

А.А. Лысаков

**ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ
ОБСЛЕДОВАНИЙ В ЭНЕРГОАУДИТЕ**
**Методические указания для выполнения лабораторной
работы**

Ставрополь

2021

Приборы для проведения инструментальных обследований в энергоаудите / сост. А.А. Лысаков. – Ставрополь:, 2021. – 12 с.

Методические указания содержат теоретические сведения по составу, конструкции, принципу действия приборов для проведения инструментальных обследований в энергоаудите.

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника профиль Электроснабжение, студентов направления подготовки 35.03.06 - Агроинженерия профиль - Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве очной и заочной форм обучения, а также для инженерно-технических работников, осуществляющих свою деятельность в области энергоаудита и энергосбережения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией, назначением, принципом действия приборов для инструментального энергетического обследования; произвести первичные замеры.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с конструкцией, назначением, порядком работы, принципом действия приборов.
2. Произвести замеры параметров инструментальных обследований, данные занести в таблицу.
3. Ответить на контрольные вопросы.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пирометры - оптические приборы для измерения температуры главным образом непрозрачных тел по их излучению в оптическом диапазоне спектра (длины волн в видимой части составляет 0,4-0,76 мкм, в невидимой более 0,76 мкм). Совокупность методов определения с помощью пирометров высоких температур называют пирометрией.

Принцип действия пирометра заключается в измерении силы теплового излучения, исходящего от объекта преимущественно в диапазонах видимого света и инфракрасного излучения.

Изначально термин «пирометр» использовался для обозначения прибора, предназначенного для измерения температуры по яркости предельно нагретого предмета. На сегодняшний день понятие несколько расширилось, поскольку, с развитием технологий появились абсолютно новые приборы – инфракрасные пирометры.

Пирометры могут быть:

- Односпектральными. Такие пирометры принимают излучения только в одном спектральном диапазоне. Односпектральные пирометры в свою очередь подразделяются на радиационные (мощность теплового излучения переводится в температуру) и яркостные (в диапазоне красного света измеряются яркости эталонного объекта и объекта измерения). В эту подгруппу входят пирометры полного излучения.
- Мультиспектральными. Также их называют цветовыми или пирометрами спектрального отношения.

На основании законов излучения разработаны пирометры следующих типов:

1. пирометр суммарного (полного) излучения (ПСИ) – измеряется полная энергия излучения;
2. пирометр частичного (частотного) излучения (ПЧИ) – измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участки спектра;
3. пирометры спектрального отношения (ПСО) – измеряется отношение энергии фиксированных участков спектра.

Квазимонохроматические (оптические) пирометры. Действие этих переносных приборов основано на сравнении яркости монохроматического излучения двух тел - тела, температуру которого измеряют, и эталонного. В качестве последнего обычно используют нить лампы накаливания с регулируемой яркостью излучения. Наиболее распространенный прибор данной группы-пирометры с "исчезающей" нитью (рис. 1). Внутри телескопической трубки в фокусе линзы объектива находится питаемая от аккумулятора через реостат пирометрическая лампа с подковообразной нитью. Для получения монохроматического света окуляр снабжен красным светофильтром, пропускающим лучи только определенной длины волны (65-66 мкм). В объектив помещен серый поглощающий светофильтр, служащий для расширения пределов измерений.

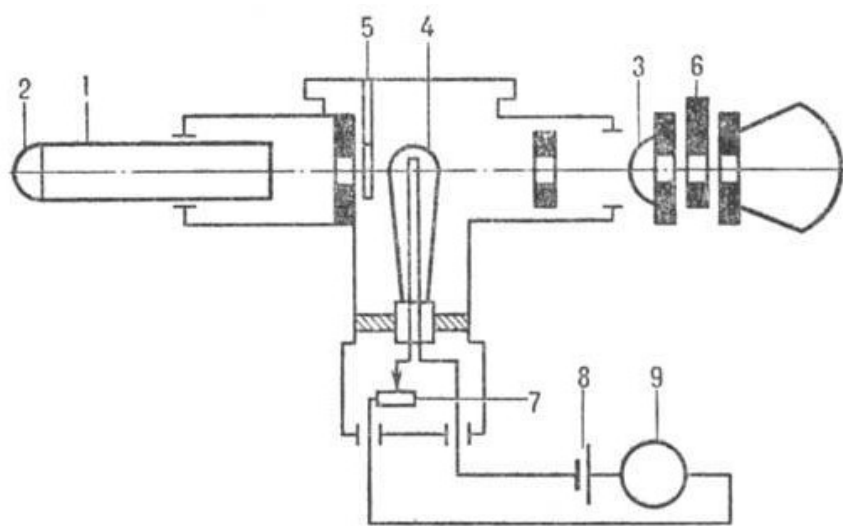


Рисунок 1 – Квазимонохроматический пирометр: 1 – трубка; 2,3 – линзы; 4 – лампа накаливания; 5,6 – серый и красный светофильтры; 7 – реостат; 8 – аккумулятор; 9 – милливольтметр.

