

**Раренко І.М.<sup>1</sup>, Шайко-Шайковський О.Г.<sup>2</sup>, Раренко А.І.<sup>1</sup>,  
Дремлюженко С.Г.<sup>1</sup>, Білов М.Є.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича,  
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58000, Україна;

<sup>3</sup>VAMP-AT Corporation, вул.Кармелюка, 99, Чернівці, Україна

## **ПРИЛАДИ ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ РІЗНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ АНІЗОТРОПНИХ ТЕРМОЕЛЕМЕНТІВ CdSb**

*Представлено на конструкцію, принцип роботи, фізичні й технічні параметри датчиків для неконтактного виміру температури різних об'єктів на основі анізотропних термоелементів CdSb. Розроблено метод синтезу й вирощування чистих і структурно досконалих монокристалів CdSb для створення анізотропних термоелементів.*

**Ключові слова:** вимірювана температура, датчики, анізотропні елементи.

*The design, functioning principle, physical and technical parameters of the sensors of non-contact temperature measurement of various objects based on CdSb anisotropic thermoelements, are presented. The method of synthesis and growth of pure and structurally perfect CdSb single crystals to construct anisotropic thermoelements on them was developed.*

**Key words:** temperature measurement, sensors, anisotropic elements.

### **Вступ**

У багатьох вимірювальних системах спостереження, вимірювання теплових сигналів, освітленості, у технологічних процесах, наукових дослідженнях необхідні й знаходять широке застосування прилади, що дозволяють проводити вимірювання сигналу в границях, обумовлених досить широким тілесним кутом. Ця обставина, пов'язана з конструкцією приладу, суттєво обмежує можливості апаратури, ускладнює й подовжує дослідницький і вимірювальний процес, змушує вводити в конструкцію поворотні пристрої для вимірювального блоку, установлювати кілька таких блоків на одному комплексі. Перераховані вимоги до зміни й ускладнення конструкції роблять її роботу менш точною, знижують надійність, збільшують габарити й вартість виробу.

### **Обладнання термоелектричного вимірювального блоку для реєстрації випромінювальних сигналів зі значенням тілесного кута виміру в 180°**

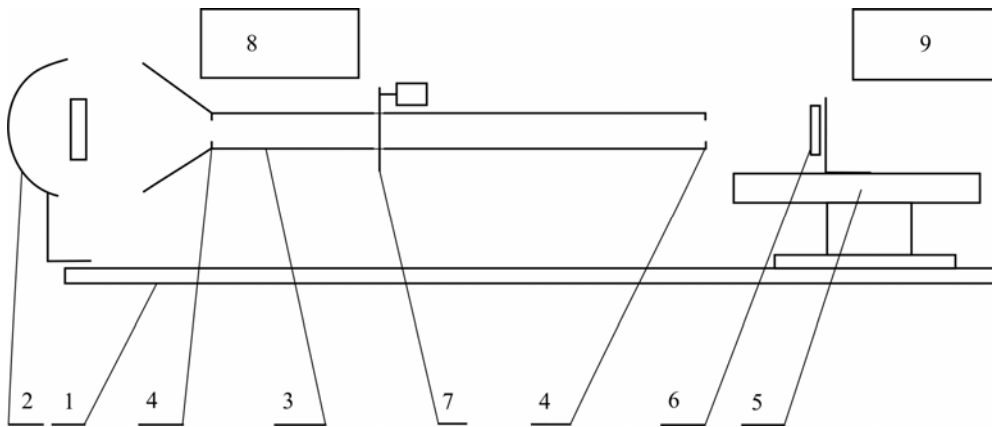
#### **Матеріали й методи**

Уживають численні спроби вдосконалити вимірювальні системи, підвищуючи, у першу чергу

їх точність і збільшуючи тілесний кут, підвищуючи чутливість і інші параметри виробів.

У роботі представлена модернізована авторами конструкція приладу, що вимірює енергетичну освітленість об'єкта, при цьому вдалося збільшити кут охоплення вимірюваного сигналу до  $180^\circ$ .

