



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Факультет А «Ракетно-космической техники»  
Кафедра АЗ «Космические аппараты и двигатели»  
Дисциплина «Программное обеспечение измерительных процессов»

Отчёт  
о научно - исследовательской практике.  
Методы регистрации данных.

Выполнила: Толкачёва В.М.  
Группа АЗМ31  
Проверил: Баранов А.А.

Санкт-Петербург  
2018г.

# Содержание

|   |    |
|---|----|
| Содержание .....                                | 2  |
| Введение .....                                  | 3  |
| 1 Методы регистрации данных .....               | 4  |
| 2 Контактные методы .....                       | 6  |
| 2.1 Термометры расширения .....                 | 6  |
| 2.2 Жидкостные манометрические термометры ..... | 9  |
| 2.3 Термометры сопротивления .....              | 10 |
| 2.4 Термоэлектрические термометры .....         | 11 |
| 3 Бесконтактные методы .....                    | 13 |
| 3.1 Пирометры .....                             | 13 |
| 3.2 Видеохроматический метод .....              | 13 |
| Список использованных источников .....          | 16 |

## **Введение**

Процессы теплообмена излучением играют важную роль в различных областях современной техники и технологии. В большинстве высокотемпературных агрегатов основное количество теплоты передаётся объектам нагрева путём теплообмена излучением.

Роль теплообмена излучением заметно возрастает по мере повышения температуры и других рабочих параметров тел и сред. Одновременно возрастают требования к точности расчета теплообмена с целью обеспечения надежности и высокой эффективности работы промышленных агрегатов, в которых протекают различные технологические процессы. В данной работе будут рассмотрены основные методы определения параметров температурного поля.

# 1 Методы регистрации данных.

Температурой называется статистическая величина, характеризующая тепловое состояние тела и пропорциональная средней кинематической энергии молекул тела.

Измерение температуры связано с преобразованием сигнала измерительной информации (температуры) в какое-либо свойство, связанное с температурой. Для практических целей, связанных с измерением температуры, принята Международная температурная шкала (МТШ-90) (рис.1), которая является обязательной для всех метрологических органов. Она основывается на ряде воспроизводимых состояний равновесия (реперных точек) некоторых веществ, которым присвоены определенные значения температуры.

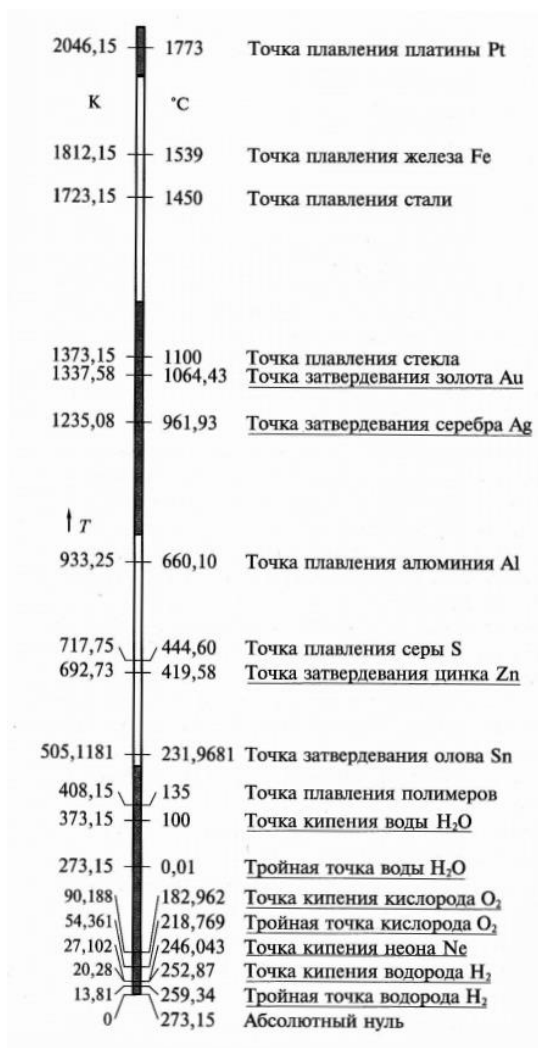


Рисунок 1 – Международная Температурная шкала (МТШ-90) с реперными точками

Для измерения температуры наибольшее распространение получили следующие методы, основанные:

1. на тепловом расширении жидких, газообразных и твердых тел (термомеханический эффект);
2. изменении давления внутри замкнутого объема при изменении температуры (манометрические);
3. изменении электрического сопротивления тел при изменении температуры (терморезисторы);
4. термоэлектрическом эффекте;
5. использовании электромагнитного излучения нагретых тел.