При подготовке оптической системы к измерению трубку наводят на раскаленное тело и передвигают объектив до получения четкого изображения тела и нити лампы. Включив источник тока, реостатом регулируют яркость нити до тех пор, пока ее средняя часть не сольется с освещенным телом. В момент выравнивания яркостей тела и нити, когда последняя становится неразличимой, прибор показывает т. н. яркостную температуру тела (равна температуре абсолютно черного тела того же углового размера, что и излучающее тело, и дающего такой же поток излучения на данной длине волны). Эту температуру ($T_{я}$) отсчитывают по одной из шкал отградуированного в градусах милливольтметра: верхней-без серого светофильтра (для температур 800-1400⁰С) и нижней со светофильтром (для температур св. 1300⁰С). Погрешность до 1% от диапазона измерений. По известной $T_{я}$ истинную температуру тела определяют на основе законов теплового излучения.

Фотоэлектрические пирометры. В приборах различных типов чувствительными элементами служат фотоэлементы с внешним фотоэффектом, в которых фототок пропорционален энергии излучения волн определенного участка спектра. В пирометры этого типа (рис. 2) изображение раскаленного тела, температуру которого измеряют с помощью объектива и диафрагмы 2, создается в плоскости одного из отверстий диафрагмы 3, расположенной, наряду с красным светофильтром, перед фотоэлементом. Последний через другое отверстие этой диафрагмы освещается регулируемым источником света - электрической лампой. Благодаря колебаниям заслонки вибрационного модулятора фотоэлемент поочередно с частотой 50 Гц освещается раскаленным телом и лампой. При неравенстве освещенностей от них в цепи фотоэлемента возникает фототок, усиливаемый электронным усилителем. Его выходной сигнал изменяет ток накала лампы до выравнивания указанных освещенностей. Сила тока, однозначно связанная с яркостной температурой тела, на сопротивлении $R_{вых}$ преобразуется в напряжение, измеряемое автоматическим потенциометром, шкалы которого градуированы в градусах $T_{я}$. Фотоэлектрические пирометры выпускают одношкальными для измерения температур от 600 до 2000⁰С или двухшкальными (введен ослабляющий светофильтр) для определения более высоких температур; в первом случае погрешность не превышает 1%, во втором -2,5% от диапазона измерений.

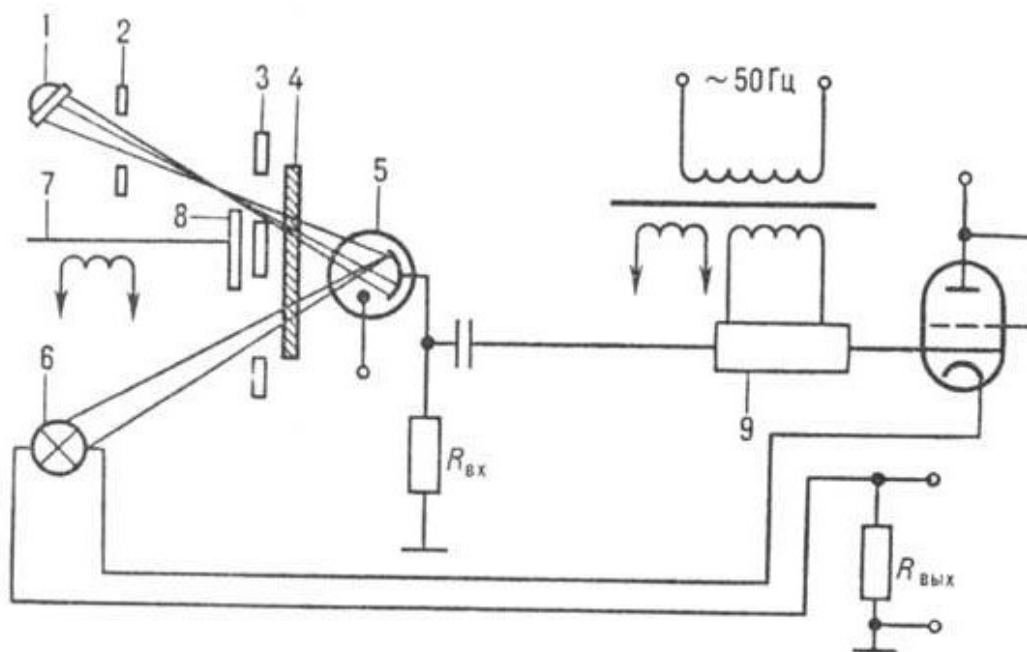


Рисунок 2 – Фотоэлектрический пирометр: 1 – объектив; 2,3 – диафрагмы; 4 – светофильтр; 5 – фотоэлемент; 6 – лампа; 7 – модулятор света; 8 – заслонка; 9 – усилитель; $R_{вх}$, $R_{вых}$ – входное и выходной сопротивление в цепи лампы.

