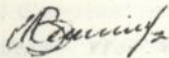


НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ

На правах рукописи

ИВАННИК Геннадий Васильевич



ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПИРОМЕТРОВ
С АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКОЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕКЛА

Специальность 05.11.04 - приборы и методы
измерения тепловых величин

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Киев - 1995

Диссе

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761587 (Y)

Работа выполне
НАН Украины и Закр

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Тарасевич Василий Николаевич

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: 1. Доктор технических наук,
профессор
Федоров Владимир Гаврилович
2. Кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Декуша Леонид Васильевич

ВЕДУШАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ - Государственное научно-про-
изводственное объединение
"Метрология" Госстандарта
Украины, г. Харьков

Защита состоится "19" декабря 1995 г. в 14 час. на
заседании специализированного ученого совета К 50.04.03 по
защите диссертаций в Институте технической теплофизики НАН
Украины (252057, г. Киев-57, ул. Желябова, 2-А).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института
технической теплофизики НАН Украины.

Автореферат разослан "9" ноября 1995 г.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь
специализированного ученого совета
кандидат технических наук

Кудрицкий Г. Р.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время во многих отраслях промышленности, включая стекольную, наблюдается тенденция к более широкому применению бесконтактных средств измерения температуры. Это обусловлено преимуществами пирометров по сравнению с контактными средствами измерения. Пирометры имеют лучшую точность, надежность, более длительный срок эксплуатации; диапазон измеряемых температур у них значительно шире и включает высокотемпературную область, где контактные средства непригодны; термочувствительный элемент и другие детали прибора не контактируют непосредственно с высокотемпературной и зачастую агрессивной средой. Высокое быстродействие пирометров, способность измерять температуру труднодоступных и подвижных объектов, предметов малых размеров либо пленок, не нарушая при этом температурного поля данного объекта, позволяют решать важные технологические задачи, для которых контактные средства не всегда применимы.

Номенклатура отечественных серийно выпускаемых пирометров для измерения температуры стекла очень ограничена и они не обеспечивают решение многих технологических задач стекольного производства, поэтому разработка и внедрение новых приборов для контроля производства стекла является актуальной задачей.

Одной из наиболее сложных проблем в пирометрии частично прозрачных материалов является устранение погрешностей, возникающих в результате одновременного воздействия на прибор большого количества различных по физической природе помех и факторов. Применение традиционных приемов исключения их влияния приводит к значительному усложнению конструкции прибора, его обслуживания, снижает эксплуатационные свойства и надежность. В связи с этим возникла необходимость в исследовании и разработке новых методов бесконтактного измерения температуры в стекольном производстве, обеспечивающих повышение точности измерения. Наиболее перспективным направлением решения указанной проблемы является применение структурно-алгоритмических методов и создание систем, функционирующих в режиме автоматической калибровки.

Цель работы состоит в разработке метода измерения и специальных пирометров с автоматической калибровкой для измерения

температуры стекла.

Основные задачи работы:

- разработка метода измерения и математической модели пирометра, функционирующего в режиме автоматической калибровки;
- анализ погрешностей метода и оптимизация параметров математической модели;
- разработка ИК-пирометров для измерения температуры стекла и исследование их метрологических характеристик.

Научная новизна:

- предложен новый метод бесконтактного измерения температуры, заключающийся в последовательной подаче на ИК-преобразователь излучения от объекта и калибровочных воздействий, эквивалентных излучению абсолютно черного тела (АЧТ), с последующим вычислением искомой температуры по заданному помехоустойчивому алгоритму;
- разработана математическая модель пирометра и определены оптимальные значения ее параметров, минимизирующие погрешность прибора;
- разработано метрологическое обеспечение предложенных метода и средства измерения;
- созданы пирометры, функционирующие по разработанному методу измерения;
- уточнена классификация пирометров для стекольного производства, в которой более подробно отражено разделение пирометров по конструктивному исполнению, по назначению, по характеру обработки пирометрической информации.

Практическая ценность выполненной работы:

- экспериментально подтверждена возможность создания пирометров для контроля температуры в стекольном производстве, работающих в режиме автоматической калибровки;
- разработаны и изготовлены рабочие образцы ИК-пирометров с автоматической калибровкой для измерения температуры стекла, которые прошли метрологическую аттестацию, производственные испытания и переданы в промышленную эксплуатацию;
- изготовлены специальные стенды и приспособления для выполнения экспериментальных, градуировочных и поверочных работ, в частности, стенд для проверки метода измерения и работоспособности созданных пирометров, блок управления вибробункером вакуумной установки и другие.

