



Министерство образования
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Металлургические технологии»

МЕТОДЫ ПИРОМЕТРИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы

Минск 2006

Кафедра «Металлургические технологии»

МЕТОДЫ ПИРОМЕТРИИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Металлургическая теплотехника и теплоэнергетика»
для студентов специальностей
1-36 01 05 «Машины и технология обработки
материалов давлением»,
1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»,
1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка»,
1-42 01 02 «Порошковая металлургия,
композиционные материалы, покрытия»

Минск 2006

УДК 669.04
ББК 34.3 я 7
М 54

Составители:

В.И. Тимошпольский, И.А. Трусова, Г.А. Климович, П.Э. Ратников

Рецензенты:

Н.И. Иваницкий, Б.М. Немененок

Методические указания к выполнению лабораторной работы предназначены для закрепления и углубления теоретических знаний, полученных при изучении лекционного материала по дисциплине «Металлургическая теплотехника и теплоэнергетика», а также для приобретения практических навыков по выполнению теплотехнических измерений и расчетов.

© БНТУ, 2006

В в е д е н и е

Целью лабораторной работы является закрепление теоретического материала курса, а также ознакомление студентов с методиками измерений и исследований теплофизических процессов, протекающих в агрегатах металлургического производства. Большое внимание уделяется приобретению студентами навыков ведения самостоятельной научно-исследовательской работы, анализа и обобщения полученных результатов.

Для осмысленного выполнения работы студенты должны предварительно изучить теоретические положения по изучаемому вопросу, методику исследования, принцип работы приборов и оборудования.

Перед началом работы студенты обязаны пройти инструктаж по технике безопасности и расписаться в соответствующем журнале.

Лабораторная работа проводится под руководством преподавателя и инженера.

Студенты, пропустившие лабораторную работу, выполняют ее в конце семестра в дополнительное время по расписанию кафедры. Студенты, которые не защитили лабораторную работу в установленный срок, не получают зачет и не допускаются к экзаменам.

ПРАВИЛА ОХРАНЫ ТРУДА И ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать следующие требования:

1. Лабораторные работы проводятся по подгруппам, не превышающим 12–15 человек.
2. Перед выполнением лабораторных работ студенты обязаны ознакомиться с правилами охраны труда и противопожарной безопасности в лаборатории и на рабочих местах, расписаться в журнале регистрации инструктажа по охране труда.

3. Преподаватель, ведущий занятия, обязан перед началом каждой лабораторной работы напомнить студентам о правилах охраны труда и безопасных приемах работы на лабораторном оборудовании.

4. При работе с электрооборудованием студенты обязаны выполнять правила электробезопасности и пользоваться предусмотренными для этой цели защитными средствами.

5. Студенты могут работать с приборами и оборудованием только под наблюдением преподавателя или лаборанта.

6. Студентам запрещается включать приборы и механизмы самостоятельно, без наблюдения преподавателя и лаборанта.

7. Перед проведением испытаний студенты по настоящему практикуму и соответствующим инструкциям обязаны ознакомиться с работой лабораторного оборудования.

8. К лабораторным работам допускаются студенты, овладевшие правилами и порядком их выполнения.

9. По окончании работы следует тщательно убрать свое рабочее место.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Цель работы: изучить различные методы измерения температуры, устройство отдельных термометров и принцип их работы.

Теоретическая часть

Понятие о температуре

Одним из основных параметров, определяющих ход металлургических процессов, является температура. Работа металлургических агрегатов характеризуется температурой металла, шлака, топлива, дымовых газов, воздуха, кладки и элементов рабочего пространства. Точное и надежное измерение данной величины в значительной мере определяет качество выпускаемой продукции и эффективность автоматизированных систем управления технологическим процессом. Многообразие задач предопределило появление большого числа различных методов и средств измерения температуры.

Разработкой методов и средств измерения температуры в различных сферах науки и промышленности занимается область измерительной техники, называемая *пирометрией*.

Температура может быть определена как параметр теплового состояния. Значение этого параметра обуславливается средней кинетической энергией поступательного движения молекул данного тела. При соприкосновении двух тел, например газообразных, переход теплоты от одного тела к другому будет происходить до тех пор, пока значения средней кинетической энергии поступательного движения молекул этих тел не будут равны. С изменением средней кинетической энергии движения молекул тела изменяется степень его нагретости.

Температура – величина, которая характеризует степень нагретости тела. Если тела имеют разную температуру, то при их контакте происходит выравнивание внутренних энергий: тело, имеющее более высокую температуру, а значит, и большую среднюю кинетическую энергию молекул, передает свою теплоту телу, имеющему меньшую температуру, а значит, и меньшую среднюю кинетическую энергию до тех пор, пока их температуры не станут равными. Таким образом, температура является параметром, характеризующим как качественную, так и количественную сторону процессов теплообмена. Она характеризует также и направление передачи тепловой энергии.