Методы измерения температуры делятся на 2 большие группы: контактные и бесконтактные. Существуют два основных способа для измерения температур — контактные и бесконтактные. Контактные способы основаны на непосредственном контакте измерительного преобразователя температуры с исследуемым объектом, в результате чего добиваются состояния теплового равновесия преобразователя и объекта. Этому способу присущи свои недостатки. Температурное поле объекта искажается при введении в него термодатчика. Температура преобразователя всегда отличается от истинной температуры объекта. Верхний предел измерения температуры ограничен свойствами материалов, из которых изготовлены температурные датчики. Кроме того, ряд задач измерения температуры в недоступных вращающихся с большой скоростью объектах не может быть решен контактным способом.

Бесконтактный способ основан на восприятии тепловой энергии, передаваемой через лучеиспускание и воспринимаемой на некотором расстоянии от исследуемого объема. Этот способ менее чувствителен, чем контактный. Измерения температуры в большой степени зависят от воспроизведения условий градуировки при эксплуатации, а в противном случае появляются значительные погрешности.

Вышеупомянутые методы и были изучены в ходе работы.

## 2 Контактные методы

### 2.1 Термометры расширения

Термометры расширения нашли широкое распространение в практике контактных измерений температуры. Основные типы механических контактных термометров, их метрологические характеристики, преимущества, недостатки и область применения представлены в табл.1.

Таблица 1. – Основные метрологические характеристики механических контактных термометров

| Наименование прибора                       | Тип прибора                     | Пределы измерений, °C | Погрешность измерения, % | Инерционность | Преимущества  | Недостатки  | Область применения  |
|--|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|---------------|---|---|---|
| <b>Металлические термометры расширения</b> | Дилатометрические               | 0...1000              | ±5                       | Большая       | Дешевые, надежные, малое время срабатывания; очень большие перестановочные усилия                                 | Малая точность, высокая инерционность                                 | Температурные выключатели                                 |
|  | Биметаллические                 | 0...500               | ±5                       | »             | Дешевые, надежные; большие перестановочные усилия   | Низкая точность   | Оценочный контроль температуры, температурные выключатели |
| <b>Жидкостные термометры</b>               | Жидкостные стеклянные           | -55...+600            | ±1                       | »             | Очень дешевые   | Малая механическая прочность, нет дистанционности                     | Лабораторные термометры, бытовые термометры               |
|  | Жидкостные манометрические      | -30...+600            | ±1                       | »             | Дешевые, надежные, не требуют внешних источников энергии; дистанционность до 50 м, большие перестановочные усилия | Температура соединительного капилляра влияет на показания прибора     | Промышленные термометры, термореле                        |
|  | Конденсационные манометрические | 0...400               | ±1                       | Малая         | То же   | Нелинейная статическая характеристика                                 | То же   |
| <b>Газовые термометры</b>                  | С гелиевым заполнением          |                       |                          |               | Принцип измерения соответствует определению термодинамической температуры   | Малая механическая прочность, большая трудоемкость процесса измерения | Поверочные (калибровочные) работы                         |

Жидкостные стеклянные термометры конструктивно подразделяются на палочные (рис. 2, а) и технические со вложенной шкалой (рис. 2, б). Принцип их действия основан на зависимости между температурой и объемом термометрической жидкости, заключенной в стеклянной оболочке. Жидкостный термометр состоит из стеклянной оболочки 1, капиллярной

трубки 3, запасного резервуара 4 и шкалы 2. Термометрическая жидкость заполняет резервуар и часть капиллярной трубки. Свободное пространство в капилляре заполняется инертным газом или из него удаляется воздух.

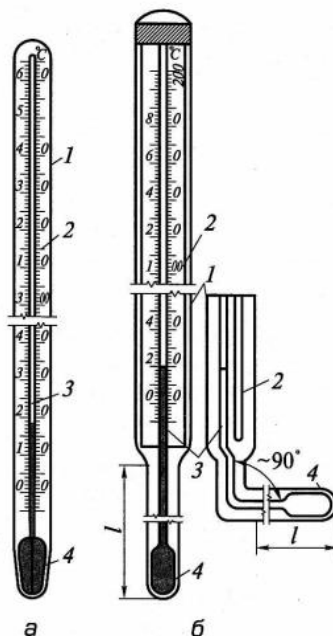


Рисунок 2 – Жидкостные стеклянные термометры: а – палочный; б – технический с вложенной шкалой; 1 – стеклянная оболочка; 2 – шкала; 3 – капиллярная трубка; 4 – запасной резервуар

В качестве термометрической жидкости применяют органические заполнители: толуол, этиловый спирт, керосин, пентан. Наиболее широкое распространение получили термометры с ртутным наполнением. Это объясняется свойствами ртути находиться в жидком состоянии в широком диапазоне температур и не смачивать стекло, что позволяет использовать капилляры с небольшим диаметром канала (до 0,1 мм) и обеспечивать высокую точность измерения. Так, ртутные образцовые термометры 1-го разряда имеют погрешность 0,002...2°C.

