

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 536.521.2
DOI: 10.25206/1813-8225-2022-181-73-77

В. А. ЗАХАРЕНКО
Д. Г. ЛОБОВ
А. Г. ШКАЕВ
А. А. ВАЛЬКЕ

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

ПИРОМЕТР С ВИДЕОКОНТРОЛЕМ ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Разработан пирометр с беспараллаксным визированием, позволяющий одновременно с измерением температуры производить видеонаблюдение как объекта контроля, так и области измерения температуры на нем. Пирометр содержит оптически связанные объектив, термостат, в который помещен приемник излучения, электронную схему преобразования сигнала с приемника излучения и видеокамеру. Передняя поверхность термостата выполнена полированной, направленной под углом 45° к оптической оси объектива, и содержит отверстие, выполняющее роль полевой диафрагмы. Видеокамера направлена на полированную поверхность термостата перпендикулярно оптической оси объектива. Описана работа пирометра, его конструктивное исполнение; приведена функциональная схема.

Ключевые слова: пирометр, беспараллаксное визирование, видеоконтроль, бесконтактное измерение температуры.

Введение. На сегодняшний день измерения температуры требуют большинство технологических процессов промышленных предприятий. Наряду с контактными средствами контроля температуры в последние годы широко используются бесконтактные пирометрические приборы. Внедрения бесконтактных средств измерения

температуры требуют процессы производства и формообразования при изготовлении различных изделий нефтегазового, химического, энергетического оборудования, аэрокосмической техники и судостроения [1, 2]. Необходим бесконтактный тепловой контроль для контроля тепловых процессов расплавов, обжига сырья

во вращающихся печах различных химико-технологических процессов, в установках сверхвысокочастотного нагрева [3], в процессах производства технического углерода, в производстве строительных материалов [4], обеспечения безаварийной эксплуатации электротехнического и теплотехнического оборудования в производстве электроэнергии, решения задач энергоаудита и энергосбережения и т.д. [5, 6].

Постановка задачи. При применении пирометрических приборов для бесконтактного измерения температуры остро стоит вопрос точности визирования пирометра на область измерения на объекте контроля, т.к. это определяет качество и погрешность измерений. При проектировании приспособлений для визирования применяются различные оптические схемы [7, 8]. Зачастую такие схемы представляют собой дополнительный оптический канал, позволяющий видеть объект контроля через окуляр. Также во многих пирометрах для этих задач используют лазерное целеуказание. В таких устройствах оптический канал визирования является параллельным измерительному и область визирования может не совпадать с реальной областью измерения температуры, что приведёт к недостоверности измерений [9]. Кроме того, лазерное визирование неприемлемо для высокотемпературных объектов, т.к. яркость лазерного излучения в этом случае меньше яркости излучаемой поверхности и становится невидимым на фоне контролируемой поверхности.

Обзор существующих аналогов. Известны различные пирометрические средства бесконтактного измерения температуры, в которых задача точного визирования решается различными способами. Так, существует пирометр, содержащий оптико-электронный блок измерения температуры, жестко связанный с ним блок подсветки траектории сканирования и блок отображения информации, содержащий мини-ЭВМ, причем выход оптико-электронного блока измерения температуры соединен с входом мини-ЭВМ [10].

В этом пирометре видеокамера позволяет обеспечить наглядную привязку локальных измеряемых значений температуры к координатам контролируемого объекта. Недостатками данного пирометра являются его значительная сложность, связанная с применением в нем блока подсветки, мини-ЭВМ и дихроичного зеркала, при этом основным недостатком такого устройства является использование параллаксной (внеосевой) системы наведения видеокамеры, что не позволяет гарантировать точность наведения и получать достоверную информацию о размере области измерения температуры. Кроме того, применение дихроичного зеркала уменьшает чувствительность к регистрируемому излучению и приводит к существенному удорожанию устройства.

Также существует устройство бесконтактного измерения температуры объекта контроля по его излучению [11]. Это устройство включает фокусирующую оптическую систему, фотодетектор, совмещенный с изображением измеряемой области объекта и, по меньшей мере, три полупроводниковых излучателя видимого диапазона

спектра, расположенных вокруг оптической оси фокусирующей оптической системы.

Устройство позволяет производить визуализацию контура измеряемой области на поверхности объекта. Недостатком устройства является его значительная сложность, связанная с необходимостью установки не менее трех излучателей и, как следствие, увеличение его потребляемой мощности для обеспечения необходимой и не всегда достаточной яркости излучателей на фоне нагретого объекта контроля.