Измерить температуру непосредственно, как плотность или линейные размеры, невозможно. Поэтому температуру определяют косвенно, по изменению физических свойств различных тел, так называемых термометрических параметров. **Термометрические параметры** – это параметры, которые однозначно и монотонно изменяются в зависимости от температуры. Такими параметрами являются объем, длина, электрическое сопротивление, термоэлектродвижущая сила, энергетическая яркость излучения и др.

Для определения изменяющегося уровня теплового состояния необходимо иметь непрерывный ряд значений выбранного свойства термометрического вещества, т. е. температурную шкалу. **Температурная шкала** – непрерывная совокупность чисел, линейно связанных с числовыми значениями данного, достаточно точно измеряемого физического свойства, являющегося однозначной и монотонной функцией температуры.

Существует множество разнообразных устройств для измерения температуры твердых, жидких и газообразных сред, использующих различные термометрические свойства – термометров. *Термометр* – это прибор, применяемый для измерения температуры путем преобразования ее в показания или сигнал, являющийся известной функцией температуры. Часть термометра, преобразующая тепловую энергию в другой вид энергии, называется *чувствительным элементом*.

Различают контактные и бесконтактные методы измерения температуры. При *контактных методах* измерения чувствительный элемент термометра приводится в непосредственное соприкосновение с исследуемой средой. При *бесконтактных* чувствительный элемент термометра и исследуемая среда не приводятся в непосредственное соприкосновение.

В табл. 1 приведены некоторые виды устройств, используемых для контроля температуры, и пределы их практического применения.

Т а б л и ц а 1

Пределы применения термометров для измерения температуры

Термометрическое свойство	Прибор	Пределы длительно-го применения, °С	
		Нижний	Верхний
1	2	3	4
Тепловое расширение	Жидкостные стеклянные термометры	-200	750
	Дилатометрические и биметаллические термометры	-60	1000
Измерение давления	Манометрические термометры	-150	600
Измерение электрического сопротивления	Электрические термометры сопротивления (металлические)	-200	750
	Электрические термометры сопротивления (полупроводниковые)	-270	300

1	2	3	4
Термоэлектрический эффект	Стандартные термоэлектрические термометры	-150	2500
	Нестандартные термоэлектрические термометры	-200	3000
Тепловое излучение	Пирометры спектрального отношения	300	4000
	Радиационные пирометры	30	2500
	Фотоэлектрические пирометры частичного излучения	450	4000
	Оптические пирометры частичного излучения	800	6000

Термометры стеклянные жидкостные

Термометры стеклянные жидкостные применяются для измерения температур в области от -200 до $+750$ °С.

Принцип действия стеклянных жидкостных термометров основан на тепловом расширении термометрической жидкости, заключенной в термометре. Показания жидкостного термометра зависят не только от изменения объема термометрической жидкости, но также и от изменения объема стеклянного резервуара, в котором находится жидкость. Таким образом, видимое изменение объема жидкости уменьшено на величину, соответственно равную увеличению объема резервуара.

Стеклянные термометры по своей конструкции бывают палочные и с вложенной шкалой (рис. 1).

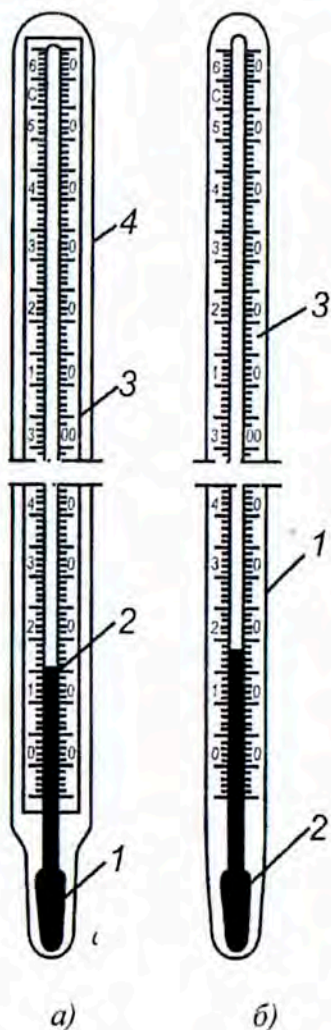


Рис. 1. Лабораторные ртутные термометры:
 а – с вложенной шкалой;
 б – палочный

Стекланный термометр с вложенной шкалой (см. рис. 1, а) состоит из стеклянного резервуара 1 и припаянного к нему стеклянного капилляра 2. Вдоль капилляра расположена шкала 3. Резервуар, капилляр и шкала помещаются в стеклянную оболочку 4, которая припаяется к резервуару.

Палочные стеклянные термометры (см. рис. 1, б) изготавливаются из толстостенных капилляров 1, к которым припаяется резервуар 2. Шкала 3 наносится на наружной поверхности капилляра.

Термометры с вложенной шкалой обладают большей инерционностью, чем палочные, но они более удобны для наблюдения температур в лабораторных и производственных условиях. Температура измеряемой среды, в которую помещены резервуар и часть капилляра, определяется по изменению объема термометрической жидкости. Это изменение оценивается по положению уровня жидкости в капилляре, который отградуирован в градусах Цельсия.

