

УДК 537.32

Анатичук Л.І., *акад. НАН України*^{1,2},
Пасєчнікова Н.В., *док. мед. наук, професор,*
*член – корреспондент НАМН України*³,
Науменко В.О., *док. мед. наук, професор*³,
Задорожний О.С., *канд. мед. наук*³
Гаврилюк Н.В.^{1,2},
Кобилянський Р.Р. *канд. фіз.-мат. наук*^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatyuch@gmail.com

²Чернівецький національний університет
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58000, Україна,

³ДУ "Інститут очних хвороб та тканинної терапії
ім. В.П. Філатова НАМН України", Французький бульвар,
49/51, Одеса, 65000, Україна.

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ З ПОВЕРХНІ ОЧЕЙ

У роботі наведено конструкцію та технічні характеристики вперше розробленого термоелектричного приладу для визначення теплового потоку з поверхні очей. Прилад є перспективним для діагностики та моніторингу офтальмологічних захворювань, що дає можливість підвищити ефективність ранньої діагностики патології органу зору, спостерігати в динаміці за розвитком патологічного процесу в структурах ока, а також підвищити ефективність лікування гострих і хронічних захворювань ока. Розроблений термоелектричний прилад дозволяє здійснювати моніторинг теплового та температурного стану поверхні очей у режимі реального часу, є оригінальним та не має світових аналогів. Бібл. 30, рис. 8, табл. 2.

Ключові слова: термоелектричний прилад, тепловий потік, офтальмологія.

Вступ

Загальна характеристика проблеми. Організм людини, пристосовуючись до мінливих умов навколишнього середовища, здатний підтримувати відносну сталість свого внутрішнього середовища (гомеостаз). Терморегуляція організму людини є одним з найважливіших аспектів підтримки гомеостазу. Для забезпечення сталості температури тіла необхідно, щоб кількість теплової енергії (теплопродукція), що утворюється в організмі, дорівнювала кількості теплової енергії, що віддається у навколишнє середовище (тепловіддача). Генерація теплової енергії в організмі людини відбувається безперервно в процесі метаболічних екзотермічних реакцій розпаду або окислення складних речовин (глюкоза, білки, ліпіди тощо) на простіші [1]. Рівень

теплопродукції, у свою чергу, залежить від активності метаболізму [2]. Віддача тепла у навколишнє середовище здійснюється за допомогою чотирьох основних механізмів: випромінювання, теплопередача, конвекція та випаровування [3].

Оцінка процесів теплообміну організму людини базується на вимірюванні температури і теплового потоку. Температура характеризує якісну сторону теплового явища, а тепловий потік – кількісну [4, 5]. Область вимірювання температури, в тому числі в офтальмології, традиційно добре забезпечена апаратурою і метрологією. Температура в різних відділах ока може бути визначена безконтактними або контактними методами. Ці методи термометрії мають як переваги, так і певні недоліки [6]. Що стосується локального вимірювання теплового потоку з поверхні тіла людини, то останнім часом досягнуто відчутний успіх у розробці сучасних засобів його вимірювання [7-14]. Для дослідження локального тепловиділення організму людини перспективними є термоелектричні сенсори теплового потоку, які поєднують в собі високу чутливість, точність, швидкодію, стабільність параметрів в широкому інтервалі робочих температур і узгоджуються з сучасною реєстраційною апаратурою [15 – 17]. Використання таких сенсорів дозволяє досягати високої точності теплотричних вимірювань [18]. Однак, слід зазначити, що у світі досі не існує жодного термоелектричного приладу для вимірювання теплового потоку з поверхні очей.

В оці тварини та людини кровообіг у судинній оболонці є основним джерелом тепла. Кров, поступаючи в око з температурою, що практично дорівнює температурі тіла, формує тепловий градієнт, який індукує перехід тепла від крові до тканин ока. Чим інтенсивніший кровообіг, тим більша кількість тепла передається тканинам ока. Тепло, розподілене по очних тканинах, переходить у навколишнє середовище через зовнішні оболонки ока [6, 19, 20]. На сьогоднішній день в офтальмології існує проблема ранньої та диференціальної медичної діагностики різноманітних захворювань, що характеризуються змінами внутрішньоочною кровообігу (запальні процеси, пухлини судинної оболонки, глаукома тощо). Очевидно, що порушення кровообігу ока мають супроводжуватися динамікою показників теплообміну [20, 21]. Отже, розробка нових високочутливих методів реєстрації змін теплообміну ока, в тому числі на основі застосування термоелектричних сенсорів теплового потоку, дозволить підвищити ефективність ранньої діагностики даної патології.

Відомо, що ряд офтальмологічних гострих і хронічних захворювань супроводжується зміною внутрішньоочних теплових процесів. Так, в деяких дослідженнях був продемонстрований взаємозв'язок температури зовнішньої поверхні ока зі станом кровообігу очей, внутрішньоочним тиском, наявністю запального процесу [22, 23]. Зміна теплових характеристик тканин ока може відбуватися в ранній фазі захворювання до появи вираженої клінічної симптоматики. Реєстрація цих змін є перспективним напрямком ранньої діагностики різної офтальмопатології. Діагностика патологічного процесу на ранньому етапі розвитку призведе до підвищення ефективності лікування і зниження ризику ускладнень.

Тому *метою даної роботи* є розробка термоелектричного приладу для визначення теплового потоку з поверхні очей, що дає можливість підвищити ефективність ранньої діагностики офтальмологічних захворювань.