Существует также пирометр [12], содержащий оптически связанные объектив, полевую диафрагму, измеритель сигналов, термостат, в который помещен приемник излучения.

В этом пирометре термостат позволяет уменьшить ошибки, связанные с влиянием температуры окружающей среды на параметры приемника излучения. Недостатками данного пирометра являются применение светоделительного зеркала, ослабляющего излучение от объекта контроля и, следовательно, уменьшающее его чувствительность, а также отсутствие технических решений для визирования на объект контроля, его отображения и визуализации контура реально измеряемой области на объекте контроля.

В данной работе представлена конструкция пирометра с беспараллаксным визированием и визуализацией как области измерений, так и самого объекта контроля. Поставленная задача разработки пирометра с видеоконтролем области измерений с целью повышения точности визирования достигается тем, что в пирометре термостат, в который помещен приемник излучения, выполнен с передней полированной (зеркальной) поверхностью с отверстием, выполняющим роль полевой диафрагмы, при этом полированная поверхность направлена под углом 45° к оптической оси объектива, а для визирования на объект контроля, его отображения и визуализации контура реально измеряемой области на изображении объекта контроля дополнительно установлена видеокамера, направленная на полированную поверхность термостата перпендикулярно оптической оси объектива.

Функциональная схема пирометра. Функциональная схема пирометра приведена на рис. 1.

Пирометр содержит: 1 — объектив, 2 — полевую диафрагму, 3 — термостат с полированной зеркальной поверхностью 4, приемник лучистой энергии 5, электронную схему 6 усиления, измерения и отображения сигнала в аналоговом или цифровом виде, 7 — видеокамеру.

В соответствии с функциональной схемой пирометр работает следующим образом. Тепловое излучение от объекта контроля 8 через объектив 1, полевую диафрагму 2 термостата 3 с полированной поверхностью 4 поступает на приемник лучистой энергии 5, с которого электрический сигнал в блоке 6 преобразовывается в измерительную информацию, при этом отраженное от полированной поверхности термостата излучение от объекта контроля с изображением через полевую диафрагму измеряемой области поверхности измерений и самого объекта контроля, направляется на видеокамеру 7. Таким образом, при помощи зеркально полированной поверхно-

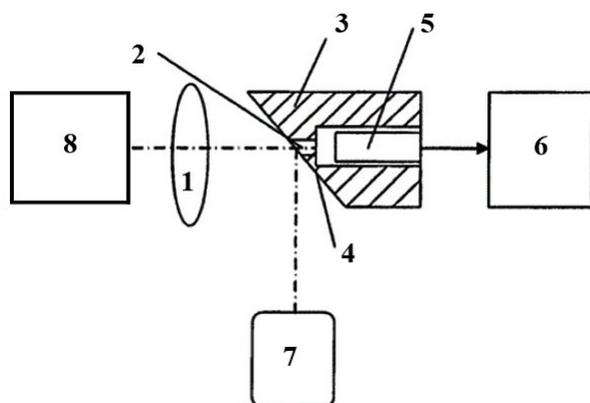


Рис. 1. Функциональная схема пирометра:

- 1 — объектив; 2 — полевая диафрагма;
3 — термостат; 4 — полированная поверхность;
5 — приемник лучистой энергии;
6 — измерительный преобразователь;
7 — видеокамера; 8 — объект контроля

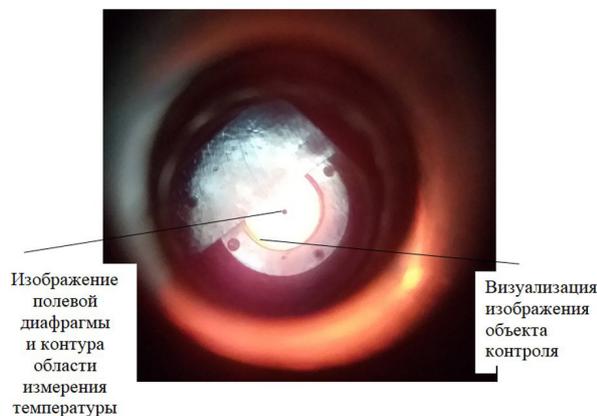


Рис. 2. Изображение с видеокамеры пирометра



Рис. 3. Внешний вид пирометра

сти передней стенки термостата и диафрагмирующего отверстия в ней, выполняющего роль полевой диафрагмы, обеспечивается разделение оптического канала на измерительный и визуализирующий. Отверстие в стенке термостата, на-

ходящееся на оптической оси поля зрения приемника излучения, отображает границы контура реально измеряемой области на изображении поверхности объекта контроля и обеспечивает заданный показатель визирования пирометра.