Для заполнения жидкостных термометров применяют ртуть, толуол, этиловый спирт, керосин, петролейный эфир, пентан и т. д. (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Свойства некоторых термометрических жидкостей

Жидкость	Средняя температура, °С		Возможные пределы применения, °С	
	затвердевания	кипения	нижний	верхний
Ртуть	-38,9	356,6	-35	600
Толуол	-97,2	109,8	-90	200
Этиловый спирт	-114,5	78,0	-80	70
Керосин	–	До 325	-60	200
Петролейный эфир	–	До 70	-120	25
Пентан	-200	36	-200	20

Из жидкостных термометров наибольшее распространение получили ртутные. Они обладают рядом преимуществ: ртуть не смачивает стекла, ее сравнительно легко получить в химически чистом виде и при нормальном атмосферном давлении она остается жидкой в широком интервале температур. К числу недостатков ртути относят сравнительно малый коэффициент расширения, что требует изготовления термометров с тонкими капиллярами.

Термометрическое вещество заполняет стеклянный резервуар и частично капилляр. В связи с тем, что температура кипения ртути при атмосферном давлении значительно меньше верхнего предела применения ртутных термометров в термометрах, предназначенных для измерения высоких температур, капилляр над ртутью заполняется сухим инертным газом, например азотом, под давлением с целью исключения образования паров ртути в капилляре. Давление газа тем больше, чем больше предел измерения.

Стеклянные термометры с органическими термометрическими жидкостями применяются в интервале температур от -200 до +200 °С. Однако эти жидкости смачивают стекло и поэтому требуют применения капилляров с довольно большим диаметром.

Стеклянные термометры в зависимости от назначения и области применения делятся на образцовые, лабораторные, технические, бытовые, метеорологические и др.

В зависимости от метода градуировки стеклянные жидкостные термометры делятся на две группы: термометры, градуируемые при полном погружении, и термометры, градуируемые при неполном погружении. Термометры первой группы применяются в лабораторных условиях и позволяют обеспечить более высокую точность. Термометры второй группы применяются для измерения температур в промышленности; глубина их погружения должна быть постоянной.

К достоинствам стеклянных жидкостных термометров относятся высокая точность измерений, простота и дешевизна. Недостатками являются относительно плохая видимость шкалы, практическая невозможность передачи показаний на расстояние, невозможность автоматической регистрации показаний, невозможность ремонта термометра, инерционность измерений.

Биметаллические термометры

Область применения биметаллических термометров лежит в интервале $-60...+300$ °С, в зависимости от марки используемого биметалла.

Твердые тела в различной степени изменяют свои линейные размеры при изменении их температуры. Данное свойство положено в основу принципа действия биметаллических термометров.

В качестве чувствительного элемента в биметаллических термометрах используется термобиметаллическая пластина (рис. 2), состоящая из двух слоев разнородных металлов 1 и 2, обладающих различными коэффициентами линейного расширения, например, инвар (64 % железа, 36 % никеля) – латунь (70 % меди, 30 % цинка) или инвар–сталь, сваренных между собой по всей плоскости соприкосновения. При нагреве такой пластины свободный конец изгибается в сторону металла с меньшим коэффициентом линейного расширения (инвар), и по величине этого перемещения судят о температуре.

Данный тип устройства часто используется как термореле в системах сигнализации и автоматического регулирования, а также в качестве температурных компенсаторов в измерительных устройствах.

К достоинствам биметаллических термометров относятся простота конструкции и дешевизна изготовления. Недостатками являются относительно невысокая точность измерений, плохая видимость шкалы, инерционность измерений.

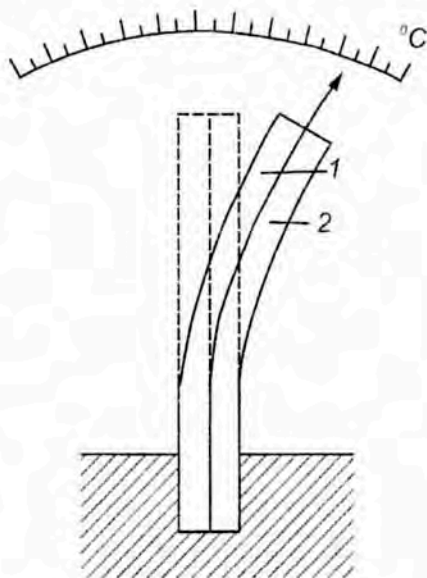


Рис. 2. Схема биметаллического термометра

Дилатометрические термометры

Термометры этого типа, несмотря на ряд достоинств (простота устройства, высокая чувствительность), для измерения температуры используются сравнительно редко. В основном они находят применение в качестве первичных измерительных преобразователей в системах автоматической регулировки температуры.