Конструкція і технічні характеристики приладу

Термоелектричний прилад для визначення теплового потоку з поверхні очей був розроблений в Інституті термоелектрики НАН та МОН України в рамках договору про співробітництво з ДУ "Інститут очних хвороб та тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України". Прилад

призначений для діагностики та моніторингу офтальмологічних захворювань, що дає можливість підвищити ефективність ранньої діагностики патології органу зору, спостерігати в динаміці за розвитком патологічного процесу в структурах ока, а також підвищити ефективність лікування гострих і хронічних захворювань ока. Розроблений термоелектричний прилад є оригінальним та не має світових аналогів [24]. Зовнішній вигляд приладу та технічні характеристики наведено на рис. 1 і в табл. 1.

На передній панелі приладу розміщений програмований терморегулятор типу RE-202, роз'єм для підключення термоелектричного сенсора теплового потоку, роз'єм для підключення термоелектричного термопарного датчика температури та тумблер включення приладу (рис. 1). На задній панелі розміщений роз'єм для підключення зарядного пристрою. Слід зазначити, що категорично забороняється проводити вимірювання теплового потоку і температури живих біологічних об'єктів при підключеному зовнішньому мережевому зарядному пристрої. Працювати з приладом можна тільки при відключеному зарядному пристрої.

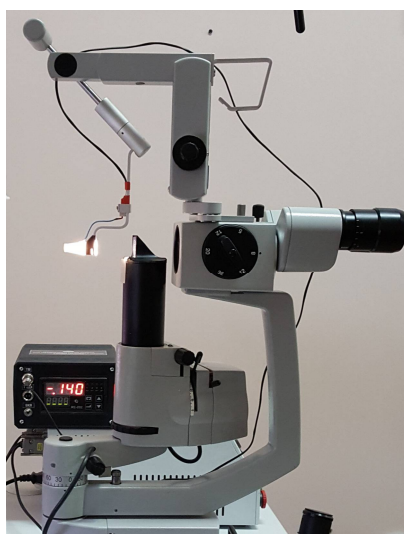
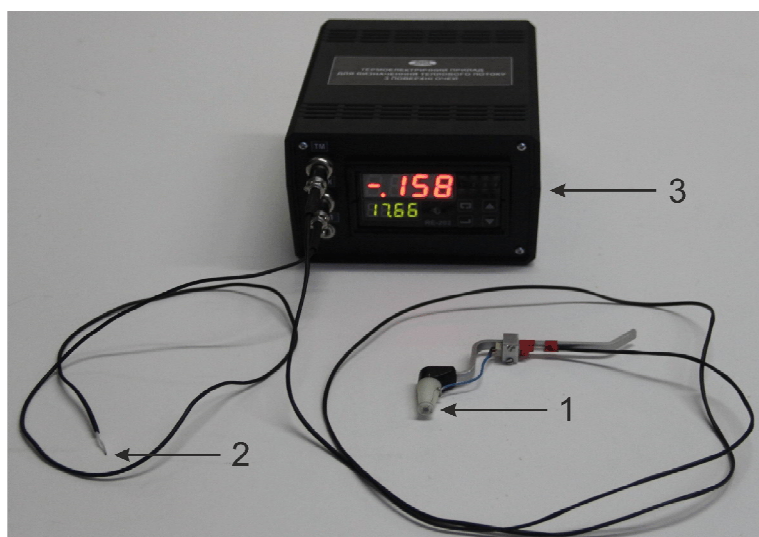


Рис. 1. Термоелектричний прилад для визначення теплового потоку з поверхні очей:
1 – термоелектричний сенсор теплового потоку, 2 – термоелектричний термопарний датчик температури, 3 – електронний блок керування

Таблиця 1

Технічні характеристики приладу

№	Технічні характеристики приладу	Значення параметрів
1.	Кількість каналів вимірювання	4
2.	Кількість термоелектричних сенсорів теплового потоку	1
3.	Кількість термоелектричних датчиків температури	1
4.	Діапазон вимірювання густини теплового потоку	0.01 ÷ 50 мВт/см ²
5.	Точність вимірювання густини теплового потоку	± 5 %
6.	Діапазон вимірювання температур	0 ÷ 50 °С
7.	Дискретність вимірювання температур	± 0.01 °С
8.	Діапазон вимірювання кімнатної температури	0 ÷ 50 °С
9.	Дискретність вимірювання кімнатної температури	± 0.01 °С
10.	Діапазон вимірювання напруги акумулятора	3.7 ÷ 4.5 В
11.	Час неперервної роботи приладу від зарядженого акумулятора	12 год.
12.	Габаритні розміри термоелектричного сенсора теплового потоку	Ø3 × 0.7 мм
13.	Габаритні розміри електронного блоку керування	180 × 140 × 90 мм
14.	Вага приладу	0.6 кг

Багатоканальний термоелектричний прилад (рис. 1) представляє собою автономний пристрій з акумуляторним джерелом живлення, що дає можливість проводити високоточні вимірювання теплових потоків і температур біологічних об'єктів контактним способом. Блок-схема такого приладу наведена на рис. 2.