Следует отметить, что применение видеокамеры обеспечивает возможность не только дистанционного визирования и наблюдения за полем измеряемых температур, но и позволяет вести видеонаблюдение за объектом контроля в целом, что расширяет функциональные возможности применения пирометра. В качестве устройства отображения информации может использоваться персональный компьютер, связь с которым осуществляется по сети Ethernet. Питание пирометра осуществляется по РОЕ Ethernet. Кроме того, для удобства визирования прибора видеоизображение дополнительно передается по каналу связи WiFi, что позволяет получать изображение в полевых условиях на любом устройстве (смартфон, планшет, ноутбук).

Результаты натуральных испытаний. Результат визуализации изображения излучающей полости модели типа АЧТ при измерении температуры её полости опытным образцом пирометра в метрологической лаборатории АО «НПП «Эталон» представлен на рис. 2.

Как видно из рис. 2, на контролируемом объекте (излучающей полости модели) диафрагма 2 термостата 3 формирует затемненное пятно, соответствующее области визирования пирометра, что обеспечивает визуализацию области измерений температуры. Следует отметить, что затемненное пятно на контролируемом объекте однозначно соответствует геометрическим размерам контролируемой области измерения температуры при беспараллаксности наведения пирометра на поверхность измерения объекта контроля. Температура излучающей полости составляла 1300 °С.

Термостабильность устройства обеспечивает за счет поддержания постоянной температуры приемника лучистой энергии 5 пирометра в термостате.

Конструкция. Конструкция пирометра представлена на фотографии (рис. 3).

Пирометр выполнен в цельнометаллическом алюминиевом корпусе, класс защиты IP65. В качестве входного объектива применен объектив типа Гелиус с фокусным расстоянием 55 мм. В окуляр конструкции пирометра помещена миниатюрная видеокамера SPM20SA фирмы Sparta. Термокожух термостата, расположенного в передней части корпуса пирометра, выполнен из оргстекла, что в сочетании со схемой автоматической стабилизации температуры в термостате позволяет обеспечить термостабильность параметров фотоприемника. Печатная плата электронного блока с микроконтроллером расположена в задней части корпуса прибора. Основные технические характеристики пирометра приведены в табл. 1.

Выводы. Представленный пирометр позволяет достигать высокую точность измерения температуры объекта контроля, обеспечивая при этом как визуализацию области измерения, так и самого объекта контроля. Благодаря беспар-

Технические характеристики пирометра

Диапазон измеряемых температур, °С	1200 ... 2300
Рабочая температура окружающей среды, °С	–30... + 60
Погрешность, %	2
Показатель визирования	1 : 100
Инерционность измерения, не более, с	2,5
Время выхода на рабочий режим после вкл, не более, мин.	5
Выходной сигнал: измерительного канала видеоканала	Ethernet 4 ... 20 мА (опционально) Ethernet WiFi
Потребляемая мощность, Вт, не более	10
Питание	POE Ethernet
Вес пирометрического преобразователя кг, не более	1,5
Габариты, мм Диаметр длина	50 180

раллаксной оптической схеме прибора область измерения температуры точно совпадает с областью визирования. В связи с тем, что фотоприемник установлен после узкой диафрагмы диаметром 0,3 мм, а площадь полированной поверхности термостата значительно (в сотни раз) превышает площадь самой диафрагмы, на видеоизображении объекта контроля изображение контура области измерения температуры (рис. 2) занимает незначительную область и не затеняет визуализацию объекта контроля. Это позволяет проводить видеонаблюдение не только непосредственно за областью визирования, но и целиком за всем объектом контроля. На разработанный пирометр получен патент на изобретение [13]. На предприятии АО «НПП «Эталон» по данному изобретению изготовлен опытный образец пирометра, который прошел опытные натурные испытания и рекомендован для производства и реализации на рынке.