На рис. 3 представлена схема устройства дилатометрического термометра. Он состоит из металлической трубы (чувствительного элемента) 1, внутри которой находится стержень 2. Труба имеет коэффициент линейного расширения больший, чем стержень. Верхний конец трубы закреплен в штуцере 3. В головке 4 находится электроконтактное устройство, состоящее из рычага 5, соединенного со стержнем и контактами. Нижняя часть термометра погружается в среду, температура которой измеряется. При повышении тем-

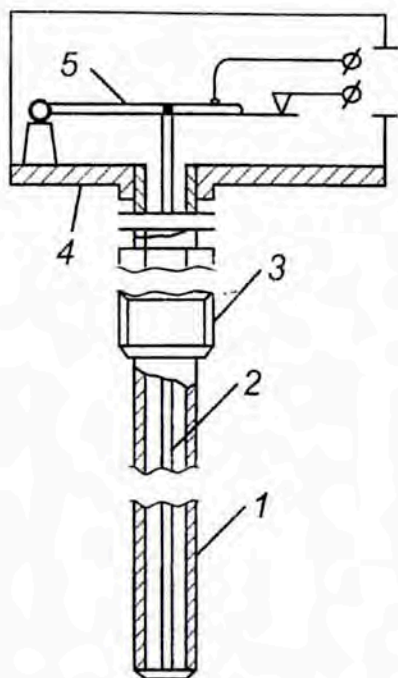


Рис. 3. Схема устройства дилатометрического термометра

ции, невысокая стоимость термометра, возможность передачи показаний на расстояние, возможность автоматической регистрации показаний.

пературы труба удлиняется больше, чем стержень, вследствие чего последний перемещается вниз. Полученное перемещение трансформируется в пневматический сигнал и поступает на регистрирующий прибор.

Для получения необходимой чувствительности дилатометрического термометра трубу изготавливают из материала с большим коэффициентом линейного расширения (латунь, сталь), а стержень из материала, коэффициент линейного расширения которого близок к нулю (инвар).

К достоинствам дилатометрических термометров относятся высокая чувствительность измерений, простота конструкции

Термометры манометрические

Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления термометрического вещества в герметически замкнутом объеме от температуры. Термосистема манометрического термометра (рис. 4) состоит из термобаллона 1, капилляра 2 и манометрической пружины, один конец которой соединен с капилляром, а другой, запаянный, соединен со стрелкой измерительного прибора 3.

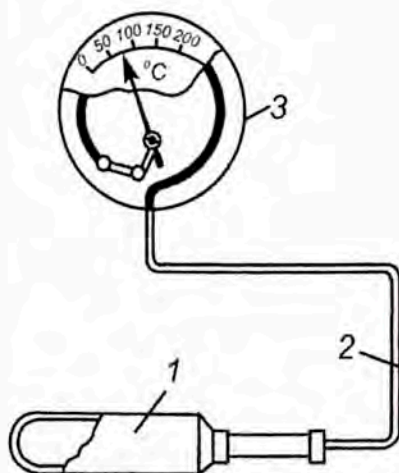


Рис. 4. Манометрический термометр

Манометрические термометры в зависимости от рабочего (термометрического) вещества, заполняющего термосистему, подразделяются на газовые, жидкостные и конденсационные. Манометрические термометры применяются для измерения температур от -150 до $+600$ $^{\circ}\text{C}$, конкретные диапазоны измерения определяются заполнителем термосистемы.

Термобаллон системы погружается в измеряемую среду, и рабочее вещество, находящееся в термобаллоне, принимает температуру измеряемой среды. При этом в термосистеме устанавливается давление, определяемое температурой исследуемой среды. При повышении температуры давление повышается, при уменьшении – понижается. Изменение давления рабочего вещества через гибкий капилляр передается на измерительный прибор, являющийся частью манометрического термометра. Измерительным прибором является пружинный манометр, рассчитанный на те диапазоны измерения давления, которые имеют место в термосистемах манометрических термометров. При погружении термобаллона в среду изменяется давление термометрического вещества в замкнутой термосистеме, чувствительным элементом которой является манометрическая пружина. Она деформируется, и ее свободный конец перемещается. Данное изменение положения пружины преобразуется в соответст-

вующее перемещение регистрирующей стрелки относительно шкалы прибора. Термобаллон изготавливают из нержавеющей стали, которая обеспечивает возможность контроля температуры химически агрессивной среды. Для защиты от механических повреждений капилляр, выполненный в виде медной или стальной трубки с внутренним диаметром 0,35 мм и наружным диаметром 2,5 мм, прокладывают в защитной оболочке.

Газовые манометрические термометры предназначены для измерения температур от -150 до $+600$ °С. В качестве рабочего вещества в газовых термометрах применяется азот. Зависимость давления газа от температуры при постоянном объеме описывается линейным уравнением

$$p_t = p_0(1 + \beta t),$$

где p_t – давление газа при измеряемой температуре; p_0 – давление газа при температуре 0 °С; β – температурный коэффициент расширения газа: $\beta = \frac{1}{273}$.

