

УДК 537.32

Анатычук Л.И., *акад. НАН Украины*^{1,2}
Пасечникова Н.В., *док. мед. наук, профессор,*
*член – корреспондент НАМН Украины*³
Науменко В.О., *док. мед. наук, профессор*³
Задорожный О.С., *канд. мед. наук*³
Гаврилюк Н.В.^{1,2}
Кобылянский Р.Р., *канд. физ.-мат. наук*^{1,2}

¹Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина, *e-mail: anatyuch@gmail.com;*

²Черновицкий национальный университет им. Ю.Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, Черновцы, 58012, Украина;

³ГУ "Институт глазных болезней и тканевой терапии
им. В.П. Филатова НАМН Украины", Французский бульвар,
49/51, Одесса, 65000, Украина

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА С ПОВЕРХНОСТИ ГЛАЗ

В работе приведены 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.

Введение

Общая характеристика проблемы. Организм человека, приспосабливаясь к изменяющимся условиям окружающей среды, способен поддерживать относительное постоянство своей внутренней среды (гомеостаз). Терморегуляция организма человека является одним из важнейших аспектов поддержки гомеостаза. Для обеспечения постоянства температуры тела необходимо, чтобы количество тепловой энергии, образующейся в организме (теплопродукция), равнялось количеству тепловой энергии, отдаваемой в окружающую среду (теплоотдача). Генерация тепловой энергии в организме человека происходит непрерывно в процессе метаболических экзотермических реакций окисления сложных веществ (глюкоза, белки, липиды и тому подобное), либо их распада на более простые [1]. Уровень теплопродукции, в свою очередь, зависит от активности метаболизма [2]. Отдача тепла в

окружающую среду осуществляется с помощью четырех основных механизмов: излучение, теплопередача, конвекция и испарение [3].

Оценка процессов теплообмена организма человека базируется на измерениях температуры и теплового потока. Температура характеризует качественную сторону теплового явления, а тепловой поток – количественную [4, 5]. Область измерения температуры, в том числе в офтальмологии, традиционно хорошо обеспечена аппаратурой и метрологией. Температура в разных отделах глаза может быть определена бесконтактными или контактными методами. Эти методы термометрии имеют как преимущества, так и определенные недостатки [6]. Что касается локального измерения теплового потока с поверхности тела человека, то в последнее время достигнут ощутимый успех в разработке современных средств его измерения [7 – 14]. Для исследования локального тепловыделения организма человека перспективными являются термоэлектрические сенсоры теплового потока, совмещающие в себе высокую чувствительность, точность, быстродействие, стабильность параметров в широком интервале рабочих температур, и согласовываются с современной регистрационной аппаратурой [15 – 17]. Использование таких сенсоров позволяет достигать высокой точности теплотрических измерений [18]. Однако следует отметить, что в мире до сих пор не существует ни одного термоэлектрического прибора для измерения теплового потока с поверхности глаз.

В глазу животного и человека кровообращение в сосудистой оболочке является основным источником тепла. Кровь, поступающая в глаз с температурой, которая практически равняется температуре тела, формирует тепловой градиент, который индуцирует переход тепла от крови к тканям глаза. Чем более интенсивно кровообращение, тем большее количество тепла передается тканям глаза. Тепло, распределенное по глазным тканям, переходит в окружающую среду через внешние оболочки глаза [6, 19, 20]. На сегодняшний день в офтальмологии существует проблема ранней и дифференциальной медицинской диагностики разнообразных заболеваний, которые характеризуются изменениями внутриглазного кровообращения (воспалительные процессы, опухоли сосудистой оболочки, глаукома и тому подобное). Очевидно, что нарушения кровообращения глаза должны сопровождаться динамикой показателей теплообмена [20, 21]. Следовательно, разработка новых высокочувствительных методов регистрации изменений теплообмена глаза, в том числе на основе применения термоэлектрических сенсоров теплового потока, позволит повысить эффективность ранней диагностики данной патологии.

