

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПИРОМЕТРОВ

**С.А. Гарелина, к.т.н.,
К.П. Латышенко, профессор, д.т.н.,
АГЗ МЧС России,
А.В.Фрунзе, к.т.н.**

Температурный контроль является одной из важнейших областей контроля в познавательной и хозяйственной жизни современного общества. Без него невозможно обеспечить повторяемость технологических процессов, добиться высокого качества выпускаемой продукции, обеспечить безопасность функционирования промышленных, бытовых и транспортных объектов. Он играет важную роль в медицине, пищевой промышленности, сельском хозяйстве, при мониторинге и контроле ЧС и т.п.

По типу взаимодействия с контролируемым объектом методы температурного контроля делят на контактные и бесконтактные.

Контактные методы контроля чаще всего осуществляют с использованием термопар и термосопротивлений. Их достоинством является достаточно высокая точность, простота и дешевизна датчиков. К недостаткам можно отнести невозможность измерений температуры выше 2000 – 2500 °С, а также недолговечность работы датчиков в тяжёлых условиях (высокие температуры, движущиеся объекты измерений и т.д.).

Приборы, реализующие бесконтактные методы контроля температуры, называют пирометрами. Бесконтактные методы температурного контроля являются неразрушающими, они идеальны для измерений в области высоких температур, вплоть до 4000 °С. Они также прекрасно адаптированы к контролю движущихся объектов, объектов в вакуумных камерах и т.д. В ряде случаев (медицина, биология, пищевая промышленность, ЧС) возникают требования исключения любого контакта с контролируемым объектом, и бесконтактные методы температурного контроля в данных случаях безальтернативны.

Но бесконтактным методам присущи и свои серьёзные недостатки. В первую очередь – это зависимость принятого приёмником пирометра сигнала от излучательной способности контролируемого объекта.

Классические пирометры спектрального отношения не требуют ввода в них коэффициента излучения, что выгодно отличает их от энергетических. Однако при контроле температуры объектов, спектральная излучательная способность которых зависит от длины волны излучения (так называемых «несерых объектов»), эти пирометры также измеряют температуру с заметными погрешностями, тем большими, чем больше крутизна роста или спада излучательной способности с ростом длины волны.

Как хорошо известно, погрешности, возникающие при измерениях физических величин при помощи тех или иных средств измерений (СИ), принято делить на методические и инструментальные. Методические погрешности – это те погрешности, которые присущи данному методу измерений. Они возникают вне

зависимости от того, насколько хорошо калиброваны СИ. Методические погрешности нельзя исключить простым улучшением метрологических характеристик измерительных приборов, без изменений методики измерений.

В отличие от методических, инструментальные погрешности являются следствием недостатков, присущих самим СИ. Они могут быть уменьшены или исключены при усовершенствовании СИ – термостабилизацией узлов, экранировкой, установкой более чувствительных датчиков, более точной калибровкой и т.д.

Бесконтактные измерения температуры характеризуются большим количеством как методических, так и инструментальных систематических погрешностей. Методические погрешности являются следствием того, что сигналы, вырабатываемые приёмниками излучения, определяются не только температурой измеряемой поверхности, но и её излучательной способностью. Неучёт или неправильный учёт последней приводит к появлению методической погрешности, обусловленной излучательной способностью объекта измерений. Кроме того, объект измерения характеризуется ещё и отражательной способностью, благодаря которой в принятом приёмником сигнале может быть доля энергии, обусловленной переотражением излучения находящегося вблизи с измеряемым нагретого постороннего объекта. Неучёт этого ведёт к методической погрешности, обусловленной переотражением, и т.д. Таких погрешностей для энергетических пирометров набирается почти десятков, что предопределяет высокую сложность точного измерения температуры объектов энергетическими пирометрами.

Пирометры спектрального отношения характеризуются всего одной методической погрешностью.

Если к этому добавить и инструментальные погрешности, которых тоже набирается около десятка, то становится ясно, что такое разнообразие источников погрешностей требует, чтобы измерения производились не «из общих соображений», а согласно грамотно составленным методик измерения, а приборы для них выбирались с учётом всех особенностей объекта измерений [1].