Автор защищает:

- метод бесконтактного измерения температуры стекла с автоматической калибровкой, осуществляемой подачей эквивалентных излучению АЧТ воздействий на приемник излучения (ПИ), и средство для его осуществления;

- методику оптимизации параметров физической и математической моделей пирометра;

- метрологическое обеспечение предлагаемых метода и средства бесконтактного измерения температуры;

- аналитическое и экспериментальное обоснование метрологических характеристик разработанных приборов;

- пирометры с автоматической калибровкой для измерения температуры стекла.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на VII Всесоюзном семинаре по тепловым приемникам излучения (г. Москва, 1990 г.), семинаре по тепловым приемникам излучения (г. Санкт-Петербург, 1992 г.), VII Международной научно-технической конференции "Электрические методы и способы измерения температуры" (г. Львов, 1992 г.), XVI Международном конгрессе по стеклу (г. Мадрид, 1992 г.), V Научно-технической конференции "Метрологическое обеспечение температурных и теплофизических измерений" (г. Харьков, 1993 г.), конференции "Современные технологические процессы в литейном производстве" (г. Киев, 1993 г.), республиканском семинаре "Строительные материалы, изделия и конструкции со специальными эксплуатационными свойствами" (г. Киев, 1993 г.).

Полностью работа докладывалась на расширенном научном семинаре отделов термометрии и теплофизического приборостроения Института технической теплофизики НАН Украины (г. Киев, 1995 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 11 печатных работах, включая 2 патента на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 111 наименований, 7 приложений. Работа изложена на 104 страницах машинописного текста, включая 54 рисунка и 6 таблиц.

СО Д Е Р Ж А Н И Е Р А Б О Т Ы

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, сформулирована цель исследований, приведены основные результаты и положения, которые автор представляет к защите.

В первой главе приведен обзор научно-технической, патентной и нормативной литературы; выбрано направление диссертационной работы и оределены основные задачи исследований.

Автором выполнен сравнительный анализ контактных и бесконтактных средств измерения температуры стекла, который показал преимущества пирометров излучения. Обзор подтвердил, что большинство разработанных в странах СНГ пирометров для измерения температуры стекла серийно не изготавливаются и по основным техническим характеристикам не удовлетворяют требованиям технологии. Исключением являются несколько модификаций приборов комплекса АПИР-С и АПИР-П, выпускаемых Каменец-Подольским приборостроительным заводом, однако они не могут обеспечить решение многих проблем термометрии, возникающих в условиях современного стекольного производства.

Стекольные заводы характеризуются наличием различных по физической природе дестабилизирующих факторов и помех, уменьшающих точность измерения. В работе рассмотрены известные способы устранения их влияния, компенсации или учета путем введения соответствующих поправок.

При измерении температуры слабонагретых тел и большом количестве помех применение традиционных приемов исключения их влияния становится малоэффективным, приводит к значительному усложнению конструкции прибора, повышению стоимости его обслуживания, снижает надежность. Более рациональным представляется решение задачи, при котором одновременно уменьшается влияние всех или нескольких дестабилизирующих факторов с адаптацией прибора к условиям измерения.

Перспективными для термометрии являются структурно-алгоритмические методы повышения точности измерения, например, метод образцовых мер, обратных преобразований и другие. Указанные методы используются в основном в области измерения электрических величин, что объясняется сложностью создания незлектрических образцовых мер и точного обратного преобразователя.

В последнее время в научном приборостроении наметилась тенденция создания систем, функционирующих в режиме непрерыв-

ной калибровки, осуществляемой непосредственно в процессе измерения. При этом искомая величина определяется средствами вычислительной техники по заданному алгоритму и одновременно уменьшается влияние всего комплекса дестабилизирующих факторов и помех.

В связи с этим диссертантом обоснована целесообразность выполнения исследования и разработки структурно-алгоритмических методов применительно к пирометрии стекла и создания бесконтактных средств с автоматической калибровкой.