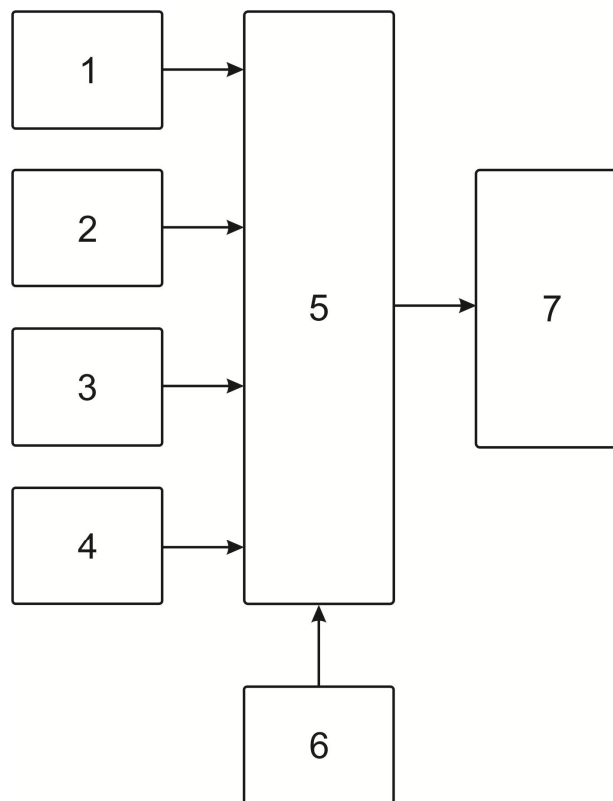


Рис. 2. Блок-схема термоелектричного приладу для визначення теплового потоку з поверхні очей: 1 – канал вимірювання теплового потоку, 2 – канал вимірювання температури, 3 – канал вимірювання напруги на акумуляторному джерелі живлення, 4 – канал вимірювання кімнатної температури, 5 – цифровий мікроконтролер, 6 – акумуляторний блок живлення із зарядним пристроєм, 7 – цифровий дисплей

Прилад складається з наступних функціональних вузлів: каналу вимірювання теплового потоку 1, каналу вимірювання температури 2, каналу вимірювання напруги на акумуляторному джерелі живлення 3, каналу вимірювання кімнатної температури 4, цифрового мікроконтролера 5, акумуляторного блоку живлення із зарядним пристроєм 6 та цифрового дисплею 7.

Канал вимірювання теплового потоку 1 призначений для точного вимірювання генерованої напруги термоелектричного сенсора теплового потоку і подальшого її перетворення у фізичну величину в одиницях густини теплового потоку ($\text{мВт}/\text{см}^2$). Дискретність вимірювання напруги каналу становить $\pm 1 \text{ мкВ}$, що дозволяє проводити вимірювання теплового потоку з максимальною точністю.

Канал вимірювання температури 2 призначений для високоточного вимірювання температури термоелектричним термопарним датчиком. Особливістю розробленого приладу є те, що вперше у лікаря з'явилася можливість за допомогою простого переносного автономного приладу проводити вимірювання температури біологічного об'єкта з дискретністю $\pm 0.01 \text{ }^\circ\text{C}$. Оскільки в якості датчика температури використовується термопара хромель-копель, що може бути виготовлена з мінімальними геометричними розмірами, то це дає можливість вимірювати температуру мініатюрних біологічних об'єктів з високою швидкодією.

Канал 3 призначений для вимірювання та контролю напруги на акумуляторному джерелі живлення. Оскільки прилад живиться від акумулятора, то тривалість його безперервної роботи залежить від рівня зарядки акумулятора, який, у свою чергу, залежить від залишкової напруги на ньому. Якщо напруга на акумуляторі стане менше, ніж 3.7 В , то його слід зарядити згідно інструкції по експлуатації приладу.

Канал вимірювання кімнатної температури 4 призначений для точного вимірювання температури навколишнього середовища. Датчик температури розташований на лицьовій панелі приладу біля роз'ємів. Вимірювання кімнатної температури проводиться з дискретністю ± 0.01 °C і цей сигнал використовується для компенсації температури холодного спаю термопар хромель-копель.

Цифровий мікроконтролер 5 призначений для керування вимірювальними каналами, нормування і перетворення генерованих сигналів у фізичні величини. Цифровий мікроконтролер можна програмувати за допомогою кнопок, розташованих на передній панелі приладу, вибирати тип датчика та межі вимірювання.

Акумуляторний блок живлення із зарядним пристроєм 6 призначений для гальванічної розв'язки приладу та досліджуваного біологічного об'єкта з метою можливого запобігання ураження його електричним струмом. Завдяки гальванічній розв'язці приладу від електромережі створено безпечне та ефективне використання приладу в офтальмологічній практиці. Низька напруга автономного живлення приладу (не більше 4.5 В) не представляє загрози ураження електричним струмом будь-якого досліджуваного біологічного об'єкта. Зарядний пристрій запобігає виходу з ладу літій-іонного акумулятора в разі його критичних режимів роботи.

Цифровий дисплей 7 відображає результати вимірювань (значення густини теплового потоку – у мВт/см² та температури – у °C) на передній панелі приладу. Цифровий дисплей є світлодіодним, великим та яскравим, що дозволяє проводити вимірювання у затемнених приміщеннях з великих відстаней.

Прилад простий, компактний, переносний, автономний та надійний в експлуатації, що дає можливість лікарю або медичному працівнику користуватися ним без спеціальної підготовки. Отже, до технічних переваг такого приладу слід віднести: наявність високочутливого специфічного термоелектричного сенсора теплового потоку, можливість вимірювання температури з дискретністю ± 0.01 °C, безпека використання приладу завдяки його гальванічній розв'язці від електромережі та можливість моніторингу теплового і температурного стану поверхні очей людини у режимі реального часу.

Виготовлення та градування термоелектричного сенсора теплового потоку

Для вказаного термоелектричного приладу було розроблено та виготовлено мініатюрний термоелектричний сенсор теплового потоку за спеціальною запатентованою технологією Інституту термоелектрики НАН та МОН України [25 – 27]. Термоелектричний мікромодуль розмірами (2 × 2 × 0.5) мм містить 100 шт. кристалів *n*- та *p*-типів провідності розмірами (0.17 × 0.17 × 0.4) мм з високоефективного термоелектричного матеріалу на основі *Bi-Te*. Такий термоелектричний мікромодуль поміщається між двома керамічними пластинами на основі *Al₂O₃* діаметром 3 мм та товщиною 0.1 мм кожна, а бокова поверхня герметизується за допомогою спеціального герметика. Таким чином, діаметр та висота виготовленого термоелектричного сенсора теплового потоку складає 3 мм та 0.7 мм відповідно (рис. 3). Значення діаметру розробленого сенсора теплового потоку було визначено згідно медичних вимог [28]. Електричний опір такого термоелектричного сенсора складає $R = 14$ Ом.