В связи с тем, что при изменении температуры за счет теплового расширения изменяется объем термобаллона, а также внутренний объем манометрической пружины, объем термосистемы не постоянен. Поэтому реальное уравнение шкалы несколько отличается от линейного. Но это отклонение незначительно, и поэтому можно считать шкалы газовых манометров линейными.

Диапазон изменения рабочего давления в термосистеме может быть увеличен путем увеличения начального давления азота.

Жидкостные манометрические термометры предназначены для измерения температуры в пределах от -150 до $+300$ °С. В качестве рабочего вещества, заполняющего термосистему, применяют ртуть, пропиловый спирт, метаксилол. Рабочее вещество жидкостных манометрических термометров практически несжимаемо. Поэтому изменение объема рабочей жидкости в термобаллоне при изменении температуры на величину, соответствующую диапазону измерения, вызовет такое увеличение давления в термосистеме, при котором манометрическая пружина изменит свой внутренний объем на величину изменения объема жидкости.

Конденсационные манометрические термометры предназначены для измерения температур в интервале от -50 до $+300$ °С. Термобаллон примерно на $\frac{3}{4}$ заполнен низкокипящей жидкостью, а остальная часть заполнена паром этой жидкости. Количество жидкости в термобаллоне должно быть таким, чтобы при максимальной температуре не вся жидкость переходила в пар. В качестве рабочей жидкости применяется фреон-22, пропилен, хлористый метил, ацетон. Капилляр и манометрическая пружина заполняются, как правило, другой жидкостью. Давление в термосистеме будет равно давлению насыщенного пара рабочей жидкости, определяемому температурой, при которой находится рабочая жидкость, т. е. температурой окружающей среды.

Проверка манометрических приборов производится с помощью образцовых стеклянных жидкостных термометров.

Манометрические термометры отличаются простотой устройства, возможностью дистанционной передачи показаний и автоматической записи. Одним из важных преимуществ является возможность их использования в пожаро- и взрывоопасных помещениях. К недостаткам относятся невысокая точность измерения, инерционность измерений, трудность ремонта при разгерметизации системы, ограниченное расстояние передачи данных и во многих случаях большие размеры термобаллона.

Термометры сопротивления

Принцип действия термометров сопротивления основан на способности различных материалов (в первую очередь металлов) изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Зная зависимость электрического сопротивления от температуры, по изменению величины сопротивления термометра судят о температуре среды, в которую он погружен. Выходным параметром устройства является электрический сигнал, который может быть измерен с высокой точностью, передан на большие расстояния и непосредственно использован в системах автоматического контроля и регулирования.

В качестве материалов для изготовления чувствительных элементов термометров сопротивления используются чистые металлы:

платина (интервал температур от -260 до $+750$ °С), медь (интервал температур от -50 до $+180$ °С), никель (интервал температур от -60 до $+180$ °С) и полупроводники.

Параметр, характеризующий изменение электрического сопротивления с температурой, называется температурным коэффициентом электрического сопротивления α , который определяется по

формуле $\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot t}$, где t – температура материала, °С; а

R_t, R_0 – электросопротивления при измеряемой температуре t и 0 °С соответственно, Ом. Чистые металлы имеют практически линейную зависимость электросопротивления от температуры и положительный температурный коэффициент, т. е. повышение температуры ведет к увеличению сопротивления. Сопротивление полупроводников с увеличением температуры резко уменьшается, т. е. они имеют отрицательный температурный коэффициент. Они в основном применяются для измерения низких температур.

Материал чувствительного элемента термометра сопротивления должен иметь высокое удельное сопротивление, что обеспечивает небольшие габариты термометра; значительный коэффициент α для получения высокой чувствительности устройства; хорошую воспроизводимость состава; стойкость к агрессивному воздействию окружающей среды при повышенных температурах; стабильность характеристики во времени; линейность характеристики; дешевизну. В настоящее время для изготовления термометров сопротивления применяют следующие металлы: медь, платина и никель.

Медь является дешевым материалом, имеющим высокую степень чистоты, который может быть получен в достаточных количествах. Сопротивление меди изменяется с температурой практически линейно. Из-за своей окисляемости медь используется для измерения температур не выше 200 °С. К числу недостатков меди можно отнести малое удельное сопротивление, что влияет на габариты прибора. С целью снижения окисления для медных проволок необходима изоляция.

Никелевые термометры сопротивления применяются для контроля температур в интервале от -60 до $+180$ °С. Никель обладает большим удельным сопротивлением и высоким температурным ко-

эффицентом, что позволяет получать малогабаритные термометры с большим коэффициентом преобразования.

Чистая платина является одним из самых распространенных металлов, применяемых для изготовления термометров сопротивления. Сопротивление платины имеет сложную нелинейную зависимость от температуры. Одним из недостатков платины является ее загрязнение в восстановительной атмосфере парами металлов, оксидами углерода. Особенно сильно это проявляется при высоких температурах.