Во второй главе изложен предлагаемый метод бесконтактного измерения температуры, реализация которого улучшает метрологические характеристики средства измерения; автором разработана математическая модель пирометра, составлен баланс погрешностей метода и найдены аналитические выражения отдельных его составляющих, на основе анализа погрешностей сформулированы условия оптимизации параметров математической модели.

В общем виде функция преобразования пирометра имеет вид

$$U_x = f[q(T_x), b_1, b_2, \dots, b_n, z_1, z_2, \dots, z_n], \quad (1)$$

где U_x - выходной электрический сигнал; $q(T_x)$ - лучистый поток от объекта; T_x - измеряемая температура; b_1, b_2, \dots, b_n - параметры функции преобразования; z_1, z_2, \dots, z_n - дестабилизирующие факторы.

Ошибка измерения вызывается тем, что излучение реальных тел отличается от излучения АЧТ, по которому производилась градуировка пирометра. Кроме того, под воздействием дестабилизирующих факторов изменяются параметры b_1, b_2, \dots, b_n функции преобразования (1). Исходя из этого возникают две проблемы: необходимо правильно учесть характер излучения реальных тел и уменьшить влияние на результат измерения изменения параметров b_1, b_2, \dots, b_n .

При измерении температуры поверхности стекла первая проблема решается путем соответствующего выбора ширины и положения рабочего спектрального диапазона измерения пирометра в области спектра, где стекло непрозрачно и его излучение приближается к излучению АЧТ.

Для решения второй проблемы, связанной с воздействием на прибор дестабилизирующих факторов, предлагается следующий ме-

тод измерения температуры. Он заключается в том, что первичный преобразователь пирометра поочередно воспринимает излучение от объекта, имеющего температуру T_x , и два калибровочных воздействия, эквивалентные излучению АЧТ с априори известными температурами T_1 и T_a . При этом измеряются соответствующие выходные электрические сигналы U_x , U_1 и U_a .

Функция преобразования (1) является достаточно сложной и содержит интеграл выражения, в которое входят спектральная плотность излучения АЧТ, спектральный коэффициент излучательной способности объекта, спектральные коэффициенты пропускания оптики, промежуточной среды и другие параметры. Поскольку интеграл аналитически не вычисляется, установить связь между температурой T_x объекта и выходным сигналом U_x пирометра в явном виде нельзя. Поэтому в работе используется аппроксимация функции преобразования (1) выражением

$$U_x = a + b \cdot T_x^n, \quad (2)$$

где n - показатель степени, зависящий от спектрального диапазона и уровня контролируемых температур; a - сумма всех аддитивных составляющих выходного электрического сигнала; b - коэффициент преобразования, зависящий от чувствительности ПИ, коэффициентов отражения зеркал рефлекторной оптики, коэффициентов преобразования усилителей и других составляющих; T_x^n - величина, пропорциональная плотности лучистого потока. Степенная зависимость лучистого потока от температуры непосредственно следует из законов теплового излучения Планка и Стефана-Больцмана. При широком интервале измеряемых температур используется кусочно-параболическая функция типа (2).

Искомая температура T_x может быть найдена по формуле (2). Коэффициенты a и b определяются с помощью метода наименьших квадратов или экспериментально в процессе предварительной градуировки прибора. Такой подход достаточно просто реализуется аппаратно, но имеет существенный недостаток. При изменении окружающей обстановки изменяются коэффициенты a и b . Аддитивные помехи, например, электромагнитные наводки, шумы ПИ и усилителей, смещение нуля прибора, собственное излучение оптики и внутренних узлов прибора и т.п., вызывают изменение параметра a . Температурная и временная нестабильность чувствительности ПИ, коэффициентов преобразования усилителей, изменения коэффи-

циентов отражения зеркал оптической системы и ряд других факторов являются мультипликативными помехами и вызывает изменение параметра b . Это приводит к смещению градуировочной характеристики прибора и увеличению погрешности измерения. Для ее уменьшения необходимо найти новые значения a и b , соответствующие изменившимся условиям. Выполнять коррекцию коэффициентов a и b в реальной обстановке измерения сложно. Поэтому алгоритм обработки пирометрической информации построен так, чтобы исключить неопределенность коэффициентов a и b на значение искомой температуры T_x .