Наступним етапом роботи було визначення вольт-ватної чутливості термоелектричного сенсора теплового потоку [29, 30]. Для визначення вольт-ватної чутливості сенсора теплового потоку вказаного приладу в якості джерела теплового потоку був використаний випромінювач теплової енергії типу абсолютно чорного тіла (АЧТ). Схема стенду для визначення вольт-ватної чутливості термоелектричного сенсора теплового потоку наведена на рис. 4.



Рис. 3. Термоелектричний сенсор теплового потоку
діаметром 3 мм і висотою 0.7 мм

Вольт-ватної чутливість термоелектричного сенсора теплового потоку визначається згідно наступного виразу:

$$v = \frac{E}{Q}, \quad (1)$$

де v – вольт-ватна чутливість термоелектричного сенсора теплового потоку (В/Вт), E – термоЕРС термоелектричного сенсора теплового потоку (В), Q – величина теплового потоку (Вт).

Величина теплового потоку, що випромінюється АЧТ і поглинається приймальною площадкою термоелектричного сенсора теплового потоку, визначається наступним чином:

$$Q = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \sigma (T_1^4 - T_0^4) \cdot S_1 \cdot S_0}{\pi \cdot l^2}, \quad (2)$$

де $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-12}$ Вт/(см²·К⁴) – постійна Больцмана, $\varepsilon_1 = 1$ для випромінювача АЧТ, $\varepsilon_2 = 0.82$ для приймальної площадки – шліфованої кераміки на основі Al_2O_3 , T_1 , К – температура корпусу АЧТ, T_0 , К – температура приймальної площадки, що фактично близька до температури навколишнього середовища, S_1 , см² – площа випромінювального отвору АЧТ, S_0 , см² – площа приймальної площадки, l , см – відстань між вихідним отвором випромінювального АЧТ і приймальною площадкою, які між собою паралельні та їх центри знаходяться на одній осі.

Для даного сенду (рис.4) маємо наступні значення: $S_1 = 0.059$ см², $S_0 = 0.07065$ см², $l = 0.9$ см.

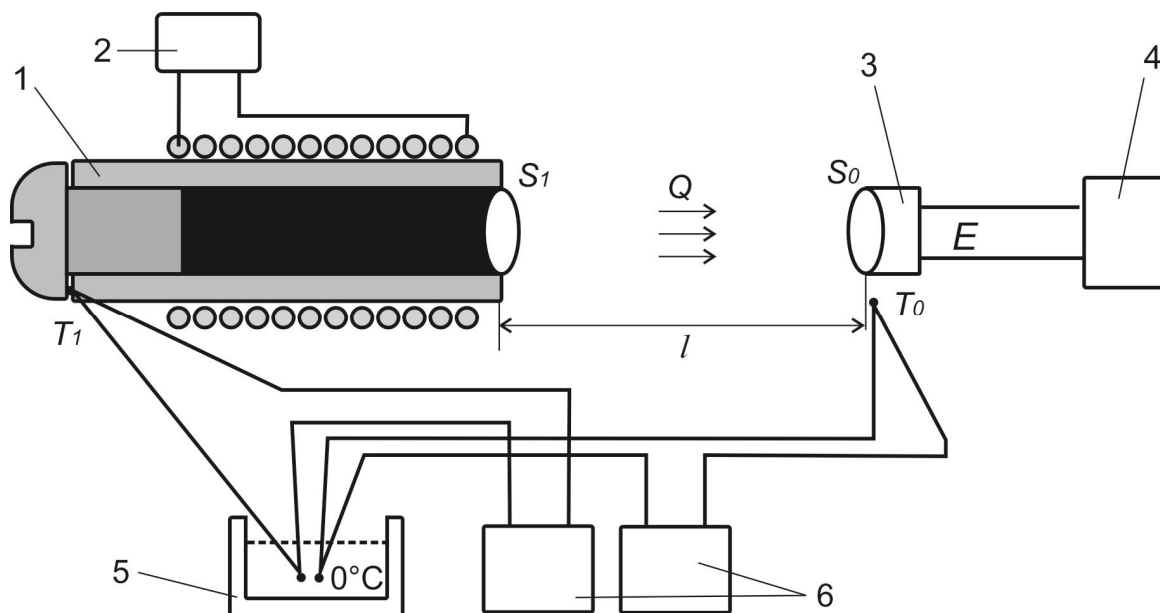


Рис. 4. Схема стенду для визначення вольт-ватної чутливості термоелектричного сенсора теплового потоку: 1 – АЧТ, 2 – блок живлення нагрівника АЧТ, 3 – термоелектричний сенсор теплового потоку, 4 – мілівольтметр, 5 – нуль-термостат термоелектричних терморпар, 6 – вимірювачі температури

Результати визначення вольт-ватної чутливості термоелектричного сенсора теплового потоку наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати визначення вольт-ватної чутливості термоелектричного сенсора теплового потоку

$T_0, ^\circ\text{C}$	$T_1, ^\circ\text{C}$	$E, \text{ мВ}$	$Q, \text{ мВт}$	$\nu, \text{ В/Вт}$
18.5	50	0.096	27.9	3.43
18.5	58	0.124	36.44	3.40

Таким чином, було проведено градування термоелектричного сенсора теплового потоку та визначено коефіцієнт перетворення ($k = 4.163 \text{ мВт/мВ} \times \text{см}^2$) значення генерованої напруги термоелектричного сенсора у фізичну величину в одиницях густини теплового потоку (мВт/см^2).

