

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА ПИРОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.А. Захаренко, А.А. Бабиков, А.А. Вальке, Д.Г. Лобов (ГОУ ВПО ОмГТУ)

Представлен опыт разработки простых, экономичных и надежных в эксплуатации пирометрических средств бесконтактного контроля температуры. Показаны их технические характеристики и основные области применения.

Ключевые слова: пирометр, термография, температура, контроль, автоматизация.

Практически во всех отраслях промышленности как для контроля ТП, так и при эксплуатации энергосилового оборудования требуется измерение температуры. При этом в последние годы из-за предпочтительности во многих случаях бесконтактного измерения и контроля наблюдается бурный рост применения пирометров как отечественных, так и зарубежных производителей.

В Омском государственном техническом университете (ОмГТУ) накоплен опыт разработки и проектирования специализированных пирометрических средств, адаптированных под задачи теплового бесконтактного контроля в производстве технического углерода, сырой резины, цветной и черной металлургии, нефтяного кокса, энергетике, в ТП производства цемента и обжига сырья в сушильных и обжиговых печах различных производств [1-6].

Основным элементом пирометров, определяющим их основные технические характеристики, является чувствительный элемент, преобразующий тепловое излучение в электрический сигнал. При этом, как показывают расчеты, проведенные на основе функции Планка, температуры тел в диапазоне $-30...3000^{\circ}\text{C}$ сопровождаются излучением с достаточной для регистрации различного типа приемниками излучения мощностью в интервале длин волн $0,4...15$ мкм.

Значительный практический интерес представляет диапазон измерения температур $900...3000^{\circ}\text{C}$, при этом наибольшие трудности для контактных средств измерения (как правило на основе термопар) представляют задачи измерения температуры выше 1600°C . Несмотря на то, что непосредственное измерение температур при помощи термопар имеет ряд достоинств, такие их недостатки, как значительная инерционность, нестойкость к агрессивным средам, недолговечность эксплуатации при термоударах, высокая стоимость термопар из благородных и тугоплавких сплавов привели к приоритетному применению пирометрических преобразователей в системах автоматизации температурных процессов.

Расчеты спектральной плотности излучения нагретых тел для диапазона температур $900...2500^{\circ}\text{C}$ показывают, что для пирометрических преобразователей в этом диапазоне целесообразно использовать широ-

ко распространенные, выпускаемые отечественной и зарубежной промышленностью Si-фотодиоды, обладающие спектральной чувствительностью в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах в области $0,4...1,1$ мкм.

В ОмГТУ на основе кремниевых фотодиодов ФД-256 отечественного производства и S1336-18BK фирмы Hamamatsu (Япония) разработаны стационарные пирометрические преобразователи для применения в качестве датчика температуры в диапазоне $900...3000^{\circ}\text{C}$ в системах автоматического регулирования и контроля ТП (рис. 1). На фотографии сам преобразователь представлен горизонтальной конструкцией, а визирный окуляр стыкуется к нему только на время юстировки по месту установки на объекте контроля.

В преобразователе используется схема включения фотодиода в режиме генератора фототока, где нагрузкой является схема преобразователя ток-напряжение (ПТН). Благодаря такому решению удалось значительно повысить помехоустойчивость схемы пирометрического преобразователя к электромагнитным помехам.

Температурная стабилизация чувствительности прибора осуществляется путем термостатирования, что обеспечивает минимальную дополнительную погрешность измерений, обусловленную изменением температуры окружающей среды. В термостате кроме фотоприемника расположена и электронная схема ПТН,

что позволило свести к минимуму погрешности измерений, вызываемые температурным дрейфом ее элементов. Схема термостатирования обеспечивает поддержание температуры на уровне 50°C с точностью не хуже $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Регулятор температуры – цифровой, пропорционального типа, реализован на базе микроконтроллера, входящего в состав прибора. Время выхода термостата на рабочий режим составляет ≤ 1 мин.