Кроме металлов для изготовления термометров сопротивления применяют также полупроводниковые материалы: германий, оксиды меди, кобальта и их смеси. Большинство полупроводниковых материалов имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления и очень большое удельное сопротивление. Поэтому чувствительные элементы термопреобразователей можно изготавливать очень малыми по размерам. Зависимость полупроводникового термопреобразователя от температуры

$$R_t = R_0 \exp\left(\beta \frac{T_0 - T}{T_0 T}\right).$$

Для решения различных задач термометры сопротивления делятся на эталонные, образцовые и рабочие, которые в свою очередь подразделяются на лабораторные и технические.

Чувствительный элемент металлического термометра сопротивления состоит из проволоки или ленты, которая намотана на каркас из стекла, кварца, керамики, слюды или пластмассы. От чувствительного элемента идут выводы к зажимам головки термометра, к которым присоединяются провода, идущие затем к измерительному прибору. На рис. 5 представлен пример устройства термометра сопротивления: чувствительный элемент термометра выполняется в виде спирали из проволоки 1, помещенной в четырехканальный керамический каркас 2. Для защиты от механических повреждений и вредного воздействия окружающей среды чувствительный элемент помещен в защитную оболочку 3, которая уплотнена керамической втулкой 4. Выводы 5 чувствительного элемента проходят через изоляционную керамическую трубу 6. Все эти элементы находятся в защитном чех-

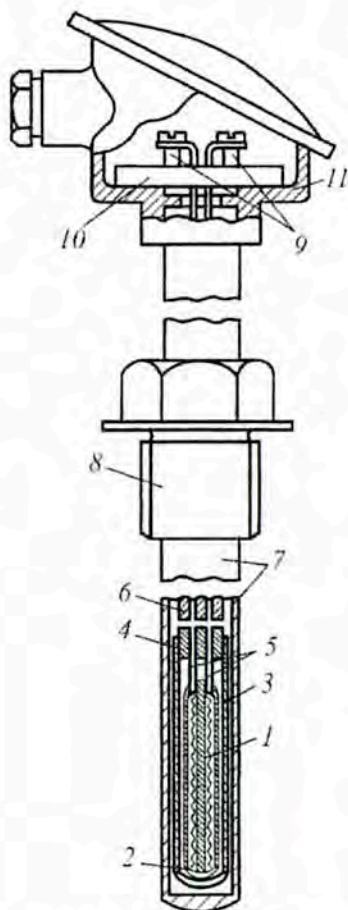


Рис. 5. Устройство термометра сопротивления

локи. Чувствительный элемент в керамическом каркасе герметизируется специальной глазурью 5. Такая конструкция обеспечивает хорошую герметичность ввиду малой газопроницаемости керамики каркаса и глазури.

При измерении температуры термометрами сопротивления возникает необходимость измерения сопротивления термометра, который подсоединяется к измерительному прибору соединительными проводами. Поэтому сопротивление, подключенное к измеритель-

ле 7, установленном на объекте измерения с помощью резьбового штуцера 8. На конце защитного чехла располагается соединительная головка 9 термометра. В головке находится изоляционная колодка 10 с винтами 11 для крепления выводов термометра и подключения соединительных проводов. Головка закрывается крышкой. Соединительные провода выводятся через штуцер. Для уменьшения влияния внешних электрических и магнитных полей чувствительные элементы термометров сопротивления делают с безындуктивной намоткой.

Чувствительный элемент платиновых термометров (рис. 6) состоит из двух или четырех платиновых спиралей 1, расположенных в капиллярных каналах керамического каркаса 2. Каналы каркаса заполняются керамическим порошком 3, который служит изолятором. К концу спиралей припаяны выводы 4 из платиновой или иридиевой проволоки.

ному прибору, больше, чем сопротивление термометра. Чтобы исключить влияние этого дополнительного сопротивления на результаты измерения, используют различные способы, которые зависят от схемы подключения термометра и метода измерения. Сопротивление соединительных проводов с помощью специального дополнительного сопротивления должно быть подогнано до значения, при котором производилась градуировка прибора (указывается в паспорте прибора). Для измерения сопротивлений используются следующие методы и измерительные схемы: компенсационный метод, одно- и двустовые измерительные схемы, логометры.

Термометры сопротивления используются для измерения температуры воздуха, газообразного и жидкого топлива, кислорода, охлаждающей воды, пара, низкотемпературных продуктов сгорания различных металлургических агрегатов.

К числу достоинств термометров сопротивления можно отнести высокую степень точности измерения температуры; возможность централизации контроля температур; возможность включения термометров в системы автоматического контроля и регулирования, малую инерционность измерений.

Пирометры

О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем выше температура тела, тем большую энергию оно излучает.

Бесконтактные методы измерения температуры теоретически не имеют верхнего предела измерения. Серийно выпускаемые приборы позволяют контролировать температуру от 30 до 6 000 °С.