Порядок роботи з приладом

Розроблений термоелектричний сенсор теплового потоку вказаного приладу закріплено на контактну призму та штатив, що є аналогічними стандартному апланаційному тонометру Гольдмана (медичний пристрій, що застосовується для вимірювання внутрішньоочного тиску) [28].

Вказані контактна призма та штатив є універсальними та можуть кріпитися до біомікроскопів різних виробників (рис. 5-8). Особливістю конструкції контактної призми є те, що вона має можливість зніматися з штативу для обробки після кожного пацієнта. Термоелектричний сенсор теплового потоку, що закріплений у центрі контактної призми, безпосередньо контактує із зовнішньою поверхнею ока людини (з центром рогівки). Також слід зазначити, що контактну поверхню термоелектричного сенсора теплового потоку зроблено атравматичною (зі згладженими краями) та передбачено можливість обробки і дезінфекції цієї поверхні.

Термоелектричний сенсор теплового потоку (діаметр 3 мм) розміщено в центрі робочої поверхні контактної призми (діаметр 7 мм) та конструктивно передбачено невелику оптичну зону контролю між ними для того, щоб лікар дивлячись у біомікроскоп мав можливість точно встановити вказаний термоелектричний сенсор на центр рогівки ока (рис. 8).



Рис. 5. Штатив тонометра Гольдмана, закріплений на біомікроскопі

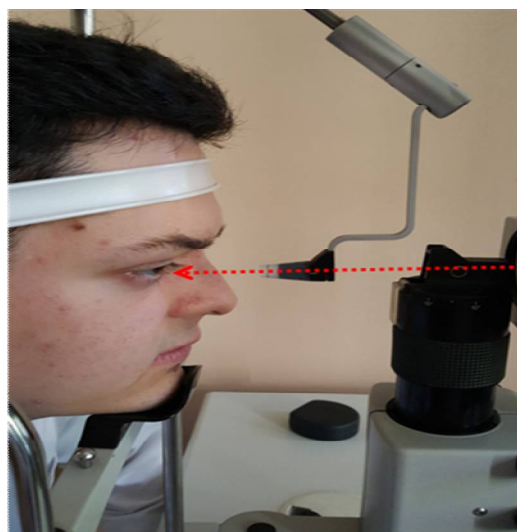


Рис. 6. Контактна призма та штатив тонометра Гольдмана, закріплені на біомікроскопі (на рисунку вказано напрямок погляду лікаря)



Рис. 7. Положення контактної призми, закріпленої в штативі тонометра Гольдмана, в процесі дослідження за допомогою термоелектричного сенсора теплового потоку

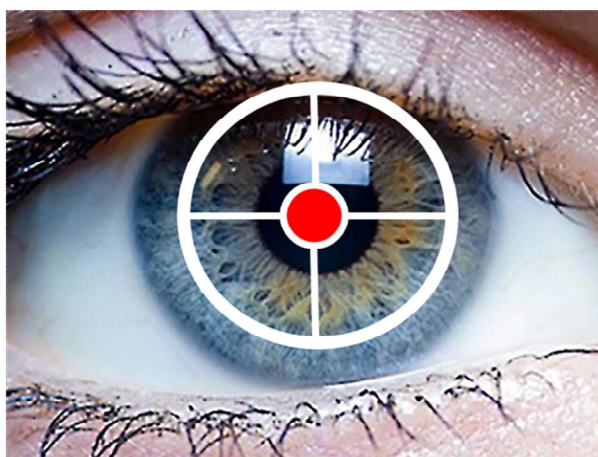


Рис. 8. Схематичне зображення області вимірювання теплового потоку з поверхні рогівки ока людини за допомогою розробленого приладу

Висновки

1. Вперше розроблено та виготовлено термоелектричний прилад для визначення теплового потоку з поверхні очей. Прилад призначений для діагностики та моніторингу офтальмологічних захворювань, що дає можливість підвищити ефективність ранньої діагностики патології органу зору, спостерігати в динаміці за розвитком патологічного процесу в структурах ока, а також підвищити ефективність лікування гострих і хронічних захворювань ока. Розроблений термоелектричний прилад є оригінальним та не має світових аналогів.
2. Розроблений термоелектричний прилад дає можливість здійснювати моніторинг теплового та температурного стану поверхні очей людини у режимі реального часу, що є вкрай важливим для діагностики офтальмологічних захворювань на ранніх стадіях.

3. Впровадження розробленого термоелектричного приладу в медичну практику матиме надзвичайно важливу соціальну та економічну значимість, оскільки дозволить зменшити ризик виникнення офтальмологічних ускладнень, зберегти життєздатність структур очей пацієнтів та забезпечити надання висококваліфікованої допомоги як в спеціалізованих медичних закладах, так і в екстремальних умовах.