Схема обработки сигнала и стабилизации температуры выполнена на базе микроконтроллера ADUC824 фирмы Analog Devices, имеющего встроенный 24-разрядный сигма-дельта АЦП. Микроконтроллер осуществляет нелинейное преобразование сигнала фотоприемника в напряжение, из которого формируется стандартный выходной



Рис. 1. Фотодиодный пирометрический преобразователь с визирным окуляром

сигнал 4...20 мА, а также обеспечивается выдача информации об измеряемой температуре в цифровом виде (интерфейс RS-232).

Прибор предусматривает возможность двунаправленного обмена данными с ПК, либо с переносным блоком управления. Последний позволяет в процессе эксплуатации оперативно осуществлять введение поправки на излучательную способность объекта контроля в пределах 0,1...1,0 с дискретностью 0,01 и обеспечивает отображение текущего значения измеряемой температуры.

Программное обеспечение, устанавливаемое на ПК, позволяет отображать информацию о температуре контролируемого объекта в виде трендов, производить их запись в архив с целью дальнейшего анализа [1, 4].

Представленные технические решения положены в основу переносного портативного пирометра, обеспечивающего основные технические характеристики в диапазоне температур 800...2000 °С не хуже широко используемого в промышленности визуального пирометра типа "Проминь" [3].

На основе двухспектрального приемника излучения (ПИ) типа K1713-09 (Hamamatsu), состоящего из двух фотодиодов: на основе Si, обладающего спектральной чувствительностью в диапазоне 0,3...1,1 мкм, и на основе GaAs, обладающего спектральной чувствительностью в диапазоне 0,9...1,1 мкм, разработаны пирометры спектрального отношения.

Пирометры этого типа предназначены для измерения температуры в диапазоне 900...2500 °С, а принцип их работы позволяет исключить влияние изменений излучательной способности объектов контроля и изменений прозрачности среды на результат измерений [7]. Кроме того, у пирометров этого типа уменьшается влияние на результат измерений расстояния до объекта контроля и площади его излучающей поверхности. Наибольший практический интерес представляет применение таких пирометров для измерений через защитные стекла технологических установок.

В этих пирометрах фотодиоды приемника излучения включены в режиме генерации фототока. Преобразователи фототока в напряжение выполнены на прецизионных операционных усилителях AD8552 (Analog Devices). Температурная стабилизация приемников излучения выполнена путем термостатирования.

Для задач измерения и контроля в диапазоне температур 150...2000 °С в ОмГТУ накоплен опыт проектирования стационарных, переносных и сканирующих пирометров с применением фоторезистивных приемников излучения на основе PbSe, имеющих оптический фильтр из антимонида кадмия. Такой фотоприемник обладает спектральной чувствительностью

в диапазоне 2,5...5,5 мкм. В настоящее время на основе такого фотоприемника сертифицирован пирометрический преобразователь типа СТ-1, серийно выпускающийся "НПП Эталон" (г. Омск), фотография которого представлена на рис. 2.

Высокая интегральная чувствительность PbSe-фотоприемника позволила реализовать конструкцию диафрагменного типа, не содержащую оптических элементов, что делает эффективным применение этих преобразователей в условиях брызг металла, пыли, загрязнения. Спектральный диапазон чувствительности обеспечивает малую зависимость измерений от влажности среды и содержания газов CO и CO₂. Преобразователи имеют унифицированный линейный выходной токовый сигнал 0...5 мА либо 4...20 мА, предусмотрена подстройка в диапазоне 0,1...1,0 к излучательной способности нагретых тел с дискретностью 0,01.

На основе PbSe фоторезисторов разработаны пирометры для контроля процессов напыления покрытий на детали в установках типа "Булат" и ННВ 6.6.-И1. Пирометр снабжен оптической системой, выполненной на базе плоско-выпуклой линзы из селенида цинка, создающей изображение объекта контроля в плоскости фотоприемника как в инфракрасной, так и в видимой областях спектра, что позволяет наблюдать изобра-

жение детали через оптический окуляр, обеспечивая при этом беспараллаксное визирование пирометра на объект контроля.