В докладе рассмотрены и систематизированы все методические погрешности, возникающие при измерениях пирометрами, а также способы их устранения или минимизации:

- вследствие неучёта излучательной способности для яркостного пирометра;
- вследствие ввода неправильного значения излучательной способности для яркостного пирометра;
- вследствие неучёта излучательной способности для радиационного пирометра;
- вследствие ввода неправильного значения излучательной способности для радиационного пирометра пирометра;
- вследствие переотражения измеряемым объектом излучения близко расположенного постороннего нагретого объекта;

- вследствие зависимости результатов измерения энергетическим пирометром от расстояния до объекта измерений;
- вследствие зависимости результатов измерения энергетическим пирометром от степени заполнения измеряемым объектом поля зрения оптической системы;
- вследствие зависимости результатов измерения энергетическим пирометром от наличия поглощающей среды между пирометром и объектом измерений;
- вследствие зависимости результатов измерения радиационным пирометром от температуры корпуса пирометра;
- вследствие влияния на результат измерения пирометра спектрального отношения изменения ϵ_λ (излучательная способность измеряемого объекта на длине волны λ) с изменением длины волны излучения.

Инструментальная погрешность вследствие влияния на результат измерения пирометра температуры окружающей среды (ОС):

- вследствие влияния температуры ОС на пирометры с тепловыми приёмниками;
- вследствие влияния температуры ОС на пирометры с фотоэлектрическими приёмниками;
- вследствие влияния температуры ОС на спектральные характеристики светофильтров;
- вследствие влияния температуры ОС на напряжение, вырабатываемое источником опорного напряжения АЦП;
- вследствие влияния температуры ОС на напряжение сдвига и на коэффициенты усиления схем на операционном усилителе.

Инструментальная погрешность вследствие влияния на результат измерения пирометра с пироэлементом изменения частоты модуляции энергетического потока.

Инструментальная погрешность вследствие влияния на результат измерения пирометра сильного магнитного поля.

Инструментальная погрешность вследствие влияния на результат измерения пирометра спектрального отношения погрешности АЦП.

Таким образом, пирометрам для решения обратной задачи в теории излучения присущи почти полтора десятка различных систематических погрешностей.

Систематизированы и описаны все известные на настоящий момент методические и инструментальные погрешности средств бесконтактного температурного контроля веществ, материалов и изделий. Определено влияние каждой из них на погрешность измерений, выработаны рекомендации по их минимизации. Описаны ранее не рассмотренные методическая погрешность энергетических пирометров за счёт расстояния между объектом и пирометром, и инструментальная погрешность пирометров спектрального отношения за счёт сдвигов характеристики преобразования АЦП. Выявлены ошибки в известных

соотношениях для методической погрешности энергетических пирометров при облучении их близко расположенными нагретыми объектами.

Анализ всех погрешностей позволяет сделать следующий главный вывод. Минимальными погрешностями (причём практически всеми) обладают пирометры на основе фотодиодов, в первую очередь структуры Si (диапазон от 0,4 до 1,06 мкм), за ними – InGaAs (диапазон от 0,8 до 1,6 мкм). Пирометры с приёмниками с диапазоном от 2 – 6 до 8 – 14 мкм уступают фотодиодным приёмникам во всех методических погрешностях, и их использование оправдано только для измерения температур ниже 200 ° [2, 3, 4].

Список использованной литературы

1. Беленький, А.М. Измерение температуры: теория, практика, эксперимент / А.М. Беленький, М.Ю. Дубинский, М.Г. Ладыгичев, В.Г. Лисиенко. Справочное издание: В 3-х томах. Т.2 – М.: Теплотехник, 2007. – 736 с.
2. Фрунзе, А.В. Методические погрешности современных пирометров и способы их минимизации / А.В. Фрунзе // Метрология – 2012. – № 7 – С. 25 – 38.
3. Фрунзе, А.В. Пирометры спектрального отношения: преимущества, недостатки и пути их устранения / А.В. Фрунзе // Фотоника – 2009. – № 4 – С. 32 – 37.
4. Фрунзе, А.В. Влияние методических погрешностей на выбор пирометра / А.В. Фрунзе // Фотоника – 2012. – № 3. – С. 46 – 51, № 4 – С. 56 – 61.