Пирометры спектрального отношения (цветовые пирометры). В промышленных приборах находится отношение т. н. спектральной энергетической яркости (излучение определенной длины волны), или яркости реального тела с двумя заранее выбранными значениями длины волны. Для каждой температуры T это отношение неодинаково, но вполне однозначно. Действие большей части конструкций основано на определении цвета нагретого тела по отношению яркостей для не очень близких одна к другой двух длин волн в видимой части спектра.

Измеряемое излучение через защитное стекло и объектив попадает на фотоэлемент (рис. 3). Между ним и объективом установлен вращаемый синхронным двигателем обтюратор. Последний выполнен в виде диска с двумя отверстиями, закрытыми красным и синим светофильтрами. При вращении обтюратора на фотоэлемент попеременно попадают излучения разной интенсивности. Предварительно усиленный переменный ток, напряжение которого пропорционально соответствующим интенсивностям излучения, преобразуется электронным логарифмическим устройством в постоянный ток силой, зависящей от $1/T$. Сила выходного тока устройства определяется показывающим или регистрирующим милливольтметром. Пределы измерений $1400-2500^{\circ}\text{C}$; погрешность не превышает 1% от верхнего предела.

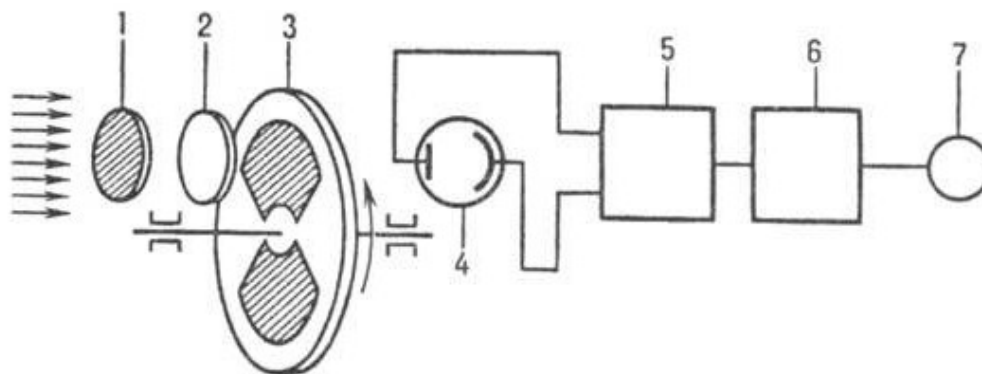
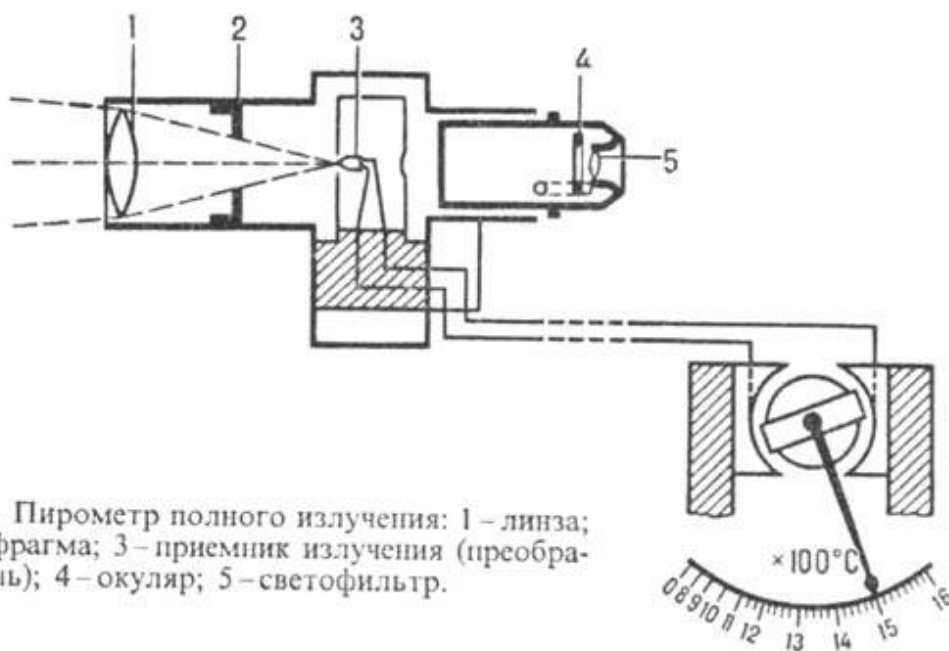