Каждый из выходных электрических сигналов U_x, U_1, U_2 определяется в соответствии с выражением (2)

$$\begin{cases} U_x = a + b \cdot T_x^n; \\ U_1 = a + b \cdot T_1^n; \\ U_2 = a + b \cdot T_2^n. \end{cases} \quad (3)$$

Решение системы (3) дает значение искомой температуры T_x в виде формулы

$$T_x = \left[T_1^n + \left(T_1^n - T_2^n \right) \frac{U_x - U_1}{U_1 - U_2} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

Из (4) следует, что температура T_x не зависит от изменения параметров a и b .

Фактически измерение и калибровка выполняются в одно и то же время и в одинаковых условиях, что позволяет снизить результирующую погрешность до погрешности калибровки в обстановке измерения и одновременно уменьшить влияние всего комплекса дестабилизирующих факторов и помех.

Алгоритм функционирования согласно математической модели (4) реализуется в пирометре средствами вычислительной техники.

Анализ погрешностей данного метода измерения показал, что инструментальная погрешность $\Delta_{и}$, которая непосредственно характеризует прибор, зависит в основном от трех составляющих

$$\Delta_{и} = \Delta_{ои} \oplus \Delta_{ву} \oplus \Delta_a$$

где \oplus - операция статистического объединения случайных вели-

чин; $\Delta_{\text{оч}}$ - погрешность, связанная с точностью воспроизведения калибровочных воздействий, эквивалентных излучению АЧТ при температурах T_1 и T_2 ; $\Delta_{\text{вы}}$ - погрешность, связанная с работой вычислительного устройства, фактически определяемая погрешностью квантования электрических сигналов U_x , U_1 и U_2 по уровню; Δ_a - погрешность адекватности модели, определяемая отклонением аппроксимирующей функции от реальной градуировочной характеристики.

Для конкретного измерительного прибора Δ_a является детерминированной величиной. Составляющие $\Delta_{\text{оч}}$ и $\Delta_{\text{вы}}$ являются независимыми случайными величинами с математическими ожиданиями $M_{\text{оч}}$, $M_{\text{вы}}$ и средними квадратическими отклонениями $\sigma_{\text{оч}}$, $\sigma_{\text{вы}}$.

Максимальное значение инструментальной погрешности при заданной доверительной вероятности P_d определяется выражением

$$\Delta_{\text{и max}}(U_x, T_1, T_2) = |M_{\text{оч}}(U_x, T_1, T_2) + \Delta_a(U_x, T_1, T_2)| + K \sqrt{\sigma_{\text{оч}}^2(U_x, T_1, T_2) + \sigma_{\text{вы}}^2(U_x, T_1, T_2)}, \quad (5)$$

где K - квантильный множитель, зависящий от P_d и закона распределения погрешности $\Delta_{\text{и}}$.

Задача выбора оптимальных значений калибровочных воздействий сводится к минимизации выражения (5) как функции от температур T_1 , T_2 при различных значениях изменяемого параметра U_x .

Теоретический расчет погрешности по формуле (5) показал, что наиболее существенный вклад в суммарную погрешность вносит неточность задания опорных воздействий - около 84%, а суммарная доля $\Delta_{\text{вы}}$ и Δ_a составляет 16% для рассмотренного примера. Исходя из этого, для уменьшения $\Delta_{\text{и max}}$ рекомендуется в первую очередь применять меры, обеспечивающие высокую точность задания эквивалентных излучению АЧТ воздействий на ПИ.

В третьей главе приведены результаты выполненных диссертантом экспериментальных исследований и проверки математической и физической моделей пирометра; изложены методика проведения исследований и метрологическое обеспечение; приведено описание конструкций разработанных стендов и вспомогательных устройств для проведения градуировочных, поверочных и экспериментальных работ.

Для оценки метода измерения изготовлена установка, моде-

лирующая функционирование пирометра в режиме автоматической калибровки (рис. 1).