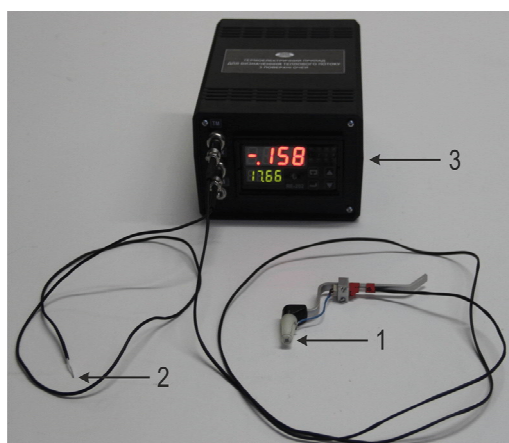
Известно, что ряд офтальмологических острых и хронических заболеваний сопровождается изменением внутриглазных тепловых процессов. В частности, в некоторых исследованиях была продемонстрирована взаимосвязь температуры внешней поверхности глаза с состоянием кровообращения глаз, внутриглазным давлением, наличием воспалительного процесса [22, 23]. Изменение тепловых характеристик тканей глаза может происходить в ранней фазе заболевания до появления выраженной клинической симптоматики. Регистрация этих изменений является перспективным направлением ранней диагностики разной офтальмопатологии. Диагностика патологического процесса на раннем этапе развития приведет к повышению эффективности лечения и снижению риска осложнений.

Поэтому целью данной работы является разработка термоэлектрического прибора для определения теплового потока с поверхности глаз, которая дает возможность повысить эффективность ранней диагностики офтальмологических заболеваний.

Конструкция и технические характеристики прибора

Термоэлектрический прибор для определения теплового потока с поверхности глаз был разработан в Институте термоэлектричества НАН и МОН Украины в рамках договора о сотрудничестве с ГУ "Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П. Филатова НАМН Украины". Прибор предназначен для диагностики и мониторинга офтальмологических заболеваний, который дает 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 является оригинальным и не имеет мировых аналогов [24]. Внешний вид прибора и технические характеристики приведены на рис. 1 и в табл. 1.

На передней панели прибора размещен программируемый терморегулятор типа RE - 202, разъем для подключения термоэлектрического сенсора теплового потока, разъем для подключения термоэлектрического датчика термопары температуры и тумблер включения прибора (рис. 1). На задней панели размещен разъем для подключения зарядного устройства. Следует отметить, что категорически запрещается проводить измерения теплового потока и температуры живых биологических объектов при подключенном внешнем сетевом зарядном устройстве. Работать с прибором можно только при отключенном зарядном устройстве.



*Рис. 1. Термоэлектрический прибор для определения теплового потока с поверхности глаз:
1 – термоэлектрический сенсор теплового потока, 2 – термоэлектрический датчик
термопары температуры, 3 – электронный блок управления.*

Таблица 1

Технические характеристики прибора

№	Технические характеристики прибора	Значение параметров
1.	Количество каналов измерения	4
2.	Количество термоэлектрических датчиков температуры	1
3.	Диапазон измерения плотности теплового потока	0.01-50 мВт/см ²
4.	Точность измерения плотности теплового потока	± 5 %
5.	Диапазон измерения температур	0-50 °С
6.	Дискретность измерения температур	± 0.01 °С
7.	Диапазон измерения комнатной температуры	0-50 °С
8.	Дискретность измерения комнатной температуры	± 0.01 °С
9.	Диапазон измерения напряжения аккумулятора	3.7-4.5 В
10.	Время непрерывной работы прибора от заряженного аккумулятора	12 час
11.	Габаритные размеры термоэлектрического сенсора теплового потока	0.3-0.7 мм
12.	Габаритные размеры электронного блока управления	180 × 140 × 90 мм
13.	Вес прибора	0.6 кг

Многоканальный термоэлектрический прибор (рис. 1) представляет собой автономное устройство с аккумуляторным источником питания, которое дает возможность проводить высокоточные измерения тепловых потоков и температур биологических объектов контактным способом. Блок-схема такого прибора приведена на рис. 2.

Прибор состоит из следующих функциональных узлов: канала измерения теплового потока 1, канала измерения температуры 2, канала измерения напряжения на аккумуляторном источнике питания 3, канала измерения комнатной температуры 4, цифрового микроконтроллера 5, аккумуляторного блока питания с зарядным устройством 6 и цифрового дисплея 7.

Канал измерения теплового потока 1 предназначен для точного измерения генерируемого напряжения термоэлектрического сенсора теплового потока и последующего его превращения в физическую величину в единицах плотности теплового потока (мВт/см²). Дискретность измерения напряжения канала составляет ± 1мкВ, что позволяет проводить измерение теплового потока с максимальной точностью.