Рисунок 3 – Пирометр спектрального отношения: 1 – защитное стекло; 2 – объектив; 3 – обтюратор с красным и синим светофильтрами; 4 – фотоэлемент; 5 – усилитель; 6 – логарифмическое устройство; 7 – милливольтметр.

Пирометры полного излучения (радиационные пирометры) служат для измерения температуры по мощности излучения нагретого тела (рис. 4). Испускаемые им лучи с помощью оптической системы (рефракторной - преломляющей с линзой и диафрагмой или рефлекторной - отражающей с зеркалом) фокусируются на каком-либо преобразователе - обычно миниатюрной термоэлектрической батарее. Для наводки на нагретое тело используют окуляр с красным либо дымчатым светофильтром. Возбуждаемая в батарее термо-эдс фиксируется потенциометром, шкала которого градуирована в градусах по температуре излучения абсолютно черного тела. По измеренной радиационной температуре (900-2000 °С) истинную температуру раскаленного тела находят из специальной таблицы. Точное определение кол-ва поступающей в пирометры лучистой энергии крайне затруднительно, т.к. между приемником излучения и окружающей средой происходит теплообмен. Несмотря на это, пирометры полного излучения широко распространены в производственной практике; они м. б. установлены стационарно, позволяют применять дистанционную передачу показаний, автоматически записывать и регулировать температуру.

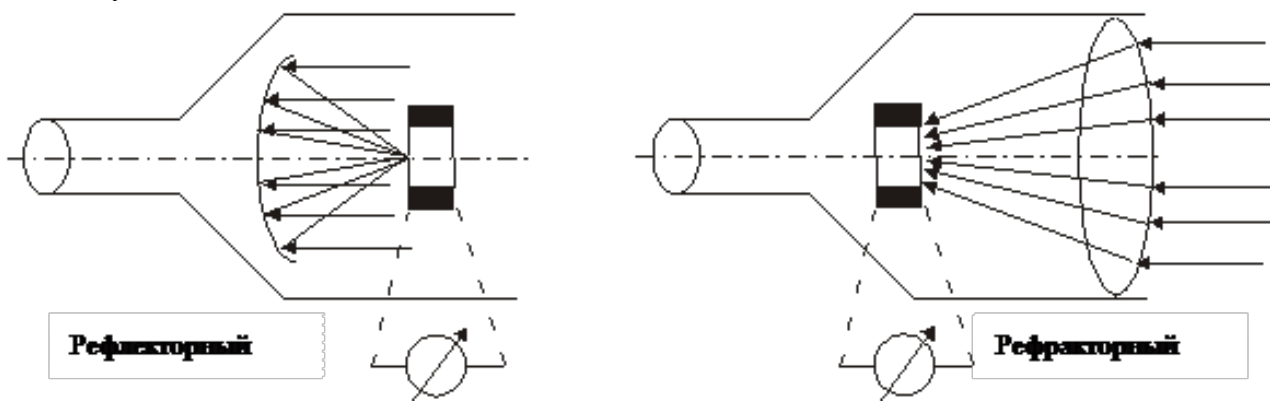


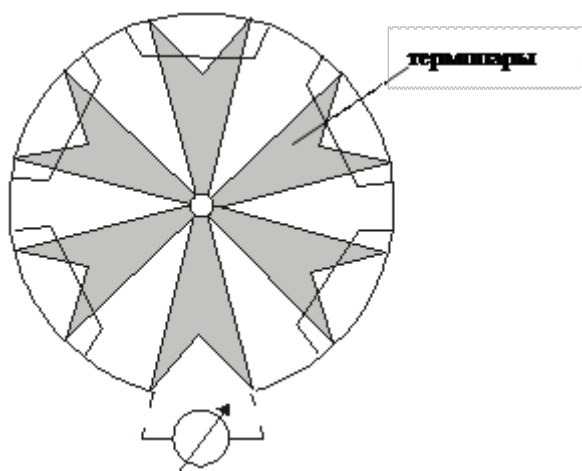
Пирометры полного излучения (радиационные).