На базе селенисто-свинцового фоторезистора в ОмГТУ также разработан термограф и тепловизионная система, в основу которых положены сканирующие пирометрические преобразователи (СПП) со строчным оптико-механическим сканированием [4]. Система и термограф предназначены для технической диагностики и контроля за ТП обжига сырья и материалов во вращающихся печах, в частности, в производстве цемента, извести, нефтяного кокса.

Система представляет собой программно-аппаратный комплекс, состоящий из одного или двух СПП, компьютера, адаптера канала связи через последовательный порт по интерфейсу RS-232C, ПО обработки и визуализации поля температур поверхности развертки цилиндра корпуса вращающейся печи (рис. 3).

С помощью СПП осуществляется сканирование сектора зоны обзора около 100° таким образом, что прибор регистрирует инфракрасное излучение, испускаемое стенкой корпуса вдоль линии, параллельной оси. Температура по всей длине зоны сканирования считывается за 250 мс и выводится на экран монитора в виде строчки, в которой величине температуры соответствует определенный цвет. При этом темпера-



Рис. 2. Пирометрический преобразователь СТ-1



Рис. 3. Применение тепловизионной системы в производстве цемента (г. Балаклея, Украина)

турное поле развертки цилиндра печи формируется за один ее оборот.

Характеристика пирометрического преобразователя

Диапазон контролируемых температур, °С.....	150...500
Сектор зоны сканирования, гр.....	100
Диапазон рабочих температур окружающей среды, °С.....	-40...55
Приведенная погрешность, %.....	3
Размер контролируемого пятна (с расстояния 5 м), мм.....	≤ 200×200
Интерфейс связи с ПК.....	RS-232/485
Тип чувствительного к ИК излучению элемента.....	ФР-611
Частота сканирования, Гц.....	≤ 4
Вес первичного прибора, кг.....	5
Длина соединительной линии, км.....	2

Программное обеспечение работы СПП в составе тепловизионной системы реализует прием цифрового кода от СПП, визуализацию и обработку цветного изображения тепловых полей в РВ, получение, хранение и математическую обработку температурных профилограмм по сечениям, автоматическое сохранение цветного изображения теплового поля каждый час, вызов архива цветного изображения теплового поля и его анализ, анализ изменения теплового поля во времени, получение графиков зависимостей максимальной, минимальной и средней температуры от времени по двум сечениям, вызов архива графиков зависимостей максимальной, минимальной и средней температуры от времени по двум сечениям.

Тепловизионная система имеет сертификат соответствия № РОСС RU.МЕ72.А00403.

Применение в пирометрических приборах в качестве чувствительных к излучению элементов термоэлектрических ПИ типа TPS 424 фирмы Perkin Elmer (Германия), имеющих спектральную чувствительность в диапазоне 5...15 мкм, позволяет создавать пирометры для измерения температуры в диапазоне -30...200°С и шире. В этих пирометрах уменьшение дополнительной погрешности до 3% при изменении температуры окружающей среды обеспе-

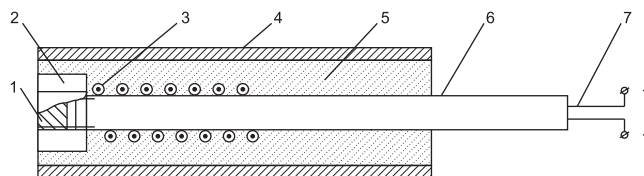


Рис. 4. Конструкция инфракрасного излучателя-калибратора, где 1 – исследуемый образец; 2 – гайка; 3 – нагревательный элемент в керамическом изоляторе; 4 – защитный кожух; 5 – теплоизолятор; 6 – чехол термопары; 7 – холодные концы термопары

чивается за счет применения компенсационного канала, формирующего сигнал от терморезистора, установленного на подложке чувствительного к излучению термоэлемента ПИ.

Пирометры этого типа применяются для инфракрасной диагностики энергетического и холодильного оборудования, а также для обнаружения утечек тепла в зданиях и сооружениях.