Биметаллические и дилатометрические термометры основаны на свойстве твердых тел в различной степени изменять свои линейные размеры при изменении их температуры.

На рис. 3, а представлена конструкция биметаллического термометра, в котором в качестве термочувствительного элемента используется

двухслойная пластинка, состоящая из металлов с существенно различными коэффициентами линейного расширения: латуни 1 и инвара 2. При увеличении температуры свободный конец пластины будет изгибаться в сторону металла с меньшим коэффициентом, по величине этого перемещения судят о температуре.

Данный тип устройств часто используется как термореле в системах сигнализации и автоматического регулирования, а также в качестве температурных компенсаторов в измерительных устройствах, например в радиационных пирометрах, манометрических термометрах и т. п.

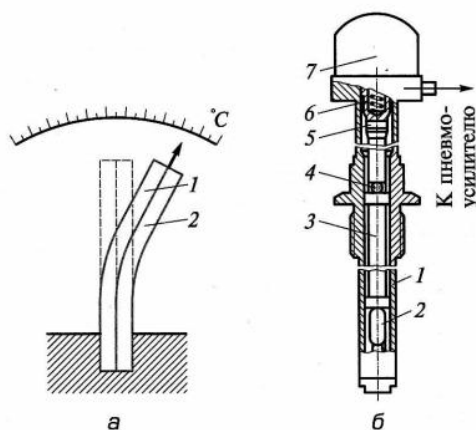


Рисунок 3 – Биметаллические и dilatометрические термометры:

а – биметаллический: 1 – латунь; 2 – инвар; б – dilatометрический: 1 – корпус;  
2 – стержень; 3 – трубка; 4 – шарик; 5 – толкатель; 6 – пружина; 7 – преобразователь

В корпусе 1, изготовленном из латуни (нержавеющей стали) расположены трубка 3 и стержень 2, выполненный из инвара (кварца). Стержень 2 через трубку 3 и толкатель 5 с помощью пружины 6 постоянно поджимается к нижнему концу корпуса 1. Шарик 4 исключает появление люфтов между стержнем и компенсационной трубкой, которая выполнена также из латуни и предназначена для исключения температурной погрешности при установке на объектах с различной толщиной тепловой изоляции. Изменение разности удлинений корпуса 1 и стержня 2, пропорциональное изменению температуры измеряемой среды, трансформируется в пневматический сигнал в преобразователе 7,



усиливается и поступает на регистрирующий прибор. Диапазон измеряемых ими температур от -30 до +1000 °С.

## 2.2 Жидкостные манометрические термометры

Основаны на использовании зависимости между температурой и давлением термометрического вещества (газа, жидкости), заполняющего герметически замкнутую термосистему термометра. Термосистема (рис.4) состоит из термобаллона 4, капилляра 5 и манометрической одно- или многовитковой пружины 6. Капилляр 5 соединяет термобаллон с неподвижным концом манометрической пружины. Подвижный конец пружины запаян и через шарнирное соединение 7, поводок 3, сектор 2 связан со стрелкой прибора 1.

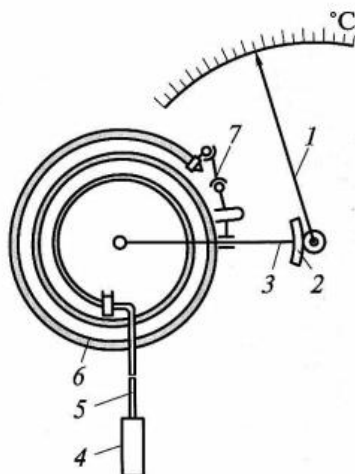


Рисунок 4 – Конструкция манометрического термометра:

1 — стрелка; 2 — сектор; 3 — поводок; 4 — термобаллон; 5 — капилляр;  
6 — пружина; 7 — шарнирное соединение

При изменении температуры среды изменяется давление термометрического вещества в замкнутом пространстве, в результате чего чувствительный элемент (манометрическая пружина) деформируется и ее свободный конец перемещается. Данное перемещение преобразуется в поворот регистрирующей стрелки относительно шкалы прибора.

