисько В.В., Пуганцева О.В., Розвер Ю.Ю., Тюменцев В.А. Стенд для градуювання термоелектричних перетворювачів теплового потоку // Термоелектрика. − № 5. – 2016. – С. 71 – 79.
34. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А., Кузь Р.В., Маник О.М., Ніцович О.В., Черкез Р.Г. Технологія виготовлення термоелектричних мікробатарей // Термоелектрика. − № 6. – 2016. – С. 49 – 54.
35. Анатичук Л.І., Разіньков В.В., Бухараєва Н.Р., Кобилянський Р.Р. Термоелектричний браслет // Термоелектрика. − № 2. – 2017. – С. 58 – 72.
36. Анатичук Л.І., Тодуров Б.М., Кобилянський Р.Р., Джал С.А. Про використання термоелектричних мікрогенераторів для живлення електрокардіостимуляторів // Термоелектрика. − № 5. – 2019. – С. 63 – 88.
37. Анатичук Л.І., Юрик О.Є., Страфун С.С., Сташкевич А.Т., Кобилянський Р.Р., Чев'юк А.Д., Юрик Н.Є., Дуда Б.С. Теплометричні показники у пацієнтів з хронічним болем у попереку // Термоелектрика. − № 1. – 2021. – С. 52 – 66.
38. Chunzhi Wang, Hongzhe Jiao, Lukyan Anatychuk, Nataliya Pasyechnikova, Volodymyr Naumenko, Oleg Zadorozhnyy, Lyudmyla Vikhor, Roman Kobylianskyi, Roman Fedoriv, Orest Kochan (2022). Development of a temperature and heat flux measurement system based on microcontroller and its application in ophthalmology. *Measurement Science Review*, 22 (2), 73 – 79.
39. Кобилянський Р.Р., Прибила А.В., Константинович І.А., Бойчук В.В. Результати експериментальних досліджень термоелектричних медичних сенсорів теплового потоку // Термоелектрика. – №3-4. – 2022. – 70 – 83.
40. Yuryk O., Anatychuk L., Kobylianskyi R., Yuryk N. (2023). *Measurement of heat flux density as a new method of diagnosing neurological diseases.* Kharkiv: PC Technology Center, 31 – 68.

Надійшла до редакції: 11.07.2023.