Конструктивно описанные пирометры представляют собой цилиндры длиной 180...270 мм и диаметром 50...110 мм. С переднего торца приборов с показателем визирования до 1:20 расположена апертурная диафрагма. Показатель визирования 1:100...1:500 обеспечивается применением линзовых объективов. В пирометрах с термоэлектрическими ПИ показатель визирования до 1:300 обеспечивается сферическим зеркалом диаметром 100 мм. На тыльной стороне пирометров расположен разъем съема электрических сигналов и подключения питания.

Метрологические характеристики передачи единицы температуры при градуировках и поверках представленных пирометрических средств обеспечиваются при помощи излучателей типа моделей АЧТ марок АЧТ-30/900/2500; АЧТ-45/100/1100; АЧТ-165/40/100, выпускаемых НПП "Эталон".

Как показал опыт эксплуатации пирометрических средств в производстве, основную трудность при обеспечении достоверности измерений пирометрами представляет неопределенность коэффициентов излучения контролируемых поверхностей. В связи с этим для оперативной коррекции показаний пирометров на коэффициент черноты была разработана модель серого излучателя-калибратора.

Калибратор представляет собой инфракрасный излучатель на основе термопары, на чехол которой намотан нихромовый нагреватель, помещенный в теплоизоляцию. В конструкции торца чехла термопары предусмотрена головка, в которую устанавливаются образцы материалов контролируемых поверхностей или фрагменты поверхностей деталей с напыляемыми покрытиями. Регулирование и стабилизация температуры излучающих поверхностей обеспечивается ПИД-регулятором, выполненным на базе микроконтроллера ADUC824, с точностью поддержания температуры излучающей поверхности материала 0,1 °С. При этом образцовым датчиком температуры излучающей поверхности является термопа-

ра. Конструктивное исполнение инфракрасного излучателя-калибратора приведено на рис. 4.

Калибратор позволяет эмпирическим путем производить учет коэффициентов излучения для различных поверхностей на контролируемой температуре.

Список литературы

1. *Захаренко В.А., Никоненко В.А.* Пирометрический преобразователь в качестве датчика температуры // Химическое и нефтехимическое машиностроение. 2004. №7.
2. *Захаренко В.А., Лобов Д.Г.* Инфракрасный пирометр в производстве сырой резины // Проектирование и эксплуатация электронных средств. Междун. науч.-техн. конф. Казань, КГТУ, 2000.
3. *Гальперин Ю.А., Захаренко В.А., Лобов Д.Г., Пономарев Ю.Ю.* Переносной портативный пирометр // Датчи-

ки и преобразователи информационных систем измерения, контроля и управления: XVI науч.-техн. конф. М.: МГИЭМ. 2004.

4. *Захаренко В.А., Вальке А.А., Козлов А.Г.* Система термографического контроля промышленного назначения // Датчики и системы. 2006. №11.
5. *Захаренко В.А., Лобов Д.Г.* Пирометрический преобразователь в производстве технического углерода // Измерение, контроль, информатизация: Междунар. науч.-техн. конф. "ИКИ-2004". Барнаул. АГТУ. 2004.
6. *Бабиков А.А., Захаренко В.А.* Пирометр спектрального отношения // Актуальные проблемы электронного приборостроения: Межвузовская конф. "АПЭП-2006". Том 2. Новосибирск. НГТУ. 2006.
7. *Свет Д.Я.* Оптические методы измерения истинных температур. М.: Наука. 1982.

Бабиков Андрей Анатольевич – инженер кафедры, Вальке Алексей Александрович – старший преподаватель кафедры, Захаренко Владимир Андреевич – канд. техн. наук, доцент, Лобов Дмитрий Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент, кафедра ТЭА ГОУ ВПО Омский государственный технический университет.

Контактный телефон (3812) 65-26-69. E-mail: dg_lobov@mail.ru

Высокоточные измерения температуры в системе с EtherCAT-модулями

Модуль измерения температуры EL3201-0020 представляет собой новое пополнение линейки высокоточного аналогового оборудования от Beckhoff. Благодаря низкой основной погрешности ошибка измерения в диапазоне рабочих температур снижена до величины 0,1 К.