Принцип действия основан на законе Стефана-Больцмана.

Пирометр состоит из датчика (приемника) и вторичного прибора. В зависимости от типа оптической системы датчики подразделяются на рефлекторные и рефракторные.

Рефлекторные используются для измерения низких температур (используется зеркало). В рефракторных используется линза.

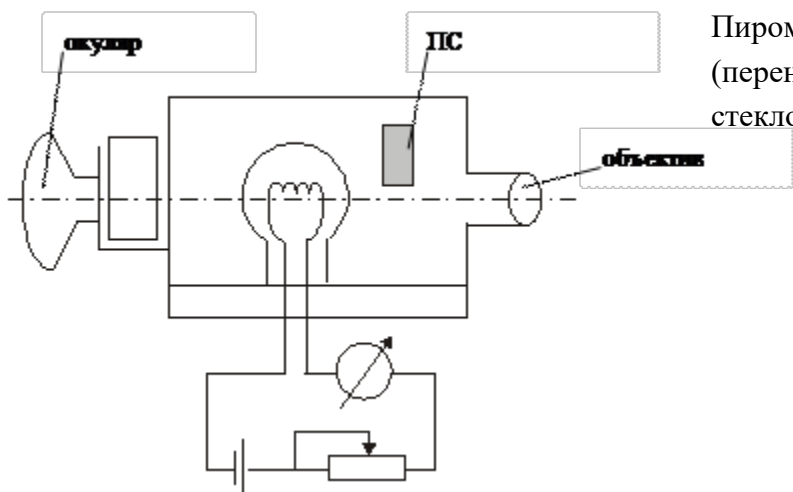




Пирометры частотного излучения (оптические).

Основаны на уравнениях Вина и Планка.

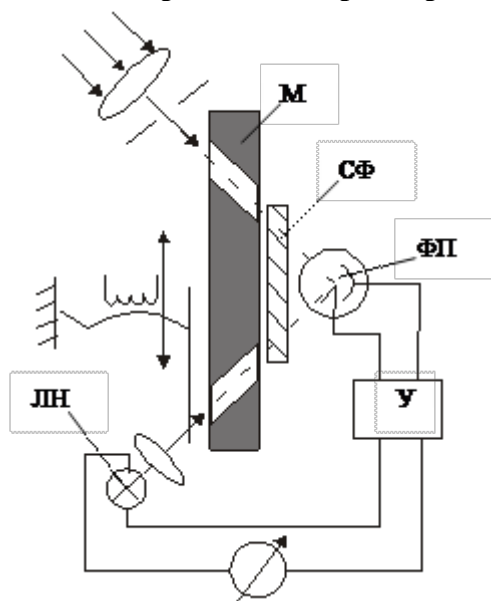
Измеряют спектральную плотность яркости. Обязательным элементом является светофильтр (обычно красный).



Пирометр с исчезающей нитью (переносной). ПС – серое поглощающее стекло, СФ – светофильтр.