Модернізація приладу, що вимірює енергетичну освітленість [1], привела до збільшення кута огляду теплового приймача, використовуваного в приладі. Розглянуто й проведено аналіз декількох варіантів конструкцій з використанням уже відомої й застосовуваної зараз для цієї мети в теплових приймачах плоскої батареї з анізотропних термоелементів на основі антимоніду кадмію [2]. Для експериментального визначення кута огляду розроблений і зібраний вимірювальний стенд (рис. 1),



*Рис. 1 Вимірювальний стенд.*

що представляє собою оптичну лаву на якій розташовані: стабілізоване джерело теплового випромінювання – 2; штора, що відгинає випромінювання – 7; бленди – 4 і світловод – 3, що обмежують діаметр пучка теплового випромінювання; поворотний столик з кутоміром – 5, на якому установлений утримувач теплового приймача й приймач теплового випромінювання (ТП) – 6; а так само стабілізатор напруги теплового випромінювача 8, реєструюче обладнання – 9. Випробуваний приймач містився в утримувачі таким чином, щоб приймальна площа приймача розташовувалася на оптичній осі теплового пучка паралельно променю. У якості джерела теплового випромінювання застосовувалася відкрита ніхромової спіраль, навіта у формі конуса. Виміри проводилися в природньому середовищі теплообміну при нормальних умовах у такий спосіб: після включення й прогріву на протязі 2-х хвилин установки фіксували показання, що встановилося, сигналу реєстратора, відповідне до фонового значення сигналу ТП, потім відкривали шторку на час експозиції рівний 10 секундам, фіксували показання, що встановилося, реєстратора сигналу ТП відповідне до вимірюваного значення теплового потоку, після чого шторка закривалася. Процедура повторювалася сім разів. Потім столик із ТП повертали на кут  $10^\circ$  і серія вимірів повторювалася для знову встановленого кута положення прийомної площі ТП відповідно до падаючого теплового пучка. Отримані результати приводили до середнього для кожного кутового значення й будували відповідну індикатрису.

Для подальшого зіставлення й аналізу в якості випробуваних розглядали наступні конструкції теплових приймачів.

1. Неселективний приймач теплового випромінювання (ТП) [3], який являє собою плоску батарею з анізотропних термоелементів (АТ) на основі антимоніду кадмію, розміщену в корпусі із плоскою кришкою. Вхідне вікно, що перебуває в кришці обмежене діафрагмою, яка розташована на відстані 0.5 мм від прийомної площі.
2. Неселективний приймач теплового випромінювання (ТП) [3], який являє собою плоску батарею з анізотропних термоелементів (АТ) на основі антимоніду кадмію, розміщену в корпусі із плоскою кришкою. Вхідне вікно, що перебуває в кришці обмежене діафрагмою, яка розташована на відстані 0.5 мм від приймальної площі.
3. Неселективний приймач теплового випромінювання, аналогічний першому й відмінний тим, що кришка в цьому випадку виконана у вигляді дзеркальної півсфери. Вхідне вікно конструкції закрито ІЧ фільтром з монокристала сполуки телуриду кадмію, що забезпечує смугу пропускання від 0.8 до 20 мікронів. Геометрія фільтра відповідала геометрії конусної насадки, а приймальна площа теплового ІЧ фільтра і внесені певні конструктивні зміни.

Усі теплові приймачі випромінювання, що випробовувалися, мають вольт-ватну чутливість не гірше 0.4 В/Вт. Розмір приймальної площі у всіх приймачів однаковий і становить  $6 \times 6$  мм<sup>2</sup>. Геометричні розміри термоелементів і їх число у всіх випадках були однаковими. У табл. 1 наведені значення вихідного сигналу плоского приймача з анізотропних термоелементів залежно від інтенсивності падаючого на приймальну площу теплового потоку.

Таблиця 1

*Значення вихідного сигналу плоского приймача залежно від інтенсивності теплового потоку*

Інтенсивність теплового потоку, [Вт/мм <sup>2</sup> ]	0.015	0.084	0.179	0.340	0.612	0.787	0.982	1.187
Вихідний сигнал, [В]	0.0026	0.0210	0.0646	0.1159	0.1802	0.2256	0.2118	0.3058

На рис. 2 показаний зовнішній вигляд одного зі зразків приймачів на анізотропних термоелементах для вимірювання інтенсивності теплового потоку, представлених для проведення випробувань.



*Рис. 2. Зовнішній вигляд приймача на анізотропних термоелементах (габаритні розміри 16 × 16 мм).*

Результати порівняльних випробувань занесено в табл. 2. Для зручності аналізу й порівняння характеристик, результати вимірів представлені в нормованому виді, (у вигляді процентного співвідношення електричного сигналу залежно від кута напрямку теплового пучка й максимального сигналу відповідного до нормалі до прийомної площі).