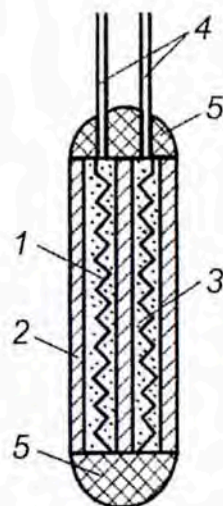


Рис. 6. Чувствительный элемент платинового термометра сопротивления

Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называют *пирометрами*. Одним из главных достоинств данных приборов является отсутствие влияния измерителя на температурное поле нагретого тела, так как в процессе измерения они не вступают в контакт друг с другом.

Все тела излучают электромагнитные волны различной длины λ и частоты ν . Электромагнитное излучение, возбуждаемое тепловым движением молекул, называют *тепловым излучением*. Тела характеризуются либо непрерывным спектром излучения (твердые или жидкие вещества), либо селективным (газы). *Интегральное излучение* – это суммарное излучение, испускаемое телом во всем спектре длин волн. *Монохроматическим* называют излучение, испускаемое при определенной длине волны. Физические объекты имеют различные оптические свойства: они по-разному поглощают, отражают и пропускают тепловые лучи.

На основании законов об излучении тел разработаны следующие конструкции пирометров: пирометр суммарного излучения – измеряется полная энергия излучения; пирометр частичного излучения – измеряется энергия в ограниченном фильтром участке; пирометры спектрального отношения – измеряется отношение энергий фиксированных участков.

На рис. 7 представлена схема оптического квазимонохроматического пирометра с исчезающей нитью. Он предусматривает измерение температуры по спектральной энергетической яркости тела, т. е. по излучению при определенной длине волны. Для монохроматизации излучения применяется красный светофильтр.

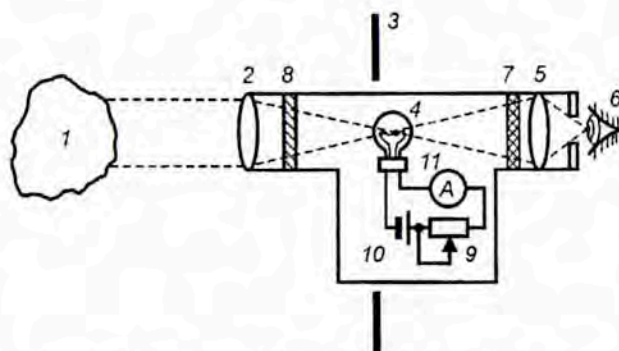


Рис. 7. Схема оптического квазимонохроматического пирометра с исчезающей нитью

Принцип действия пирометра основан на зависимости плотности потока монохроматического излучения от температуры.

Излучение от объекта измерения 1 проходит через объектив 2 и фокусируется в плоскости 3. В этой плоскости расположена нить пирометрической лампы 4. Изображение объекта измерения и нити пирометрической лампы может быть рассмотрено наблюдателем 6 через окуляр 5. Между нитью накаливания и окуляром расположен красный светофильтр 7. Между объективом и нитью пирометрической лампы может вводиться поглощающее стекло 8. Для изменения накала нити применяют реостат 9, который изменяет ток, проходящий через нить пирометрической лампы от источника питания 10. Значение силы тока измеряют прибором 11, отградуированным в значениях яркостной температуры.

Процесс измерения сводится к изменению накала нити пирометрической лампы, а значит, и ее яркости до тех пор, пока глаз наблюдателя не перестанет различать нить лампы на фоне объекта измерения. В этот момент производят отсчет температуры, так как спектральная яркость объекта измерения и яркость нити пирометрической лампы равны.

Данный тип приборов позволяет измерять температуру в широком диапазоне от 800 до 6 000 °С.

Пирометры излучения градуируются по абсолютно черному телу, поэтому при их применении в реальных условиях получаются значения температур, в большинстве случаев отличающихся от действительных значений и получивших название *условных температур*. Для перехода от условной температуры к действительной в показания пирометров вводятся соответствующие поправки.

Фотоэлектрические пирометры частичного излучения обеспечивают автоматическое непрерывное измерение и регистрацию температур. Их принцип действия основан на использовании зависимости интенсивности излучения от температуры в узком интервале длин волн спектра. В качестве приемников в данных устройствах используются фотодиоды, фоторезисторы, фотоэлементы и фотоумножители.

Фотоэлектрические пирометры частичного излучения делят на две группы: пирометры, в которых мерой температуры является непосредственно величина фототока приемника излучения; пирометры, которые содержат стабильный источник излучения, причем

фотоприемник служит лишь индикатором равенства яркостей данного источника и объекта.