Канал измерения температуры 2 предназначен для высокоточного измерения температуры термоэлектрическим датчиком-термопарой. Особенностью разработанного прибора является то, что впервые у врача появилась возможность с помощью простого переносного автономного прибора проводить измерение температуры биологического объекта с дискретностью ± 0.01°С. Поскольку в качестве датчика температуры используется термопара хромель - копель, которая может быть изготовлена с минимальными геометрическими

размерами, это дает возможность измерять температуру миниатюрных биологических объектов с высоким быстродействием.

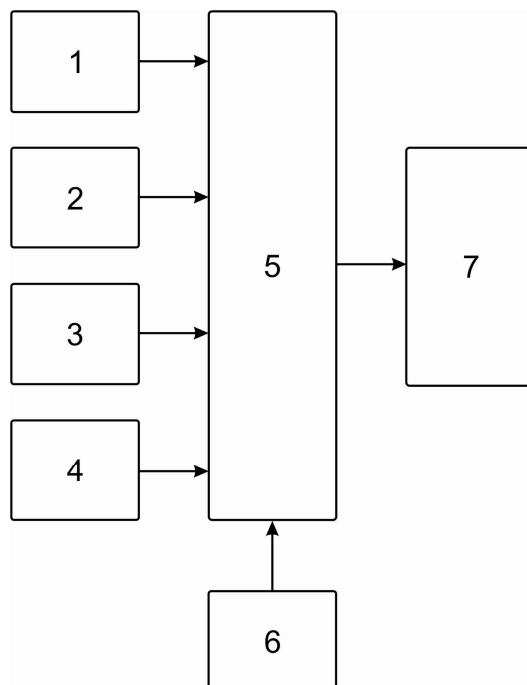


Рис. 2. Блок-схема термоэлектрического прибора для определения теплового потока с поверхности глаз: 1 – канал измерения теплового потока, 2 – канал измерения температуры, 3 – канал измерения напряжения на аккумуляторном источнике питания, 4 – канал измерения комнатной температуры, 5 – цифровой микроконтроллер, 6 – аккумуляторный блок питания с зарядным устройством, 7 – цифровой дисплей.

Канал 3 предназначен для измерения и контроля напряжения на аккумуляторном источнике питания. Поскольку прибор питается от аккумулятора, то длительность его непрерывной работы зависит от уровня зарядки аккумулятора, который, в свою очередь, зависит от остаточного напряжения на нем. Если напряжение на аккумуляторе станет меньше, чем 3.7 В, то его следует зарядить согласно инструкции по эксплуатации прибора.

Канал измерения комнатной температуры 4 предназначен для точного измерения температуры окружающей среды. Датчик температуры расположен на лицевой панели прибора около разъемов. Измерение комнатной температуры проводится с дискретностью ± 0.01 °С и этот сигнал используется для компенсации температуры холодного спая термопары хромель-копель.

Цифровой микроконтроллер 5 предназначен для управления измерительными каналами, нормирования и превращения генерирующих сигналов в физические величины. Цифровой микроконтроллер можно программировать с помощью кнопок, расположенных на передней панели прибора, выбирать тип датчика и пределы измерения.

Аккумуляторный блок питания с зарядным устройством 6 предназначен для гальванической развязки прибора и исследуемого биологического объекта с целью возможного предотвращения поражения его электрическим током. Благодаря гальванической развязке прибора от электросети создано безопасное и эффективное использование прибора в

офтальмологической практике. Низкое напряжение автономного питания прибора (не больше 4.5 В) не представляет угрозы поражения электрическим током любого исследуемого биологического объекта. Зарядное устройство предотвращает выход из строя литий-ионного аккумулятора в случае критических режимов его работы.

Цифровой дисплей 7 отображает результаты измерений (значение плотности теплового потока – в мВт/см² и температуры – в °С) на передней панели прибора. Цифровой дисплей является светодиодным, большим и ярким, что позволяет проводить измерения в затемненных помещениях с больших расстояний.

Прибор простой, компактный, переносной, автономный и надежный в эксплуатации. Эти особенности дают возможность врачу или медицинскому работнику пользоваться прибором без специальной подготовки. К техническим преимуществам такого прибора следует отнести: наличие высокочувствительного специфического термоэлектрического сенсора теплового потока, возможность измерения температуры с дискретностью ± 0.01 °С, безопасность использования прибора благодаря его гальванической развязке от электросети и возможность мониторинга теплового и температурного состояний поверхности глаз человека в режиме реального времени.