*Таблиця 2*

*Результати вимірів значення сигналу залежно від кута вимірювання*

Нормоване значення електричного сигналу приймача										
Кут °	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Зразок 1	0	0	0	1.2	6.6	19.2	41.4	68.9	94.8	100.0
Зразок 2	0.1	0.8	1.3	3.9	7.0	21.7	35.9	67.6	83.8	100.0
Зразок 3	2.7	12.2	24.0	37.2	48.7	64.5	78.1	88.1	96.8	100.0

Розроблена й запропонована авторами конструкція вимірювальної голівки показала свої високі експлуатаційні характеристики, можливість здійснювати виміри в широкому тілесному куті охоплення в  $180^{\circ}$ , чого не забезпечують перші дві конструкції приймачів. Конструкція досить малогабаритна, і в промисловому варіанті може бути суттєво зменшена.

### **Прилади для дистанційного виміру температури різних об'єктів на основі анізотропних термоелементів CSb**

Датчики теплових потоків на основі анізотропних термоелементів, аналоги яких використовували для проведення експериментальних досліджень апертурного кута, послужили основою для створення цілого ряду контрольно-вимірювальних приладів і систем автоматичного регулювання технологічних процесів. Нижче наведені приклади деяких з таких обладнань.

На рис. 3 представлена вимірювальна голівка спеціалізованого інформаційно-діагностичного комплексу для медичної діагностики, робота якого базується на використанні методу динамічної теплотрії: безконтактного дистанційного спостереження зміни теплового випромінювання протягом певного періоду часу. У табл. 3 представлені основні технічні характеристики розробленої вимірювальної апаратури.



*Рис. 3 Вимірювальна голівка спеціалізованого інформаційно-діагностичного комплексу для медичної діагностики.*

Таблиця 3

*Технічні характеристики інформаційно-вимірювальної апаратури*

№ п\п	Параметр	Одиниці виміру	Значення
1	Приймач ІЧ випромінювання, не охолоджуваний, на основі анізотропних термоелементів, роздільна здатність, не гірше	В/Вт	0.2 – 0.4
2	Ціна розподілу цифрової шкали, не гірше	°С	0.05
3	Температура досліджуваного об'єкта	°С	20 – 42
4	Час однієї експозиції	с	1
5	Час виходу на режим, не більше	хв	30
6	Час безперервної роботи, не менше	година	8
7	Температура навколишнього середовища	°С	10 – 35
8	Відносна вологість повітря при 25 °С, не більше	%	80
9	Робоча область спектра	мкм	2 ÷ 16

Розроблена апаратура й методика її використання призначені для інструментального забезпечення методу динамічної теплотерії. Розроблена апаратура дозволяє безконтактно одержати інформацію з кожної точки на досліджуваному об'єкті. З її допомогою, наприклад, можна одержати інформацію про порушення функцій якого-небудь органа ще до того, як відбудуться морфологічні зміни, тобто, на самій ранній стадії.



*Рис.4 Радіометр переносний.*

Радіометр переносний, рис. 4, для визначення температури на різних ділянках вуглевидобувних покладів. Радіометр призначений для виміру густини енергії ІЧ-випромінювання в діапазоні довжин хвиль 1 ÷ 25 мкм, для визначення температури й різниці температур у широкому інтервалі:

– температура об'єкта: -30 ÷ + 700 °С;

- температура навколишнього повітря: від 5 до 60 °С;
- відносна вологість повітря: не більш 90 %;
- атмосферний тиск: від 96 до 104 кПа (720 – 780 мм рт.ст.).

Точність визначення різниці температур: не менш  $\pm 0.1$  °С.

Таблиця 4

*Технічні характеристики радіометра*

1	Діапазон вимірів густини теплового випромінювання об'єктів	10 – 25000 Вт/м <sup>2</sup>
2	Межа відносної основної похибки, що допускається, при відхиленні температури навколишнього середовища від фіксованої в межах робочого діапазону температур	$\pm 0.1$ %
3	Струм споживання радіометра	не більше 50 мА.
4	Напруга електроживлення радіометра	9 В
5	Час установлення показань: - у дискретному режимі	10 с
6	Час установлення показань у режимі спостереження	1 с
7	Маса приладу	не більше 0.6 кг
8	Габаритні розміри	не більше 190 × 90 × 50 мм <sup>3</sup>

Застосування приладу в гірничодобувній промисловості дозволяє визначати можливі й реальні місця виходу вуглекислого газу й газоподібних вуглеводнів, місця геологічних неоднородностей у вибої при проходці, а також визначати локалізацію ендегенних пожеж у шахтах.