На рис. 8 приведена схема фотоэлектрического пирометра, в котором в качестве приемника излучения применяется фотоэлемент. Поток от излучателя 1 линзой 2 и диафрагмой 3 объектива фокусируется на отверстии 7 в держателе светофильтра 5 таким образом, чтобы изображение визируемого участка поверхности излучателя перекрывало данное отверстие. В этом случае величина светового потока, падающего на катод фотоэлемента 6, расположенного за светофильтром, определяется яркостью излучателя, т. е. его температурой. В держателе светофильтра расположено еще одно отверстие 8, через которое на фотоэлемент падает поток от лампы 17. Световые потоки лампы 17 и излучателя 1 подаются на катод попеременно через отверстия 8 и 7, что обеспечивается с помощью вибрирующей заслонки 9. Возвратно-поступательное движение заслонки обеспечивается с помощью катушки возбуждения 10 и постоянного магнита 12. В вибраторе происходит перемагничивание стального якоря 11, который с частотой 50 Гц поочередно притягивается полюсами магнита 12 и перемещает заслонку 9. При различии световых потоков излучателя 1 и лампы 17 в токе фотоэлемента появится переменная составляющая, которая имеет амплитуду, пропорциональную разности данных потоков. Усилитель 13 обеспечивает усиление переменной составляющей, а фазовый детектор 14 – последующее ее выпрямление. Полученный выходной сигнал подается на лампу, что вызывает изменение силы тока накаливания. Это будет происходить до тех пор, пока световые потоки от двух источников не уравниваются. Следовательно, ток лампы обратной связи однозначно связан с яркостной температурой объекта измерения. В цепь лампы 17 включено калибровочное сопротивление 16, падение напряжения на котором пропорционально силе тока и измеряется быстродействующим потенциометром 15, снабженным температурной шкалой. Окуляр 4 обеспечивает наводку устройства на объект измерения и последующее ее выпрямление. Такие пирометры широко применяются для измерения температур в прокатном производстве. Время установлений показания прибора – около 1 с, погрешность – 1 %.

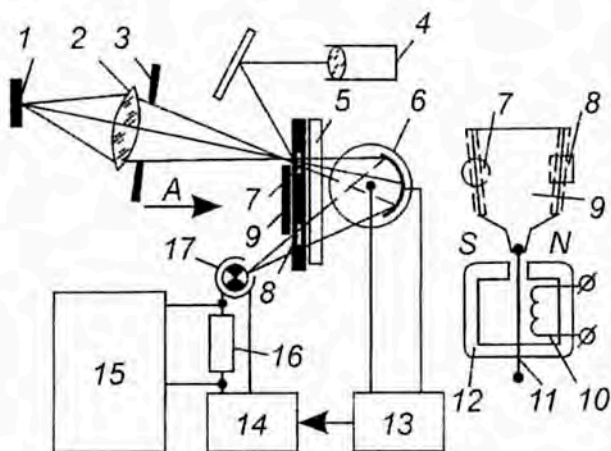


Рис. 8. Схема фотоэлектрического пирометра

Преимущества методов измерения температур по излучению: не требуют непосредственного контакта с измеряемой средой, тем самым не искажают температурное поле объекта измерения; верхний предел измерения пирометрами излучения не ограничен; методы очень чувствительны, измерения безынерционны. Недостатки методов: все методы пирометрии дают значения условной температуры, что ведет к достаточно большой погрешности измерений, сравнительно высокая стоимость изготовления таких приборов и сложность ремонта.

Пирометры излучения могут применяться без ограничений при измерении температуры твердых тел и жидких сред, которые имеют непрерывный спектр излучения, а также газов, имеющих линейчатый или полосатый спектр излучения.

Содержание отчета

Общие сведения о методах измерения температуры, принцип работы и схемы отдельных термометров. Выводы.

Литература

1. Metallургическая теплотехника: учебник для вузов. В 2 т. / В.А. Кривандин [и др.]. – М.: Metallургия, 1986.
2. Арутюнов, В.А., Миткалинный, В.И., Старк, С.Б. Metallургическая теплотехника. В 2 т. – М.: Metallургия, 1974.
3. Промышленные теплотехнологии: методики и инженерные расчеты оборудования высокотемпературных теплотехнологий машиностроительного и metallургического производства: учебник. В 5 т. Т. 3 / Под общ. ред. В.И. Тимошпольского. – Мн.: Высшая школа, 1998.
4. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы / А.М. Беленький [и др.]. – М.: Metallургия, 1981.
5. Иванова, Г.М., Кузнецов, Н.Д., Чистяков, В.С. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
6. Технические средства автоматизации / В.В. Кишнеv [и др.]. – М.: Metallургия, 1981.
7. Прибытков, И.А., Левицкий, И.А. Теоретические основы теплотехники. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.

Учебное издание

**МЕТОДЫ ПИРОМЕТРИИ
ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплине «Металлургическая теплотехника и теплоэнергетика»
для студентов специальностей

1-36 01 05 «Машины и технология обработки
материалов давлением»,

1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»,

1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка»,

1-42 01 02 «Порошковая металлургия,
композиционные материалы, покрытия»

Составители:

ТИМОШПОЛЬСКИЙ Владимир Исаакович

ТРУСОВА Ирина Александровна

КЛИМОВИЧ Галина Анатольевна

РАГНИКОВ Павел Энгелевич

Редактор Л.Н. Дубовик

Подписано в печать 29.05.2006.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,1. Тираж 100. Заказ 220.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛП № 02330/0131627 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Независимости, 65.