Література

1. Чебышев Н.В. Биология. Справочник. - 2-е изд., испр. и доп. / Н.В. Чебышев, Г.С. Гузикова, Ю.Б. Лазарева, С.Н. Ларина – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 608с.
2. Царев А. В. Целевой температурный менеджмент в клинической практике интенсивной терапии критических состояний / А. В. Царев // Медицина неотложных состояний. – 2014. – № 7. – С.186-191.
3. Кубарко А.И. Нормальная физиология : учебник. В 2 ч. Ч. 2 / А.И. Кубарко [и др.]; под ред. А.И. Кубарко. - Минск : Вышэйшая школа, 2014. - 604 с.
4. Декуша Л. В. Средства теплотрии на базе термоэлектрических преобразователей теплового потока : дис ... докт. техн. наук : 05.11.04 / Декуша Леонид Васильевич. – Львов, 2016. – 495 с.
5. Грищенко Т. Г. Теплотрия: теория, метрология, практика. Монография в трех книгах. / Т. Г. Грищенко, Л. В. Декуша, Л. И. Воробьев [и др.]; под ред. д-р техн. наук Т. Г. Грищенко. Кн. 1: Методы и средства измерения теплового потока - К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2017. - 438 с.
6. Анатичук Л.И., Пасечникова Н.В., Задорожний О.С., Назаретян Р.Э., Мирненко В.В., Кобилянський Р.Р., Гаврилюк Н.В. Оригинальное устройство и подходы к изучению распределения температуры в различных отделах глаза // Офтальмологический журнал. – № 6. – 2015. – С. 50-53.
7. Гищук В.С. Електронний реєстратор сигналів сенсорів теплового потоку людини // Термоелектрика. – № 4. – 2012. – С. 105-108.
8. Гищук В.С. Електронний реєстратор з обробкою сигналів термоелектричного сенсора теплового потоку // Термоелектрика. – № 1. – 2013. – С. 82-86.
9. Гищук В.С. Модернізований прилад для вимірювання теплових потоків людини // Термоелектрика. – № 2. – 2013. – С. 91-95.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. L.I. Anatychuk, R.R. Kobylanskyi, R.G. Cherkez, I.A. Konstantynovych, V.I. Hoshovskiy, V.A. Tiumentsev. Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of inflammatory

- processes in the human organism // *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 2017, № 6, pp. 44-48.
15. Анатичук Л.І. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник / Л.І. Анатичук – К.: Наукова думка, 1979. – 766 с.
 16. Геращенко О.А. Основы теплотририи / О.А. Геращенко – К.: Наукова думка, 1971. – 192 с.
 17. Ладыка Р.Б. Применение полупроводниковых тепломеров в диагностике и лечении / Р.Б. Ладыка, О.Н. Дакалюк, Л.П. Булат [и др.] // *Медицинская техника*. – 1996. – №6. – С. 36 – 37.
 18. Анатичук Л.І. Про вплив температури навколишнього середовища на покази термоелектричних сенсорів медичного призначення / Л.І. Анатичук, О.І. Івашук, Р.Р. Кобилянський, І.Д. Постевка, В.Ю. Бодяка, І.Я. Гушул, Ю.Я. Чупровська // *Сенсорна електроніка і мікросистемні технології*. – 2018. – Т. 15, № 1. – С. 17-29.
 19. Mapstone R. Determinants of corneal temperature / R. Mapstone // *Brit. J. Ophthalmol.* – 1968. – Vol. 52. – P. 729-741.
 20. Tan J.H. Infrared thermography on ocular surface temperature: A review / J.H. Tan, E.Y.K Ng, U. R. Acharya, C. Chee // *Infrared Phys. Techn.*, 2009. – Vol. 52. – P. 97–108.
 21. Zadorozhnyy O.S. Infrared thermography of external ocular surface in patients with absolute glaucoma in transscleral cyclophotocoagulation: a pilot study / O. S. Zadorozhnyy, O. V. Guzun, A. Iu. Bratishko, [et al.] // *J. ophthalmol. (Ukraine)* – 2018. – Vol.2. – P. 23-28.
 22. Galassi F. Evaluation of ocular surface temperature and retrobulbar haemodynamics by infrared thermography and colour Doppler imaging in patients with glaucoma / F.Galassi, B.Giambene, A.Corvi [et al.] // *British Journal of Ophthalmology*, 2007. – № 91. – P. 878–881.
 23. Sodi A.A. Ocular surface temperature in central retinal vein occlusion: preliminary data/ A.A. Sodi, B.A.D. Giambene, G.B. Falaschi [et al.] // *European Journal of Ophthalmology*, 2007. – №17. – P. 755–759.
 24. Заявка на корисну модель № u201901535 від 15.02.2019 р. Термоелектричний прилад для вимірювання температури і теплового потоку з поверхні очей // Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Бухараєва Н.Р., Гаврилюк М.В., Тюменцев В.А. – 2019.
 25. Патент UA 93217. Спосіб виготовлення термоелектричної мікробатарей // Анатичук Л.І., Константинович І.А. – 2014.
 26. Патент UA 117719. Спосіб виготовлення термоелектричної мікробатарей // Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р. – 2017.
 27. 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.
 28. Kim N.R. Comparison of Goldmann applanation tonometer, noncontact tonometer, and TonoPen XL for intraocular pressure measurement in diferent types of glaucomatous, ocular hypertensive, and normal eyes / N.R. Kim, C.Y. Kim, H. Kim [et al.] // *Curr. Eye Res.*, 2011. – № 36. – P. 295-300.
 29. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А. Градування 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.
 30. Анатичук Л.І., Кобилянський Р.Р., Константинович І.А., Лисько В.В., Пуганцева О.В., Розвер Ю.Ю., Тюменцев В.А. Стенд для градування термоелектричних перетворювачів теплового потоку // *Термоелектрика*. – № 5. – 2016. – С. 71-79.