Изготовление и градуировка термоэлектрического сенсора теплового потока

Для указанного термоэлектрического прибора был разработан и изготовлен миниатюрный термоэлектрический сенсор теплового потока по специальной запатентованной технологии Института термоэлектричества НАН и МОН Украины [25 – 27]. Термоэлектрический микромодуль размерами (2 × 2 × 0.5) мм содержит 100 шт. кристаллов п- и р-типов проводимости размерами (0.17 × 0.17 × 0.4) мм из высокоэффективного термоэлектрического материала на основе *Bi - Te*. Такой термоэлектрический микромодуль помещается между двумя керамическими пластинами на основе Al_2O_3 диаметром 3 мм и толщиной 0.1 мм каждая, а боковая поверхность герметизируется с помощью специального герметика. Таким образом, диаметр и высота изготовленного термоэлектрического сенсора теплового потока составляет 3 мм и 0.7 мм, соответственно (рис. 3). Значение диаметра разработанного сенсора теплового потока было определено согласно медицинским требованиям [28]. Электрическое сопротивление такого термоэлектрического сенсора составляет $R = 14$ Ом.

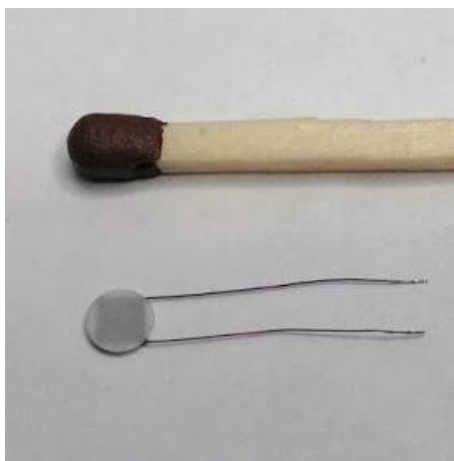


Рис. 3. Термоэлектрический сенсор теплового потока диаметром 3 мм и высотой 0.7 мм.

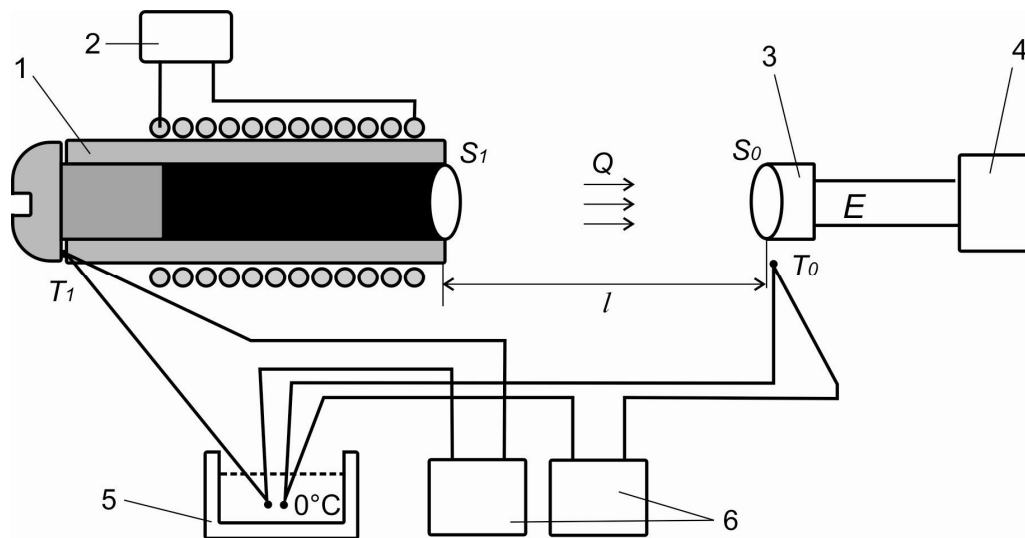


Рис. 4. Схема стенда для определения вольт-ваттной чувствительности термоэлектрического сенсора теплового потока: 1 – АЧТ, 2 – блок питания нагревателя АЧТ, 3 – термоэлектрический сенсор теплового потока, 4 – милливольтметр, 5 – нуль-термостат термоэлектрических термопар, 6 – измерители температуры.