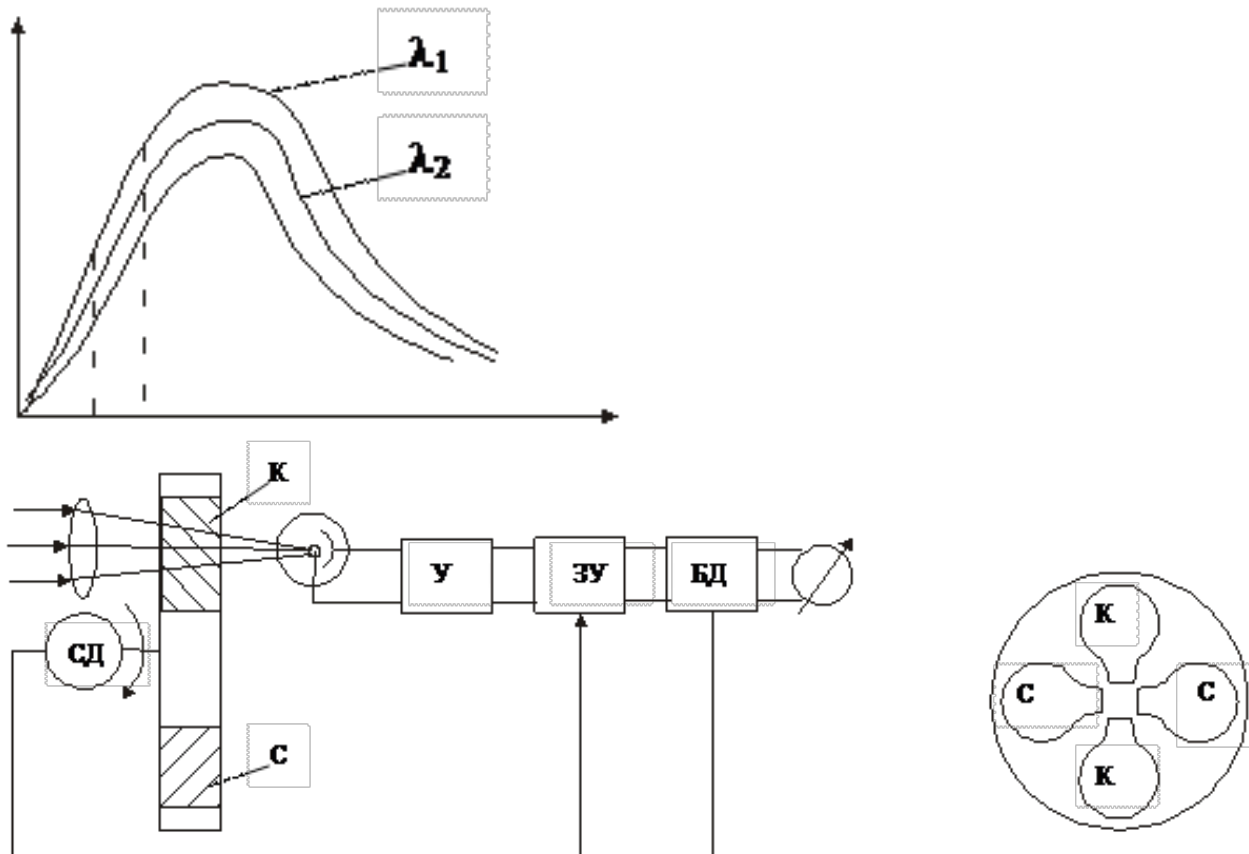
Человек смотрит в окуляр и увеличивает силу тока до тех пор, пока нить накаливания лампы не сольется (исчезнет) на фоне объекта. Эта сила тока измеряется в мА, но шкала проградуирована в градусах. Прибор показывает кажущуюся температуру. ПС используется для расширения диапазона измерений.

Фотоэлектрические пирометры.



М – модулятор; СФ – светофильтр; ФП – фотоприемник; ЛН – лампа накаливания

Цветовые пирометры.



Используют 2 светофильтра (синий и красный). Одним выделяют λ_1 , а другим λ_2 .

ЗУ – запоминающее устройство, БД – блок деления, С – синий светофильтр, К – красный светофильтр.

По сравнению с другими устройствами для измерения температуры пирометры позволяют определять ее бесконтактно при теоретически неограниченном верхнем пределе измерения; определять высокие температуры в газовых потоках при высоких скоростях и т.д.

Тепловизор — устройство для наблюдения за распределением температуры исследуемой поверхности. Распределение температуры отображается на дисплее как цветная картинка, где разным температурам соответствуют разные цвета. Изучение тепловых изображений называется термографией.

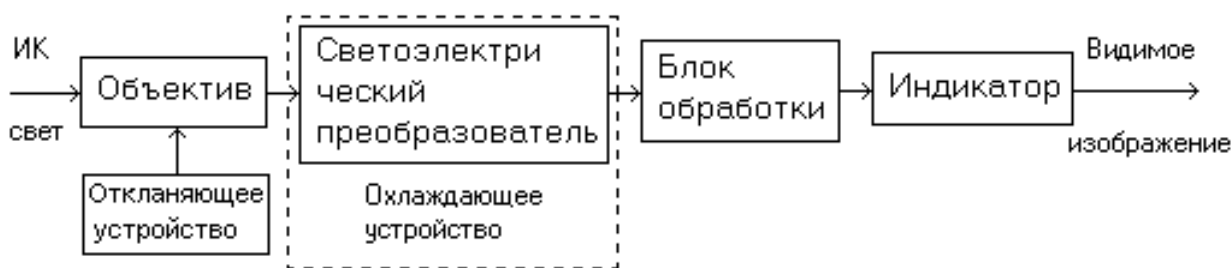


Рисунок 5 - Блок-схема тепловизора.

Принцип работы тепловизора основан на следующем. Все тела, температура которых превышает температуру абсолютного нуля излучают электромагнитное тепловое излучение в соответствии с законом Планка. Спектральная плотность мощности излучения (функция Планка) имеет максимум, длина волны которого на шкале длин волн зависит от температуры. Положение максимума в спектре излучения сдвигается с повышением температуры в сторону меньших длин волн (закон смещения Вина). Тела, нагретые до температур окружающего нас мира (-50..+50 градусов Цельсия) имеют максимум излучения в среднем инфракрасном диапазоне (длина волны 7...14 мкм). Для технических целей интересен также диапазон температур до сотен градусов, излучающий в диапазоне 3..7 мкм. Температуры около тысячи градусов и выше не требуют тепловизоров для наблюдения, их тепловое свечение видно невооруженным глазом.