Надійшла до редакції 16.10.2018

Анатичук Л.І., *акад. НАН України*^{1,2},
Пасечникова Н.В., *док. мед. наук, професор,*
*член – кореспондент НАМН України*³,
Науменко В.О., *док. мед. наук, професор*³,
Задорожний О.С., *канд. мед. наук*³
Гаврилюк Н.В.^{1,2},
Кобылянський Р.Р. *канд. физ.-мат. наук*^{1,2}

¹Інститут термоелектричності НАН і МОН України,
ул. Науки, 1, Черновці, 58029, Україна, *e-mail: anatyck@gmail.com;*

²Черновицький національний університет ім. Ю.Федьковича,
ул. Коцюбинського, 2, Черновці, 58012, Україна,
e-mail: anatyck@gmail.com;

³ГУ "Інститут очних захворювань і тканинної терапії
ім. В.П. Філатова НАМН України", Французький бульвар,
49/51, Одеса, 65000, Україна,

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА С ПОВЕРХНОСТИ ГЛАЗ

В работе приведена конструкция и технические характеристики впервые разработанного термоэлектрического прибора для определения теплового потока с поверхности глаз. Прибор является перспективным для диагностики и мониторинга офтальмологических заболеваний, дающий возможность повысить эффективность ранней диагностики патологии органа зрения, наблюдать в динамике за развитием патологического процесса в структурах глаза, а также повысить эффективность лечения острых и хронических заболеваний глаза. Разработанный термоэлектрический прибор позволяет осуществлять мониторинг теплового и температурного состояний поверхности глаз в режиме реального времени, является оригинальным и не имеет мировых аналогов. Библ. 30, Рис. 8, Табл. 2.

Ключевые слова: термоэлектрический прибор, тепловой поток, офтальмология.

L.I. Anatyckuk^{1,2}, *acad. National Academy of Sciences of Ukraine*
N.V. Pasechnikova³, *doctor Medical Sciences, Professor*
Corresponding Member of the National
Academy of Sciences of Ukraine
V.O. Naumenko³, *medical sciences, professor*
O.S. Zadorozhnyi³, *cand. Medical. of Sciences*
M.V. Havryliuk^{1,2},
R.R. Kobylanskiy^{1,2} *cand. Phys. - math. Sciences*

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,

1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,

2 Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

e-mail: anatykh@gmail.com,

³State Institution “The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the NAMS of Ukraine”, 49/51 Frantsuzskiy Boulevard, Odesa, 65000, Ukraine

THERMOELECTRIC DEVICE FOR DETERMINING HEAT FLUX FROM THE SURFACE OF THE EYES

The paper presents the design and technical characteristics of a newly developed thermoelectric device for determining heat flux from the surface of the eyes. The device is promising for the diagnosis and monitoring of ophthalmic diseases, which makes it possible to increase the efficiency of the early diagnosis of the pathology of the organ of vision, to observe the dynamics of the development of the pathological process in the structures of the eye, as well as to increase the effectiveness of treatment of acute and chronic eye diseases. The developed thermoelectric device allows real-time monitoring of the thermal and temperature state of eye surface, is original and has no world analogues. Bibl. 30, Fig. 8, Tabl. 2.

Key words: thermoelectric device, heat flux, ophthalmology

References

1. Chebyshev N.V., Guzikova G.S., Lazareva Yu.B., Larina S.N. (2011). *Biologiya. Spravochnik.- 2 izdaniie, ispravlennoie i dopolnennoie [Biology. Handbook. 2nd ed., revised and enlarged]*. Moscow: GEOTAR-Media [in Russian].
2. Tsarev A.V. (2014). Tselevoi temperaturnyi menedzhment v klinicheskoi praktike intensivnoi terapii kriticheskikh sostoianii [Special-purpose temperature management in the clinical practice of intensive care of critical states]. *Meditsina neotlozhnykh sostoianii – Medicine of Emergencies*, 7, 186-191.
3. Kubarko A.I. (2014). *Normalnaia fiziologiya: Uchebnik. V 2 chastiakh. Chast 2. [Normal physiology: textbook. In 2 parts. Part 2]*. A.I.Kubarko (Ed.). Minsk: Vysheishaiia shkola [in Russian].
4. Dekusha L.V. (2016). Sredstva teplometrii na base termoelektricheskikh preobrazovatelei teplovogo potoka [Heat metering means based on thermoelectric heat flux converters]. *Doctor's thesis (Engineering)*.
5. Grishchenko T.G., Dekusha L.V., Vorobiov L.I. (2017). *Teplometriia: teoriia, metrologiya, praktika. Monografiia v 3 knigakh [Heat flow metering: theory, metrology, practice. Monograph in three books]*. T.G.Grishchenko (Ed.). *Kniga 1: Metody i sredstva izmereniia teplovogo potoka [Book 1: Methods and facilities of heat flow measurement]*. Kyiv: Institute of Engineering Thermophysics [in Russian].
6. Anatykhuk L.I., Pasechnikova N.V., Zadorizhnyi O.S., Nazaretian R.E., Mirnenko V.V., Kobylianskyi R.R., Havryliuk N.V. (2015). Originalnoie ustroistvo i podkhody k izucheniiu raspredeleniia temperatury v razlichnykh otdelakh glaza [Original device and approaches to studying temperature distribution in different sections of eye]. *Ophtalmologicheskii zhurnal - J. Ophthalmology*, 6, 50-53 [in Russian].
7. Gischuk V.S. (2012). Electronic recorder of signals from human heat flux sensors. *J. Thermoelectricity*, 4, 105-108.