Вольт-ваттная чувствительность термоэлектрического сенсора теплового потока определяется из следующего выражения:

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

где ν – вольт-ваттная чувствительность термоэлектрического сенсора теплового потока (В/Вт), E – термоЭДС термоэлектрического сенсора теплового потока (В), Q – величина теплового потока (Вт).

Величина теплового потока, который излучается АЧТ и поглощается приемной площадкой термоэлектрического сенсора теплового потока, определяется следующим образом:

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

где $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-12}$ Вт/(см²·К⁴) – постоянная Стефана-Больцмана; $\varepsilon_1 = 1$ для излучателя АЧТ; $\varepsilon_2 = 0.82$ для приемной площадки – шлифованной керамики на основе Al_2O_3 ; T_1 , К – температура корпуса АЧТ; T_0 , К – температура приемной площадки, что фактически близкая к температуре окружающей среды; S_1 , см² – площадь излучательного отверстия АЧТ; S_0 , см² – площадь приемной площадки; l , см – расстояние между выходным отверстием излучательного АЧТ и приемной площадкой, которые между собой параллельные и их центры находятся на одной оси.

Для данного стенда (рис. 4) имеем следующие значения: $S_1 = 0.059$ см², $S_0 = 0.07065$ см², $l = 0.9$ см.

Результаты определения вольт-ваттной чувствительности термоэлектрического сенсора теплового потока приведены в табл. 2.

Таблица 2

*Результаты определения вольт-ваттной чувствительности
термоэлектрического сенсора теплового потока*

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

Таким образом, была проведена градуировка термоэлектрического сенсора теплового потока и определен коэффициент превращения ($\kappa = 4.163 \text{ мВт/мВ}\cdot\text{см}^2$) значения генерирующего напряжения термоэлектрического сенсора в физическую величину в единицах плотности теплового потока (мВт/см^2).

Порядок работы с прибором

Разработанный термоэлектрический сенсор теплового потока указанного прибора закреплен на контактной призме и штативе, который является аналогичным имеющимся в стандартном апланационном тонометре Гольдмана (медицинское устройство, которое применяется для измерения внутриглазного давления) [28]. Указанные контактная призма и штатив универсальны и могут крепиться к биомикроскопам различных производителей (рис. 5 – 8).

Особенностью конструкции контактной призмы является то, что она имеет возможность сниматься со штатива для обработки после обследования каждого пациента. Термоэлектрический сенсор теплового потока, закрепленный в центре контактной призмы, непосредственно контактирует с внешней поверхностью глаза человека (с центром роговицы). Также следует отметить, что контактная поверхность термоэлектрического сенсора теплового потока сделана атравматической (со сглаженными краями) и предусмотрена возможность обработки и дезинфекции этой поверхности.

Термоэлектрический сенсор теплового потока (диаметр 3 мм) размещен в центре рабочей поверхности контактной призмы (диаметр 7 мм) и конструктивно предусмотрена небольшая оптическая зона контроля между ними для того, чтобы врач, глядя в биомикроскоп, имел возможность точно установить указанный термоэлектрический сенсор на центр роговицы глаза (рис. 8).



Рис. 5. Штатив тонометра Гольдмана, закрепленный на биомикроскопе.



Рис. 6. Контактная призма и штатив тонометра Гольдмана, закрепленные на биомикроскопе (на рисунке указано направление взгляда врача).



Рис. 7. Положение контактной призмы, закрепленной в штативе тонометра Гольдмана, в процессе исследования с помощью термоэлектрического сенсора теплового потока.

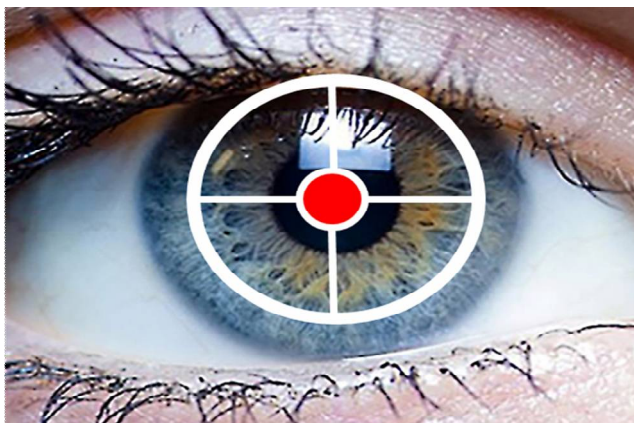


Рис. 8. Схематическое изображение области измерения теплового потока с поверхности роговицы глаза человека с помощью разработанного прибора.