## 2.3 Термометры сопротивления

Термометр сопротивления состоит из чувствительного элемента в виде терморезистора, защитного чехла и соединительной головки.

Принцип действия чувствительного элемента основан на использовании зависимости электрического сопротивления вещества от температуры. В качестве материалов для их изготовления используют чистые металлы: платину, медь, никель и полупроводники. Платина является основным материалом для изготовления термометров сопротивления. В качестве чувствительного элемента в полупроводниковых термометрах сопротивления используют германий, окиси меди и марганца, титана и магния.

Основные метрологические характеристики термометров сопротивления, их принципиальные схемы, преимущества, недостатки и область применения представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Основные метрологические характеристики электрических контактных термометров

| Характеристики           | Термометры сопротивления  |  | Термоэлектрические термометры  |   |
|--------------------------|---|--|--|---|
|                          | металлические   | полупроводниковые  | стандартные  | в тонком чехле  |
|                          |  |                           |  |                        |
| Пределы измерений, °C    | -200...+800   | -150...+450  | 0...1600   | 0...2500  |
| Погрешность измерения, % | ±0,5  | ±(1...5)   | ±0,5   | ±0,5  |
| Инерционность            | Большая   | Малая  | Большая  | Малая   |
| Преимущества             | Высокая точность, линейная статическая характеристика                               | Высокая чувствительность, возможны измерения в точке   | Дешевые, хорошая линейность статической характеристики                               | Прочность, малая тепловая инерция, линейная статическая характеристика                                      |
| Недостатки               | Невозможно измерение температуры в точке  | Нелинейная статическая характеристика, большой разброс параметров, низкая стабильность параметров во времени | Большая тепловая инерция   | Не известны   |
| Область применения       | Энергетика, непрерывные технологические процессы в химии, пищевая промышленность    | Энергетика, технологические процессы в химии, производство искусственных материалов, медицина                | Энергетика, непрерывные производства, пищевая промышленность                         | Энергетика, непрерывные производства, химия, медицина, строительство, производство искусственных материалов |

К достоинствам термометров сопротивления относятся:

1. высокая степень точности измерения температуры;
2. возможность градуировки шкалы прибора на любой температурный интервал в пределах допустимых температур;
3. возможность дистанционной передачи показаний и централизации контроля температуры путем присоединения нескольких термометров сопротивления через переключатель к одному измерительному прибору;
4. возможность автоматической записи измеряемой температуры.

## 2.4 Термоэлектрические термометры

Они состоят из термопары, защитного чехла и соединительной головки, они основаны на термоэлектрических свойствах чувствительного элемента.

Сущность термоэлектрического метода заключается в возникновении электродвижущей силы в спае двух разнородных проводников (например, хромель — конпель), температура которого отличается от температуры вторых выводов. Для получения зависимости термоЭДС от одной температуры  $t_2$  необходимо температуру  $t_1$  поддерживать на постоянном уровне, обычно при 0 или +20 °С. Спай, помещаемый в измеряемую среду, называют горячим, или рабочим, концом термопары, а спай, температуру которого поддерживают постоянной, — холодным, или свободным, концом.

Для увеличения чувствительности термоэлектрического метода измерения температуры в ряде случаев применяют термобатарею: несколько последовательно включенных термопар, рабочие концы которых находятся при температуре  $t_2$ , а свободные — при известной и постоянной температуре  $t_1$ .

В качестве термопар (ТП) наиболее часто применяют комбинации материалов, имеющих высокое значение развиваемой термоЭДС, стабильность характеристик при различных температурах,

воспроизводимость и линейную зависимость термоЭДС от температуры, простоту технологической обработки и получения спая, а именно: хромель-копелевые (ТВР), хромель-алюмелевые (ТХК), платинородий-платиновые (ТХА), вольфрам-рениевые (Тnn) и др.

Компенсация методических погрешностей в термоэлектрических термометрах, обусловленных изменением температуры холодного спая, осуществляется путем применения мостовых схем с термосопротивлением, питаемых стабилизированным постоянным напряжением.

### 3 Бесконтактные методы

О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называются пирометрами. Они позволяют измерять температуру в диапазоне от 100 до 6000 °С и выше.

#### 3.1 Пирометры

Принцип действия основан на измерении мощности теплового излучения объекта измерения преимущественно в диапазонах инфракрасного излучения и видимого света.