8. Gischuk V.S. (2013). Electronic recorder with processing signals from heat flux thermoelectric sensor. *J.Thermoelectricity*, 1, 82-86.
9. Gischuk V.S. (2013). Modernized device for human heat flux measurement. *J.Thermoelectricity*, 2, 91-95.
10. Gischuk V.S., Kobylanskyi R.R., Cherkez R.G. (2014). Bahatokanalnyi prylad dlia vymiriuvannia temperatury i hustyny teplovykh potokiv [Multichannel device for temperature and heat flux density measurement]. *Naukovy visnyk Chernivetskoho Universytetu. Fyzyka.Elektronika – Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Physics. Electronics*, 3 (1), 96-100 [in Ukrainian].
11. Kobylanskyi R.R., Boichuk V.V. (2015). Vykorystannia termoelektrychnykh teplomiriv u medychnii diagnostytsi [The use of thermoelectric heat flow meters in medical diagnostics]. *Naukovy visnyk Chernivetskoho Universytetu. Fyzyka.Elektronika – Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Physics. Electronics*, 4 (1), 90-96 [in Ukrainian].
12. Anatyshchuk L.I., Ivashchuk O.I., Kobylanskyi R.R., Postevka I.D., Bodiaka V.Yu., Hushul I.Ya. (2016). Thermoelectric device for temperature and heat flux density measurement “Altec-10008”. *J.Thermoelectricity*, 1, 76-84.
13. Anatyshchuk L.I., Yuryk O.Ye., Kobylanskyi R.R., Roi I.V., Fishchenko Ya.V., Slobodianiuk N.P., Yuryk N.Ye., Duda B.S. (2017). Thermoelectric device for the diagnosis of inflammatory processes and neurological manifestations of vertebral osteochondrosis. *J.Thermoelectricity*, 3, 54-67.
14. Anatyshchuk L.I., Kobylanskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskiy V.I., Tiumentsev V.A. (2017). Termoelektricheskoe ustroystvo s elektronnyim blokom upravleniia dlia diagnostiki vospalitelnykh protsessov v organizme cheloveka [Thermoelectric device with electronic control unit for diagnostics of inflammatory processes in human organism]. *Tekhnologiya i konstruirovaniye v elektronnoi apparature*, 6, 44-48 [in Russian].
15. Anatyshchuk L.I. (1979). Termoelementy i termoelektricheskiiye ustroystva: Spravochnik [Thermoelements and thermoelectric devices: Handbook]. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
16. Gerashchenko O.A. (1971). *Osnovy teplometrii [Fundamentals of heat flow metering]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
17. Ladyka R.B., Dakaliuk O.N., Bulat L.P., et al. (1996). Primeneniye poluprovodnikovyykh teplomerov v diagnostike i lechenii [The use of semiconductor heat flow meters in diagnostics and treatment]. *Meditsinskaya tekhnika – Biomedical Engineering*, 6, 36 – 37 [in Russian].
18. Anatyshchuk L.I., Ivashchuk O.I., Kobylanskyi R.R., Postevka I.D., Bodiaka V.Yu., Gushul I.Ya., Chuprovskaya Yu.Ya. (2018). Pro vplyv temperatury navkolysniiho seredovyscha na pokazy termoelektrychnykh sensoriv medychnoho pryznachennia [On the effect of ambient temperature on the readings of medical purpose thermoelectric sensors]. *Sensorna elektronika i mikrosystemni tekhnologii – Sensor Electronics and Microsystem Technologies*, 15 (1), 17-29 [in Ukrainian].
19. Mapstone R. (1968). Determinants of corneal temperature. *Brit. J. Ophthalmol.*, 52, 729-741.
20. Tan J.H., Ng E.Y.K., Acharya U.R., Chee C. (2009). Infrared thermography on ocular surface temperature: A review. *Infrared Phys. Techn.*, 52, 97–108.
21. Zadorozhnyy O.S., Guzun O.V., Bratishko A.Iu., et al. (2018). Infrared thermography of external ocular surface in patients with absolute glaucoma in transscleral cyclophotocoagulation: a pilot study. *J. Ophthalmol.*, 2, 23-28.
22. Galassi F., Giambene B., Corvi A., et al. (2007). Evaluation of ocular surface temperature and retrobulbar haemodynamics by infrared thermography and colour Doppler imaging in patients with glaucoma. *British Journal of Ophthalmology*, 91, 878–881.
23. Sodi A.A., Giambene B.A.D., Falaschi G.B., et al. (2007). Ocular surface temperature in central

- retinal vein occlusion: preliminary data. *European Journal of Ophthalmology*, 17, 755–759.
24. *Application for utility model № u201901535 of 15.02.2019*. (2019). Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Bukharaieva N.R., Havryliuk M.V., Tiumentsev V.A. Termoelektrychnyi pryklad dlia vymyriuvannia temperatury i teplovoho potoku z poverhni ochei [Thermoelectric device for measurement of temperature and heat flux from the surface of eyes] [in Ukrainian].
 25. *Patent of Ukraine № 9321* (2014). Anatyshuk L.I., Konstantynovych I.A. Method for manufacturing thermoelectric microthermopile [in Ukrainian].
 26. *Patent of Ukraine № 117719* (2017). Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R. (2017). Method for manufacturing thermoelectric microthermopile [in Ukrainian].
 27. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A., Kuz R.V., Manik O.M., Nitsovych O.V., Cherkez R.G. (2016). Technology for manufacturing thermoelectric microthermopiles. *J.Thermoelectricity*, 6, 49-54.
 28. Kim N.R. (2011). Comparison of Goldmann applanation tonometer, noncontact tonometer, and TonoPen XL for intraocular pressure measurement in different types of glaucomatous, ocular hypertensive, and normal eyes. *Curr. Eye Res.*, 36, 295-300.
 29. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A. (2014). Hraduiuvannia termoelektrychnykh sensoriv teplovoho potoku [Calibration of thermoelectric heat flow sensors]. *Trudy XV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii "Suchasni informatsiini ta elektronni tekhnologii" – Proc. of International scientific and practical conference "Modern Information and Electronic Technologies"* (Ukraine, Odessa, May 26-30, 2014). (Vol.2, pp.30-31) [in Ukrainian].
 30. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Konstantynovych I.A., Lysko V.V., Pugantseva O.V., Rozver Yu.Yu., Tiumentsev V.A. (2016). Calibration bench for thermoelectric converters of heat flux. *J.Thermoelectricity*, 5, 71-79.

Submitted 16.10.2018