Объектив тепловизора собирает инфракрасное излучение и фокусирует его на приемнике излучения. Приемник излучения выдает сигнал и создает электронное (тепловое) изображение или термограмму. Объектив тепловизора используется для того, чтобы собрать и сфокусировать проходящее инфракрасное излучение на приемнике излучения, объективы большинства длинноволновых тепловизоров изготовлены из германия. Пропускание объективов улучшается за счет тонкопленочных просветляющих покрытий.

Токоизмерительные клещи — прибор для измерения тока без разрыва цепи.

Клещи Дитце позволяют измерять только переменный ток; датчик Холла – переменный и постоянный.

Принцип действия токоизмерительных клещей основан на том, что ток, протекающий в проводе, создаёт магнитное поле вокруг себя. Если это поле переменное, то согласно закону электромагнитной индукции в другом проводнике, охватывающем провод с током, возникает ЭДС, которая при определённых условиях пропорциональна измеряемому току. Таким образом, измерив напряжение на вышеуказанном проводнике, возможно определить величину измеряемого тока. Принцип действия токоизмерительных клещей основан на тех же законах, что и принцип действия электрического трансформатора.

Клещи состоят из:

- Разъёмного подпружиненного магнитопровода, выполненного из ферромагнитного шихтованного материала, на который надета многовитковая катушка, являющаяся вторичной обмоткой;
- Отсчётного устройства, в качестве которого может быть либо стрелочный прибор магнитоэлектрической системы с выпрямлением либо электронный прибор с цифровым указателем;
- Переключателя диапазонов измеряемых токов;
- Рукоятки для удержания клещей и изоляции между цепью измерения и оператором - для сетей выше 1000 В. Низковольтные клещи рукояток не имеют и их удержание осуществляется за диэлектрический корпус.

В соответствии с измеряемыми величинами электроизмерительные клещи делятся на амперметры, вольтметры, ваттметры, фазометры, ампервольтметры.

В состав электроизмерительных клещей любой модификации входят следующие основные части: клещи-магнитопровод, переключатель диапазонов и функций, дисплей, выходные разъемы, кнопка фиксации измерений.

С помощью электроизмерительных клещей возможны следующие измерения:

- определять фактическую нагрузку в сети. Чтобы определить нагрузку однофазной сети, осуществляется замер на вводном кабеле, полученное значение тока в амперах умножается на напряжение в сети и косинус угла между фазами ($\cos \varphi$). Если отсутствует реактивная нагрузка (мощные индуктивные элементы, дроссели, двигатели), то последнее значение принимается равным единице ($\cos \varphi = 1$).

- для измерения мощности различных приборов. В случае возникновения необходимости измеряется сила тока участка цепи с подключенным потребителем.

- для проверки функционирования приборов учета потребления электроэнергии, например, сверки показаний счетчиков с фактическим потреблением.

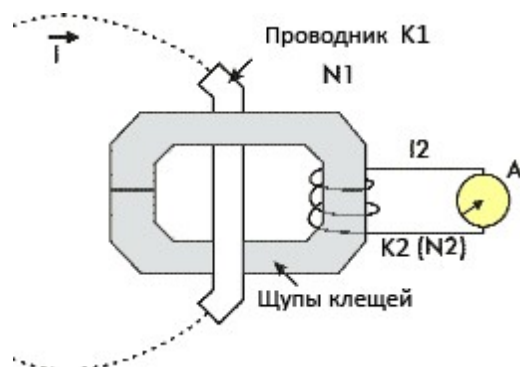


Рисунок 6 – Принцип действия электроизмерительных клещей

Газоанализатор — измерительный прибор для определения качественного и количественного состава смесей газов. Различают газоанализаторы ручного действия и автоматические. Среди первых наиболее распространены такие абсорбционные газоанализаторы, в которых компоненты газовой смеси последовательно поглощаются различными реагентами. Автоматические газоанализаторы непрерывно измеряют какую-либо физическую или физико-химическую характеристику газовой смеси или её отдельных компонентов. По принципу действия автоматические газоанализаторы могут быть разделены на 3 группы:

1. Приборы, основанные на физических методах анализа, включающих вспомогательные химические реакции. При помощи таких газоанализаторов, называемых объёмно-манометрическими или химическими, определяют изменение объёма или давления газовой смеси в результате химических реакций её отдельных компонентов.
2. Приборы, основанные на физических методах анализа, включающих вспомогательные физико-химические процессы (термохимические, электрохимические, фотоионизационные, фотоколориметрические, хроматографические и др.). Термохимические, основанные на измерении теплового эффекта реакции каталитического окисления (горения) газа, применяют главным образом для определения концентраций горючих газов (например, опасных концентраций окиси углерода в воздухе). Электрохимические позволяют определять концентрацию газа в смеси по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ. Фотоионизационные, основанные на измерении силы тока, вызванного ионизацией молекул газов и паров фотонами, излучаемыми источником вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения — ВУФ-лампы. Фотоколориметрические, основанные на изменении цвета определённых веществ при их реакции с анализируемым компонентом газовой смеси, применяют главным образом для измерения микроконцентраций токсичных примесей в газовых смесях — сероводорода, окислов азота и др. Хроматографические наиболее широко используют для анализа смесей газообразных углеводородов.
3. Приборы, основанные на чисто физических методах анализа (термокондуктометрические, денсиметрические, магнитные, оптические и др.). Термокондуктометрические, основанные на измерении теплопроводности газов, позволяют анализировать двухкомпонентные смеси (или многокомпонентные при условии изменения концентрации только одного компонента). При помощи денсиметрических газоанализаторов, основанных на измерении плотности газовой смеси, определяют главным образом содержание углекислого газа, плотность которого в 1,5 раза превышает плотность чистого воздуха. Магнитные газоанализаторы применяют главным образом для определения концентрации кислорода, обладающего большой магнитной восприимчивостью. Оптические газоанализаторы основаны на измерении оптической плотности, спектров поглощения или спектров испускания газовой смеси. При помощи ультрафиолетовых газоанализаторов определяют содержание в газовых смесях галогенов, паров ртути, некоторых органических соединений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ЭБ «Труды ученых СтГАУ»: Лысаков, А. А. Электротехнология. Курс лекций [электронный полный текст] : учеб. пособие для студентов вузов очной и заочной форм обучения, обучающихся по направлениям подготовки: 110302.65 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства, 110800 – Агроинженерия, 140400 – Электроэнергетика и электротехника, 140211 – Электроснабжение / А. А. Лысаков ; СтГАУ. - Ставрополь, 2013. – 2.85 МБ
2. ЭБС «Лань»: Гордеев А.С. Энергосбережение в сельском хозяйстве учебное пособие / А.С. Гордеев, Д.Д. Огородников, И.В. Юдаев. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2014. — 400 с.
3. ЭБС «Znanium» Сибикин Ю. Д. Технология энергосбережения: Учебник / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 352 с
4. ЭБС «Znanium» Организация энергосбережения (энергоменеджмент). Решения ЗСМК-НКМК-НТМК-ЕВРАЗ: Уч. пос. / Под ред. В.В. Кондратьева - М.: ИНФРА-М, 2010. - 108 с
5. ЭБС «Znanium»: Колесников А.И. Энергосбережение в промышленных и коммунальных предприятиях: Учебное пособие / А.И. Колесников, М.Н. Федоров, Ю.М. Варфоломеев. - М.: ИНФРА-М, 2010. - 124 с
6. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учеб. пособие для студентов вузов по специальности 110302 "Электрификация и автоматизация сел. хоз-ва" / Междунар. Ассоц. "Агрообразование". - М. : КолосС, 2006. - 344 с. - (Учебники и учебные пособия для студентов вузов. Гр. МСХ РФ
7. ЭБ «Труды ученых СтГАУ»: Электротехнологии и энергосбережение в сельском хозяйстве: [электронный полный текст] : методические указания для выполнения курсовой работы. для студентов вузов очной и заочной форм обучения, обучающихся по направлениям подготовки: 110302.65 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства, 110800 – Агроинженерия, 140400 – Электроэнергетика и электротехника, 140211 – Электроснабжение / А. А. Лысаков ; СтГАУ. - Ставрополь, 2013. – 842 КБ
8. Вестник АПК Ставрополя (периодическое издание)
9. Электротехника (периодическое издание)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите устройства для бесконтактного измерения температуры.
2. Назначение пирометров.
3. Назначение электроизмерительных клещей.
4. Классификация пирометров.
5. Принцип измерения электрического переменного тока клещами.
6. Принцип измерения электрического постоянного тока клещами.
7. Принцип действия фотоэлектрического пирометра.
8. Принцип действия радиационного пирометра.
9. Назначение и классификация газоанализаторов.
10. Основные законы теплового излучения, по которым работают приборы бесконтактного измерения температуры.