Выводы

1. Впервые разработан и изготовлен термоэлектрический прибор для определения теплового потока с поверхности глаз. Прибор предназначен для диагностики и мониторинга офтальмологических заболеваний и дает 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 является оригинальным и не имеет мировых аналогов.

2. Разработанный термоэлектрический прибор дает возможность осуществлять мониторинг теплового и температурного состояний поверхности глаз человека в режиме

реального времени, которые являются крайне важными для диагностики офтальмологических заболеваний на ранних стадиях.

3. Внедрение разработанного термоэлектрического прибора в медицинскую практику будет иметь чрезвычайно важную социальную и экономическую значимость, поскольку позволит уменьшить риск возникновения офтальмологических осложнений, сохранить жизнеспособность структур глаз пациентов и обеспечить предоставление высококвалифицированной помощи как в специализированных медицинских заведениях, так и в экстремальных условиях.

Литература

1. Чебышев Н.В. Биология. Справочник. - 2-ое изд., испр. и доп. / Н.В. Чебышев, Г.С. Гузикова, Ю.Б. Лазарева, С.Н. Ларина – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2011. – 608 с.
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 редакцией 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 редакцией докт. техн. наук Т. Г. Грищенко. Кн. 1: Методы и средства измерения теплового потока - К.: Институт технической теплофизики НАН Украины, 2017. - 438 с.
6. Анатычук Л.И., Пасечникова Н.В., Задорожный О.С., Назаретян Р.Э., Мирненко В.В., Кобылянский Р.Р., Гаврилюк Н.В. Оригинальное устройство и подходы к изучению распределения температуры в различных отделах глаза // Офтальмологический журнал. – 2015. – № 6.– С. 50-53.
7. Гишук В.С. Электронный регистратор сигналов сенсоров теплового потока человека // Термоэлектричество. – 2012. – № 4. – С. 105-108.
8. Гишук В.С. Электронный регистратор с обработкой сигналов термоэлектрического сенсора теплового потока // Термоэлектричество. – 2013. – № 1.– С. 82-86.
9. Гишук В.С. Модернизируемый прибор для измерения тепловых потоков человека // Термоэлектричество. – 2013. – № 2.– С. 91-95.
10. Гишук В.С., Кобылянский Р.Р., Черкез Р.Г. Многоканальный прибор для измерения температуры и плотности тепловых потоков // Научный вестник Черновицкого университета: сборник науч. трудов. Физика. Электроника. – Т. 3, Вып. 1. – Черновцы: Черновицкий национальный университет, 2014. – С. 96-100.
11. Кобылянский Р.Р., Бойчук В.В. Использование термоэлектрических тепломеров в медицинской диагностике // Научный вестник Черновицкого университета: сборник науч. трудов. Физика. Электроника. – Т. 4, Вып. 1. – Черновцы: Черновицкий национальный университет. – 2015. – С. 90-96.

12. Анатычук Л.И., Иващук О.И., Кобилянский Р.Р., Постевка И.Д., Бодяка В.Ю., Гушул И.Я. Термоэлектрический прибор для измерения температуры и плотности теплового потока "АЛТЕК-10008" // Термоэлектричество. – 2016. – № 1. – С.76-84.
13. Анатычук Л.И., Юрик О.Е., Кобилянский Р.Р., Рой И.В., Фищенко Я.В., Слободянюк Н.П., Юрик Н.Е., Дуда Б.С. Термоэлектрический прибор для диагностики воспалительных процессов и неврологических проявлений остеохондроза позвоночника человека // Термоэлектричество. – 2017. – № 3. – С. 54-67.
14. L.I. Anatyshuk, 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 elektronnoy apparature. – 2017. – № 6, P. 44-48.
15. Анатычук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник / Л.И. Анатычук – К.: Наукова думка, 1979. – 768 с.
16. Геращенко О.А. Основы теплотрии / О.А. Геращенко – К.: Наукова думка, 1971. – 192 с.
17. Ладька Р.Б. Применение полупроводниковых тепломеров в диагностике и лечении / Р.Б. Ладька, О.Н. Дакалюк, Л.П. Булат [и др.] // Медицинская техника. – 1996. – №6. – С. 36 – 37.
18. Анатычук Л.И. О влиянии температуры окружающей среды на показания термоэлектрических сенсоров медицинского назначения / Л.И. Анатычук, О.И. Иващук, Р.Р. Кобилянский, И.Д. Постевка, В.Ю. Бодяка, И.Я. Гушул, Ю.Я. Чупровская // Сенсорная электроника и микросистемные технологии. - 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. Способ изготовления термоэлектрической микробатареи // Анатычук Л.И., Константинович И.А. – 2014.
26. Патент UA 117719. Способ изготовления термоэлектрической микробатареи // Анатычук Л.И., Кобилянский Р.Р. – 2017.
27. Анатычук Л.И., Кобилянский Р.Р., Константинович И.А., Кузь Р.В., Маник О.Н., Ницович О.В., Черкез Р.Г. Технология изготовления термоэлектрических микробатарей // Термоэлектричество. – 2016. – № 6. – С. 49-54.