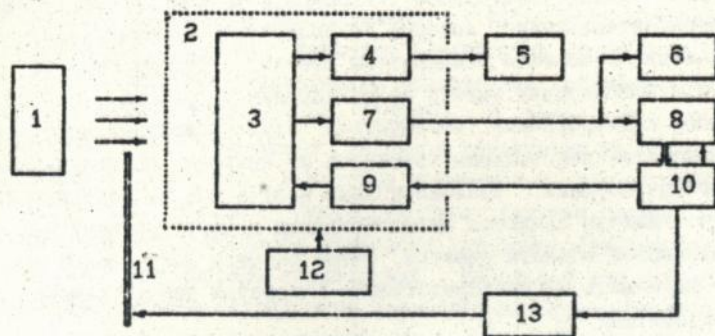


Рис. 1

Калибровка выполняется подачей опорных воздействий, формируемых устройством 9, на ПИ пирометрического преобразователя 3. Последний содержит также оптическую систему и предварительный усилитель. Во время калибровки заслонка 11, передвигаемая устройством 13, перекрывает поле зрения пирометра. Электрический сигнал ПИ после предварительного усиления поступает через измерительный преобразователь 7 на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) 8. Величина входного напряжения контролируется цифровым вольтметром 6. Сигналы U_x , U_1 и U_2 поочередно преобразовываются АЦП в двоичные коды, поступающие в вычислительное устройство 10, в качестве которого применена ПЭВМ типа IBM XT/AT. ПЭВМ синхронизирует работу составных частей макета пирометра и вычисляет искомую температуру согласно выражению (4). Результаты отображаются на дисплее.

При метрологических исследованиях использован излучатель 1 в виде модели АЧТ. Для возможности исследования функционирования макета при различных температурах окружающей среды устройства 9, 7, 3 размещены в термостатируемом объеме 2. Температура последнего поддерживается на заданном уровне с помощью термостата 12 и контролируется термоэлектрическим преобразователем 4, сигнал которого измеряется потенциометром 5.

При создании макета пирометра возникла задача выбора способа формирования калибровочных воздействий на ИК-преобразователь. Одним из вариантов является периодическое введение в по-

ле зрения пирометра источника опорного излучения. Известные ИК-излучатели, например, модели АЧТ, светоизмерительные и температурные лампы, светодиоды, глобары и другие, имеют технические характеристики, которые не позволяют применять их в приборах для измерения температуры стекла. Поэтому были изготовлены и исследованы макеты нестандартных устройств, вырабатывающие калибровочные воздействия: малогабаритный источник излучения с нагревательным элементом из нихрома, ИК-излучатель из карбида кремния, тонкопленочный излучатель на подложке из кремния. Макеты являются неселективными и могут применяться в средневолновой области спектра. Малые размеры излучателей позволяют размещать их непосредственно в корпусе пирометрического преобразователя.

Использование излучателей для калибровки пирометра выявило следующие недостатки. Во-первых, возникает необходимость применения в приборе сложного сканирующего устройства для коммутации излучения от объекта измерения и опорных излучателей. Во-вторых, из-за конструктивных особенностей сложно получить высокую температуру излучающего элемента. Кроме того, первые два макета являются инерционными, поэтому при кусочной аппроксимации градуировочной характеристики необходимо использовать несколько излучателей с отличающимися температурами.

Выполнять калибровку пирометра, подавая на ПИ эталонное воздействие в виде лучистого потока, достаточно сложно. Поэтому предлагается заменить лучистый поток некоторым эквивалентным воздействием. В общем случае оно может быть различной физической природы, например, электрическим или механическим, и зависит от типа используемого ПИ.

При измерении температуры стекла, наиболее часто применяются тепловые ПИ. Предлагается задавать калибровочное воздействие непосредственно на приемную площадку теплового ПИ путем ее нагрева миниатюрным нагревателем, который совмещен с чувствительным элементом первичного преобразователя. С энергетической точки зрения выделяющееся в результате нагрева тепло должно быть эквивалентным воздействию на датчик излучения АЧТ с известной, фиксированной температурой.

Предложенный способ имеет ряд достоинств. Точность задания калибровочных сигналов в виде электрической мощности, подводимой к нагревателю, выше точности задания воздействий в ви-

де лучистых потоков с помощью опорных излучателей. Использование данного подхода исключает необходимость применения в пирометре сложного сканирующего устройства, что упрощает конструкцию прибора и повышает его надежность. Задание на нагреватель электрической мощности, тепловое воздействие которой на чувствительный элемент эквивалентно воздействию излучения АЧТ при низких и высоких температурах (1500°С и выше) не вызывает трудностей. Это расширяет диапазон измеряемых температур по сравнению с приборами, в которых применяются для калибровки ИК-излучатели. Высокое быстродействие датчика позволяет перестраивать его в процессе измерения для осуществления различных по величине опорных воздействий. Небольшой ток при низком напряжении питания нагревателя позволяет использовать его как в стационарных, так и переносных пирометрах. Поскольку задаваемые эквивалентные воздействия являются неселективными, предложенный метод измерения можно использовать не только для измерения температуры стекла, но и для других приложений.