EtherCAT-модуль EL3201-0020 обеспечивает прямое подключение датчика сопротивления (RT100) по четырехпроводной схеме. Характеристические кривые датчиков имеются для всего их рабочего диапазона измерений, и доступ к этим данным в линеаризованном виде возможен со стороны системы управления более высокого уровня.

Система с EtherCAT-модулями обеспечивает пользователям простую интеграцию высокоточной технологии измерений без проведения сложного процесса освоения. Надежное воспроизве-

дение результатов измерений имеет большое значение для решения широкого спектра задач в области автоматизации, связанных с оптимизацией параметров и возможностью осуществления контроля, например, при организации контроля качества в ТП в режиме on-line. Продукция компании Beckhoff полностью удовлетворяет этим требованиям, имея сертификат калибровки, подтверждающий класс точности измерительного модуля и четко определяющий погрешность измерений. Загрузка сертификата по сети (по данным серийного номера) и возможность работы с измерительным модулем так же, как и с обычными аналоговыми модулями делает использование высокоточной технологии измерений исключительно удобным.



Модули ввода/вывода заменяют коммутаторы и потенциометры в шкафах управления

Для облегчения реализации определенных процессов управления компания Beckhoff предлагает четыре новых модуля ввода/вывода с коммутаторами или потенциометрами, которые функционируют как устройства управления и позволяют изменять параметры процесса независимо от контроллера:

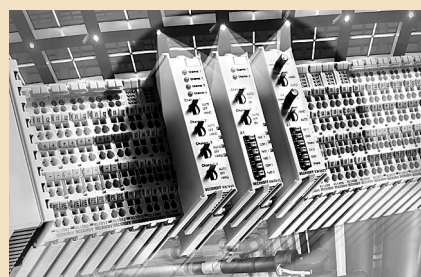
КМ1644 – 4-канальный модуль, ручное управление;

КМ2614 – 4-канальный релейный модуль, ручное управление: 16 А, 230 В пер. тока;

КМ2642 – 2-канальный релейный модуль, ручное/автоматическое управление: 6 А, 230 В пер. тока;

КМ4602 – 2-канальный аналоговый модуль вывода, ручное/автоматическое управление: 0...10 В.

В результате интегрирования этих компонентов ручного управления в формат системы ввода/вывода с интерфейсом К-Bus обеспечивается снижение требований к величине внутреннего объема шкафов управления; не требуются дополнительные коммутаторы и соответствующая проводка. Это особенно актуально при использовании ручного управления, например, при поиске и устранении неисправностей или осуществлении пусконаладочных работ: здесь К-Bus модули ввода/вывода с ручным управлением обеспечивают экономию места и финансовых затрат. Средства ручного управления выгодно использовать при сборке агрегата или производственной линии для тестирования отдельных составных частей до окончательного введения в действие всей системы управления.



В области автоматизации зданий модули ввода/вывода можно использовать, например, в распределительных коробках для ручного управления освещением или в системах ОВКиОВ для включения отдельных устройств (насосов или приводов жалюзи) с целью проведения измерений, поиска и устранения неисправностей или осуществления пусконаладочных работ – и все это независимо от контроллера.

Четыре коммутатора и четыре светодиодных индикатора модуля КМ1644 используются в системе управления для дискретного ввода/вывода и обеспечивают непосредственный ввод сигналов и отображение параметров процесса. Для организации коммутации потребителей посредством перекидного контакта как в ручную, так и автоматически через контроллер непосредственно к релейному модулю КМ2614 может подключаться до четырех потребителей со значениями номинальных параметров до 16 А/230 В переменного тока. Модуль КМ2642 позволяет в ручном или автоматическом режиме подключать два устройства-потребителя с номинальным током 6 А при переменном напряжении 230 В. Двухканальный аналоговый модуль вывода КМ4602 является аналогичным устройством и предназначен для работы с аналоговыми сигналами величиной 0...10 В. Режим (ручной/автоматический) выбирается с помощью расположенного на передней панели переключателя, а уровень аналогового сигнала устанавливается потенциометром.

Контактный телефон (495) 981-64-54. E-mail: russia@beckhoff.com Http://www.beckhoff.ru