Библиографический список

1. Пат. № 200353 Российская Федерация, МПК G 01 K 13/00, G 01 J 5/00, G 01 J 5/08, G 01 K 1/14. Устройство для измерения температуры расплавов / Веприкова Я. В., Захаренко В. А., Кропачев Д. Ю. № 2020113559; заявл. 07.04.20; опубл. 20.10. 20, Бюл. № 29.
2. Панферов В. И., Панферов С. В. К решению задачи контроля температуры металла в АСУ ТП методических печей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия. 2021. Т. 21, № 4. С. 63–75. DOI: 10.14529/met210408.
3. Лапинов Б. А. Методы измерения температуры в технологиях сверхвысокочастотного нагрева // Измерительная техника. 2021. № 6. С. 20–28. DOI: 10.32446/0368-1025it.2021-6-20-28.
4. Денисов М. А. Метод пирометрии с мобильными жаростойкими экранами // Измерительная техника. 2021. № 10. С. 41–45. DOI: 10.32446/0368-1025it.2021-10-41-45.

5. Ващенко П. В., Болдова С. С., Лабусов В. А. Высокоскоростной спектральный пирометр на основе спектрометра «Колибри-2» // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2019. Т. 85, № 1-2. С. 122–125. DOI: 10.26896/1028-6861-2019-85-1-II-122-125.

6. Проиков А. Ю., Фланден В. С., Лапицкий К. М. Томографическая система измерения локальных температур пламени с помощью пирометра спектрального отношения // Приборы и техника эксперимента. 2019. № 1. С. 110–116. DOI: 10.1134/S0032816218060289.

7. Воробей Р. И., Гусев О. К., Свистун А. И. [и др.]. Измерительные преобразователи систем оптической диагностики с многофункциональными одноэлементными фотоприемниками // Приборы и методы измерений. 2018. Т. 9, № 3. С. 215–226. DOI: 10.21122/2220-9506-2018-9-3-215-226.

8. Битюков В. К., Горбунов Р. А., Симачков Д. С. [и др.]. Оптическая часть пирометра установки для калибровки вольфрам-рениевых термпар // Измерительная техника. 2021. № 1. С. 43–47. DOI: 10.32446/0368-1025it.2021-1-43-47.

9. Ходунков В. П. Скрытые неопределенности измерений температуры при калибровке пирометра // Измерительная техника. 2018. № 11. С. 68–72. DOI: 10.32446/0368-1025it.2018-11-68-72.

10. Пат. № 35433 Российская Федерация, МПК G 01 J 5/10. Пирометр / Сергеев С. С. № 2003130816/20; заявл. 23.10.03; опубл. 10.01.04.

11. Пат. № 2622239 Российская Федерация, МПК G 01 J 5/00, G 01 J 5/08. Устройство для бесконтактного измерения температуры объекта / Александров С. Е., Гаврилов Г. А., Карпалов А. А., Матвеев Б. А., Ременный М. А., Сотникова Г. Ю. № 2016119278; заявл. 18.05.16; опубл. 13.06.17, Бюл. № 17.

12. Пат. № 2343432 Российская Федерация, МПК G 01 J 5/10. Пирометр спектрального отношения / Сергеев С. С. № 2007101093/28; заявл. 09.01.07; опубл. 20.07.08, Бюл. № 20.

13. Пат. № 2751091 Российская Федерация, МПК G 01 J 5/0809. Пирометр / Захаренко В. А., Лобов Д. Г.,

Шкаев А. Г., Кропачев Д. Ю. № 2020136615; заявл. 06.11.20; опубл. 08.07.21, Бюл. № 19.

ЗАХАРЕНКО Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор (Россия), заведующий кафедрой «Электроника» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.

SPIN-код: 2501-4655

AuthorID (SCOPUS): E-5359-2014

Адрес для переписки: Zaha_vl@mail.ru

ЛОБОВ Дмитрий Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 369378

AuthorID (SCOPUS): E-6010-2014

Адрес для переписки: dg-lobov@mail.ru

ШКАЕВ Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 5947-5090

AuthorID (SCOPUS): E-5276-2014

Адрес для переписки: Shkayev@mail.ru

ВАЛЬКЕ Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроника» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 5219-4823

AuthorID (SCOPUS): E-5132-2014

Адрес для переписки: alex_sibiria@mail.ru

Для цитирования

Захаренко В. А., Лобов Д. Г., Шкаев А. Г., Вальке А. А. Пирометр с видеоконтролем области измерений // Омский научный вестник. 2022. № 1 (181). С. 73–77. DOI: 10.25206/1813-8225-2022-181-73-77.

Статья поступила в редакцию 16.01.2022 г.

© В. А. Захаренко, Д. Г. Лобов, А. Г. Шкаев,
А. А. Вальке