Недостатком описанного выше устройства является необходимость изготовления специального ИК-преобразователя, чувствительный элемент которого совмещен с резистивным нагревателем.

На стенде (рис. 1) экспериментально определена градуировочная характеристика макета пирометра. Составлена программа и выполнен оптимизационный расчет параметров математической модели на ПЭВМ типа IBM XT/AT. Расчет показал, что существуют значения опорных температур T_1 и T_2 , минимизирующие погрешность $\Delta_{и\ max}$. Например, в интервале температур от 300 до 400°С оптимальными являются значения $T_1=600$ К и $T_2=656$ К. График на рис. 2 иллюстрирует зависимость $\Delta_{и\ max}$ от T_1 и T_2 в диапазоне от 300 до 400°С (при $|T_1 - T_2| \geq 25$ К) и показывает наличие температур T_1 и T_2 , при которых $\Delta_{и\ max}$ имеет минимальное значение.

При исследовании функционирования макета ИК-пирометра установлено, что основная погрешность его составляет 0,5%. Это меньше погрешностей известных аналогов и свидетельствует о способности предложенного метода уменьшать влияние аддитивных и мультипликативных помех на результат измерения. Определено, что основной вклад в $\Delta_{и\ max}$ макета (от 75 до 100% в зависимости от U_x) вносит погрешность воспроизведения эквивалентных излучению АЧТ воздействий на ПИ, что согласуется с результатами теоретического расчета в главе 2. Сопоставление результатов

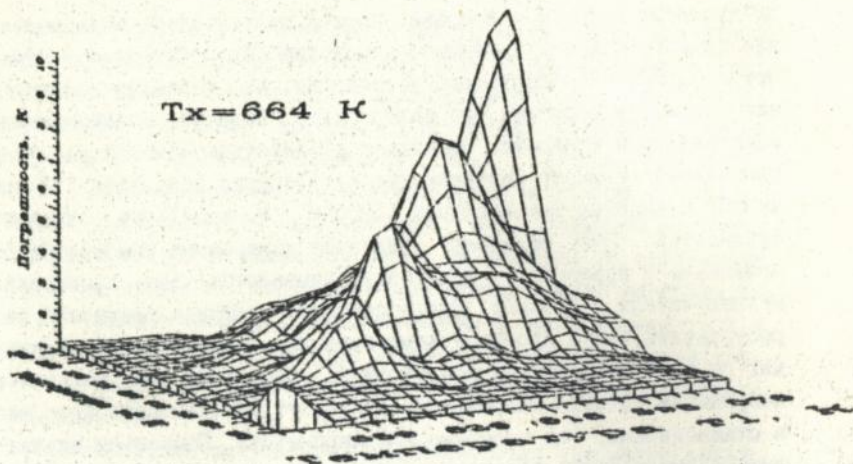


Рис. 2

расчета погрешности с практически найденными значениями показало адекватность математической и физической моделей прибора.

В четвертой главе приведено описание пирометра П-400, в разработке которого использовались результаты теоретических и экспериментальных исследований, полученных диссертантом.

Пирометр частичного излучения П-400, функционирующий в режиме автоматической калибровки, предназначен для измерения температуры стеклянных элементов световых приборов в интервале от 50 до 400°C. Основная погрешность измерения составляет 1.5-4°C. Поле зрения не менее 20 мм на расстоянии 400 мм. Рабочий спектральный диапазон - от 4 до 8 мкм.