28. Kim N.R. Comparison of Goldmann applanation tonometer, noncontact tonometer, and TonoPen XL for intraocular pressure measurement in different 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. Анатычук Л.И., Кобилянский Р.Р., Константинович И.А. Градуирование термоэлектрических сенсоров теплового потока // Труды XV Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» 26-30 мая 2014 года. – Т. 2. – Одесса, Украина. – 2014. – С. 30-31.
30. Анатычук Л.И., Кобилянский Р.Р., Константинович И.А., Лысько В.В., Пуганцева О.В., Розвер Ю.Ю., Тюменцев В.А. Стенд для градуирования термоэлектрических преобразователей теплового потока // *Термоэлектричество*. – 2016. – № 5. – С. 71-79.

Поступила в редакцию 16.10.2018.

L.I. Anatyчук^{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, *doctor medical sciences, professor*
O.S. Zadorozhnyi³, *cand. Medical. of Sciences*
M.V. Havryliuk^{1,2},
R.R. Kobylianskyi^{1,2}, *cand. Phys. - math. Sciences*

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine,
e-mail: anatykh@gmail.com;

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
2, Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

³State Institution “The Filatov Institute of Eye Diseases and Tissue Therapy of the NAMS of Ukraine”, 49/51, Frantsuzskyi 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, P. 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, metrologiia, 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. Anatyshuk 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]. *Ophthalmologicheskii zhurnal - J. Ophthalmology*, 6, P. 50-53 [in Russian].
7. Gischuk V.S. (2012). Electronic recorder of signals from human heat flux sensors. *J.Thermoelectricity*, 4, P. 105-108.
8. Gischuk V.S. (2013). Electronic recorder with processing signals from heat flux thermoelectric sensor. *J.Thermoelectricity*, 1, P. 82-86.
9. Gischuk V.S. (2013). Modernized device for human heat flux measurement. *J.Thermoelectricity*, 2, P. 91-95.
10. Gischuk V.S., Kobylianskyi 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. Kobylianskyi 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. Fizyka.Elektronika – Scientific Bulletin of Chernivtsi University. Physics. Electronics*, 4 (1), 90-96 [in Ukrainian].
12. Anatyshuk L.I., Ivashchuk O.I., Kobylianskyi 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. Anatyshuk L.I., Yuryk O.Ye., Kobylianskyi 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, P. 54-67.
14. Anatyshuk L.I., Kobylianskyi R.R., Cherkez R.G., Konstantynovych I.A., Hoshovskyi V.I., Tiumentsev V.A. (2017). Termoelektricheskoe ustroistvo 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. Anatyshuk L.I. (1979). Termoelementy i termoelektricheskiye 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]. *Meditssinskaia tekhnika – Biomedical Engineering*, 6, 36 – 37 [in Russian].
18. Anatyshuk L.I., Ivashchuk O.I., Kobylianskyi R.R., Postevka I.D., Bodiaka V.Yu., Gushul I.Ya., Chuprovska Yu.Ya. (2018). Pro vplyv temperatury navkolyshniho 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

- prylad dlia vymiriuvannia 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 № 93217* (2014). Anatyчук L.I., Konstantynovych I.A. Method for manufacturing thermoelectric microthermopile [in Ukrainian].
 26. *Patent of Ukraine № 117719* (2017). Anatyчук L.I., Kobylianskyi R.R. (2017). Method for manufacturing thermoelectric microthermopile [in Ukrainian].
 27. Anatyчук 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. Anatyчук 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. Anatyчук 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.