Принцип действия основан на измерении мощности теплового излучения объекта. Как известно все тела на Земле излучают тепловые волны в диапазонах инфракрасного излучения. Именно эти волны используются для определения температуры. Инфракрасный сенсор находящийся внутри пирометра воспринимает излучение и передает аналоговый сигнал на электронную схему. Сигнал оцифровывается и на его основе производится вычисления результата, который выводится на ЖК дисплей.

#### 3.2 Видеохроматический метод

Данный метод определения параметров температурного поля основан на цветовой пирометрии. Цветовая пирометрия основывается исключительно на качественном характере распределения энергии излучения по спектру.

Для определения цветовой температуры можно воспользоваться снимками, сделанными с помощью цифровой видеокамеры или фотокамеры.

Принципиальной особенностью метода является преобразование фотоизображения в символьный массив, которое может быть осуществлено с помощью одной из последних версий пакета MatLab. Математическое сопровождение позволяет получать за считанные минуты двумерный массив

температур по всему полю пламени, обрабатывать его, строя необходимые графические зависимости, определяя статистические характеристики и т.п.

### Принцип разделения цветов при цифровой регистрации

Цифровая камера регистрирует световой поток с помощью ПЗС матрицы и записывает его в файл. Форматов файлов для хранения изображения множество, но их основой является палитра. Самой распространенной палитрой в цифровой технике является палитра RGB. В палитре RGB получение различных цветов и оттенков достигается путем смешения трех основных цветов (красного, зеленого и синего) в разных пропорциях.

Обычно для кодирования каждого из каналов цвета используется один байт. Интенсивность цвета меняется от 0 до 255 (0 – черный, 255 – ярко красный, зеленый или синий). Каждый пиксель растрового изображения кодируется тремя числами, отображающими уровни красного, зеленого и синего.

Таким образом, преобразовав файл изображения в информацию о цветах каждого пикселя изображения, получаем три двумерных массива чисел, которые характеризуют принятое излучение, прошедшее через цветовые фильтры.

Во время эксперимента информация записывается на карту памяти в фотокамере, далее мы переносим ее на компьютер при помощи USB-шнура.

Обработав полученное изображение, получаем значение температур по двум координатам, что позволяет построить поле температур. Преимущество метода состоит в том, что изображение факела на кадре может подвергаться измерениям сколь угодно раз в различных точках и по различным направлениям. Допускается увеличение изображения в избранной области факела до величины, ограниченной размерами пикселя, т.е. с разрешением до 20-30 мкм, в зависимости от устанавливаемой глубины резкости. Разработана специальная компьютерная программа обработки опытного материала.

Современные цифровые фотоприемники позволяют организовать, без каких-либо дополнительных устройств адаптацию и передачу зафиксированного изображения на компьютер. Цифровые измерительно-информационные устройства обладают существенно более высоким уровнем помехозащищенности, уровнем потери информации, минимальными погрешностями при ее обработке.

Второй принципиальной особенностью разработанного метода является преобразование изображения в символьный массив, которое может быть осуществлено с помощью одной из последних версий пакета Matlab. Разработанное математическое сопровождение позволяет получать за считанные минуты двумерный массив температур по всему полю пламени, обрабатывать его, строя необходимые графические зависимости, определяя статистические характеристики и т.п.

Как и в традиционном измерении, перед экспериментами необходимо получить тарировочную зависимость с помощью, например, эталонной лампы или используя другой источник лучистого потока с известными характеристиками, установить известным способом «баланс белого». В отличие от традиционных измерений, когда процедура должна проводиться регулярно, перед каждой серией опытов, здесь достаточно получить ее один раз, так как тарировка является характеристикой фотоаппарата.

Таким образом, при высокой точности и достоверности сигнала, рассматриваемый метод, по сравнению с традиционными, является более быстрым методом (время получения информации снижено, примерно, на два порядка), и при некоторой доработке может быть использован в системах реального времени.

Недостатком данного метода является невозможность определения температур ниже  $1000^{\circ}\text{C}$ .

## **Список использованных источников**

1. Магунов А.Н. Спектральная пирометрия, — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. — 248 с.
2. Линевег Ф. Измерение температур в технике. Справочник. — Москва «Металлургия», 1980
3. Сосновский А. Г., Столярова Н. И. Измерение температур. — М.: Комитет стандартов, мер и измерительных приборов, 1970. — С. 257.
4. Измерение температуры. Информационный ресурс по контрольно-измерительным приборам и автоматике: <http://www.kipia.info/bibliotek/> (дата обращения: 19.05.18).
5. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Энергия, 1978, — 704 с.
6. Линевег Ф. Измерение температур в технике. Справочник. Пер. с нем., М.: Metallurgiya, 1980.