Сравнительный анализ погрешностей различных пирометров в интервале от 50 до 400°C показал, что некоторые приборы имеют близкие значения основной погрешности измерения, например, 1.5-4°C - пирометр П-400, 3.5-5.5°C - пирометр ИП-4 (Гусевский филиал ГИС, Российская Федерация), 3°C - пирометр ORL 03/C (фирмы Land Infrared, Великобритания). Другие приборы имеют более высокие значения погрешностей: 7.5°C - пирометр Argomat (фирмы Siemens, Германия); 5°C - пирометры T1054-1, T1055-1, T1056-1 (фирмы Ultracust C-eratebau GmbH & Co, Германия); 4-6°C - пирометр Thermophil 4474 (фирмы Ultracust C-eratebau GmbH &

Со, Германия); 9°C - пирометр ДПНТ-2М, 16°C - ИТС-3 (Киевский филиал ВИАСМ, Украина); $3-5.25^{\circ}\text{C}$ - пирометры "Смотрич 2-1, 2-2, 2-3", 13.5°C - "Смотрич 4П-04" (АО "Термоприбор, Украина) и другие. Из приведенных данных следует, что автоматическая калибровка, осуществляемая в процессе измерения в разработанном пирометре, обеспечивает высокую точность измерения.

Пирометр П-400 прошел метрологическую аттестацию в Украинском центре стандартизации, метрологии и сертификации (г. Киев) и производственные испытания, что подтверждается соответствующими свидетельствами, актами и протоколами испытаний. Рабочие образцы (2 комплекта) прибора переданы в промышленную эксплуатацию в НПО "Электролуч" (г. Москва, Российская Федерация).

Предложенный метод измерения перспективен для использования в тех областях, которые характеризуются наличием большого количества дестабилизирующих факторов и помех. В частности, метод применен в разработанной в ЗАО "Киевавтоматика" сканирующей пирометрической установке, предназначенной для определения температурного профиля по ширине ленты стекла в печи отжига. Установка защищена патентом Российской Федерации на изобретение.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен новый метод бесконтактного измерения температуры, заключающийся в последовательной подаче на ИК-преобразователь излучения от объекта и двух эквивалентных излучений абсолютно черного тела воздействий с последующим вычислением искомой температуры по заданному помехоустойчивому алгоритму. Тем самым производится адаптация прибора к условиям измерения, что позволяет устранить влияние аддитивных, мультипликативных составляющих погрешности и повысить точность измерения.

2. Разработана математическая модель пирометра, реализующая предлагаемый метод измерения; выполнен оптимизационный расчет, в результате которого найдены численные значения опорных воздействий, минимизирующих результирующую погрешность прибора.

3. Предложенное решение осуществляет комплексный подход к подавлению искажений, вносимых дестабилизирующими факторами в результат измерения. Во время работы пирометра не требуется

вводить коррекции на изменение условий измерения, изменение чувствительности ИК-преобразователя, смещение нуля измерительного усилителя, отпадает необходимость в линеаризации градуировочной характеристики, термостатировании первичного преобразователя и ряда других операций. Погрешность метода сводится к погрешности задания опорных воздействий на приемник излучения, причем процесс измерения становится независимым от обстановки функционирования прибора.

4. Разработан пирометр частичного излучения П-400 с автоматической калибровкой, предназначенный для измерения температуры стеклянных элементов световых приборов. Пирометр прошел метрологическую аттестацию и производственные испытания. Рабочие образцы прибора переданы в промышленную эксплуатацию.

5. Преимуществами пирометра П-400 по сравнению с известными из литературы аналогами является способность уменьшать влияние на результат измерения многих помех и высокая точность измерения $1,5-4^{\circ}\text{C}$ в интервале температур от 50 до 400°C .

6. Разработанный метод бесконтактного измерения температуры и устройство для его осуществления может использоваться в стекольной, металлургической, химической, текстильной, бумажной и в других отраслях промышленности с неблагоприятными условиями эксплуатации измерительных приборов.

7. Метод бесконтактного измерения температуры и устройство для его осуществления защищены патентом Украины на изобретение.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Карпенко В. Г., Горшунова Н. Н., Чимисов Ю. М., Иванник Г. В. Пирометр П-400 // Тепловые приемники излучения: Тез. докл. VII Всесоюз. семинара по тепловым приемникам излучения. - Москва, 19-23 мая 1990 г. - С. 128-129.

2. Горшунова Н. Н., Иванник Г. В., Чимисов Ю. М. Установка для определения температурного профиля по ширине ленты стекла в печи отжига // Тепловые приемники излучения: Тез. докл. семинара по тепловым приемникам излучения: Санкт-Петербург, 1992 г. - С. 95-96.