*Рис. 5 Загальний вид радіометра.*

Радіометр, рис. 5, призначений для виміру інтенсивності енергетичної освітленості в діапазоні довжин хвиль від 0.2 до 25 мкм при нормальних кліматичних умовах:

- відносна вологість повітря при 25°С: не більше 80 %;

– атмосферний тиск: від 96 до 104 кПа (720 – 780 мм рт.ст.).

Фільтр, що поставляється із приладом, забезпечує пропущення інфрачервоного (теплого) випромінювання на рівні 62 % у смузі  $0.8 \div 25$  мкм.

*Таблиця 5*

*Технічні характеристики радіометра*

1	Діапазон вимірів енергетичної освітленості	$10 \div 25000$ Вт/м <sup>2</sup>
2	Межа відносної основної похибки, що допускається	не більше $\pm 6$ %
3	Межа відносної похибки, що допускається основної, при відхиленні температури навколишнього середовища від 20 °С, у межах робочого діапазону температур	$\pm 0.3$ %
4	Струм споживання радіометра	не більше 50 мА
5	Напруга живлення радіометра	9 В
6	Час установлення показань	1 с
7	Маса приладу	не більше 0.6 кг
8	Габаритні розміри, не більш	$190 \times 90 \times 50$ мм <sup>3</sup>

Як сам радіометр, так і прилади, засновані на цьому принципі, можуть бути використані в техніці, медицині, сільському господарстві й інших областях для виміру густини потоку теплового випромінювання від нагрітих об'єктів; виміру теплових втрат у теплоенергетиці, машинобудуванні, будівництві і т.д.

**Висновок**

1. Застосування приладу в гірничодобувній промисловості дозволяє визначати вихід метану у вибої при проходці, визначати локалізацію ендегенних пожеж у шахтах.
2. У технологічних процесах прилад може бути використаний як безконтактний регулятор температури:
  - при загартуванні технічного скла на рівень температур  $600 \div 700$  °С, з точністю не менш  $\pm 0.5$ ;
  - при впакуванні таблеток і капсул у фармакологічній промисловості на рівні  $90 \div 200$  °С, з точністю не менш  $\pm 0.2$ .
3. У контрольно-вимірювальній і випробувальній апаратурі в якості датчиків систем автоматичного керування в камерах: сонячної радіації, тепла й холоду, вологи з роздільною здатністю не менш 8 г води в 1 м<sup>3</sup>, дощу й краплинного впливу від крапель до тропічної зливи.
4. У сільському господарстві:
  - у тваринництві;

– у тепличному господарстві.

5. У метеорології:

- датчики інтенсивності дощу;
- актинометри.

6. У медицині:

- для неінвазивної функціональної діагностики захворювань нирок, щитовидної залози, легенів і ін.;
- визначення функції плаценти, загоєння після операційних і ранових швів, і т.д.;
- визначення локалізації запальних процесів, і т.д.

У будівництві:

- для виявлення зон найбільших реальних тепловтрат через зовнішні стіни й виміру величини цих тепловтрат у ватах із квадратного метра поверхні;
- для контролю якості теплоізоляції теплопроводів і виміру величини тепловтрат з одиниці поверхні теплопроводів у ватах із квадратного метра поверхні;
- для контролю якості теплоізоляційних матеріалів і будівельних елементів по їхніх реальних теплоізоляційних властивостях в одиницях густини теплового потоку, тобто у  $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , і ін.

Крім зазначених, можливі й інші, специфічні області застосування, розв'язувані шляхом використання супутніх процесу або функції теплових проявів.

## Література

1. Пилат И.М., Шабашкевич Б.Г., Пироженко С.И., и др., Радиометры энергетической освещенности на анизотропных термоэлементах // Оптический журнал. – 2000. – 67(3). – С. 83 – 85.
2. Анатычук Л.И., Термоэлементы и термоэлектрические устройства. – Киев: Наук. думка, 1979. – 767 с.
3. Ащеулов А.А., Раренко И.М., Воронка Н.К., Оптимизированные материалы на основе антимонида кадмия и их применение // Термоэлектричество. – 1993. – №3. – С. 73 – 82.

Надійшла до редакції 17.09.2015