3. Горшунова Н. Н., Иванник Г. В., Карпенко В. Г., Чими-

сов Ю.М. Особенности бесконтактного измерения температуры в стекольном производстве // Электрические методы и способы измерения температуры: Тез. докл. VII Международной научно-техн. конф. - Львов, 15 - 17 сентября 1992. - С. 40

4. Gorshunova N., Ivannik G. Portable microprocessor infrared non-contact thermometer for glass. // XVI International Congress on Glass: Bol. Soc. Ceram. Vid. 31 - C(1992). - Madrid, October 4-9, 1992. - Vol. 6. - P. 381-385.

5. Gorshunova N., Ivannik G., Chimisov Y. Devices for non-contact temperature control of glass under production and laboratory conditions // Там же. - P. 375-379.

6. Иванник Г.В. Математическая модель ИК - пирометра, функционирующего в режиме автоматической калибровки // Метрологічне забезпечення температурних та теплофізичних вимірювань: Тез. допов. V Науково-техн. конф., 31 травня - 2 червня 1993 р. - Харків. - С. 75-76.

7. Карпенко В.Г., Иванник Г.В., Горшунова Н.Н. Улучшение метрологических характеристик моделей АЧТ // Метрологічне забезпечення температурних та теплофізичних вимірювань: Тез. допов. V Науково-техн. конф., 31 травня - 2 червня 1993 р. - Харків. - С. 37-38.

8. Иванник Г.В. Повышение точности измерения температуры ИК-пирометрами // Современные технологические процессы в литейном производстве: Тез. докл. конф., 8-10 июня 1993 г. - Киев. - С. 44.

9. Иванник Г.В. Бесконтактное измерение температуры при организации производства новых строительных изделий из стекла // Строительные материалы, изделия и конструкции со специальными эксплуатационными свойствами: Тез. докл. республиканского семинара, 28-29 сентября 1993 г. - Киев. - С. 43.

10. Пат. 2024825 (РФ). Сканирующее устройство для измерения профиля температуры ленты расплавленного или нагретого вещества / Горшунова Н.Н., Иванник Г.В., Чимисов Ю.М., Миرون В.Л. - Оpubл. в Б.И. - 1994. - №23.

11. Пат. 7482 (Украина). Способ бесконтактного измерения температуры и устройство для его осуществления / Горшунова Н.Н., Иванник Г.В., Карпенко В.Г., Чимисов Ю.М. - Заявл. 23.02.94.

Method of non-contact temperature measurement of glass with automatic calibration made by giving equivalent to black body radiation signals on sensor is suggested. The method reduces influence of many interference and improves a device accuracy. Mathematical model of pyrometer is created and its parameters are optimized. It is determined, a measurement error depends in general on accuracy of calibration signals which are equivalent to blackbody radiation and almost doesn't depend on measurement conditions. The produced pyrometers functioning according to this method have been put into practice. 11 scientific works containing 2 patents for inventions are published on the thesis subject.

Предложен метод бесконтактного измерения температуры с автоматической калибровкой, осуществляемой подачей эквивалентных излучению абсолютно черного тела воздействий на первичный преобразователь. Метод позволяет уменьшить влияние многих помех на результат измерения и улучшить точность прибора. Разработана математическая модель пирометра и оптимизированы ее параметры. Установлено, что погрешность измерения в основном определяется точностью задания эквивалентных излучению абсолютно черного тела калибровочных воздействий и практически не зависит от условий измерения. Осуществлено промышленное внедрение изготовленных пирометров, функционирующих по данному методу измерения. По теме диссертации опубликовано 11 научных работ, включая 2 патента на изобретения.

Ключові слова:

температура, теплове випромінювання, енергетична яскравість, випромінювальна здатність, абсолютно чорне тіло, пирометр, автоматична калібрівка, вимірювання, похибка, скло.

Подписано к печати 17.10.1995г. . Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл.-печ.лист 1,0. Уч.-изд.лист 1,0.
Тираж 100. Заказ 421.

Полиграф.уч-к Института электродинамики НАН Украины.
252037, Киев-37, проспект Победы, 66.

447807

Ag

32433
AB 33.433