

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном)

	контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию с учетом нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических,

	социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 96с., 14 рисунков, 14 источников.

Ключевые слова: температура, измерение, термометр, система, метод.

Рекомендовано к теоретическому использованию.

Оглавление

Введение.....	6
Понятие о температуре.....	7
Методы измерения температуры.....	9
Контактные методы измерения температуры	18
Бесконтактные методы	56
Основные методы измерения тепловых потоков.....	61
Измерение температуры в элементах ТЭС.....	67

Введение

Современный уровень развития энергетических и других промышленных установок характеризуется интенсификацией технологических процессов, использованием агрегатов большой единичной мощности. В теплоэнергетике единичные мощности возросли за 30 лет в десятки раз, в атомной энергетике – в сотни. Примерно так же выросли скорости протекания технологических процессов. Количество измеряемых параметров на одном агрегате в настоящее время исчисляется тысячами. Надежность средств измерений и информационно – управляющих систем во многих случаях определяет надежности агрегата в целом. Без знания достоверных значений параметров и автоматического контроля за ними нельзя управлять процессом или агрегатом.

В данной работе рассмотрены физические явления и принципы измерений , которые положены в основу работы того или иного средства измерений, приведены схемы установки , конструкции самих приборов.

Цель работы заключается в анализе и выявлении наиболее удачных методов измерения , отвечающих техническим, экономическим и конструктивным требованиям.

Понятие о температуре.

Температурой можно назвать параметр теплового состояния, который обуславливается средней кинетической энергией поступательного движения молекул данного тела. При соприкосновении двух тел переход тепла от одного тела к другому будет происходить до тех пор, пока значения средней кинетической энергии поступательного движения молекул этих тел не будут равны. Стоит заметить что при одной температуре, средняя кинетическая энергия тела и кинетическая энергия молекулы этого тела может значительно отличаться, и отсюда следует, что температура - понятие статистическое и может применяться только к телам, состоящим из большого числа молекул; Применение этого понятие к одной молекуле бессмысленно. Однако статистические законы неприемлемы для пространства со значительно разреженной материей, и температуры в этом случае определяется мощностью потоков лучистой энергии, которые пронизывают это тело.

Прямому измерению температура не поддается, поэтому о ее значении судят по изменению физических свойств других тел. Для этого необходимо иметь некую шкалу, в которой температуру определена через какую – либо подчиняющуюся закону аддитивности величину, связанную с температурой функциональной зависимостью, и единицу измерения для определения масштаба такой шкалы..

Идеальная температурная шкала – это шкала, построенная на термодинамической основе. Единицей такой шкалы является Кельвин К – $1/273,16$ часть температуры тройной точки воды. Широко применяется практика выражения температуры в виде ее значения относительно точки плавления льда ($273,15\text{ K}$). Выраженная таким образом температура известна как температура Цельсия (t) и определяется как $t = T - 273,15$. Единицей измерений температуры Цельсия является градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), размер которого равен Кельвину.

Так как температура не подчиняется закону аддитивности, то воспроизведение одной эталонной точки не позволит точно определить

другие температурные точки. Поэтому возникает необходимость точного воспроизведения нескольких температурных точек (реперных), которым присвоено определенное значение температур. Совокупность этих точек и образует температурную шкалу. Между реперными точками шкала воспроизводится с помощью эталонных средств, в которых температура определяется через какую – либо аддитивную величину, связанную с температурой функциональной зависимостью заданного вида. Коэффициенты этой зависимости находятся по температурам реперных точек.

Методы измерения температуры

Измерение температуры в различных отраслях техники осуществляется путем преобразования температуры в какую – либо другую физическую величину, подвергающуюся непосредственному измерению с помощью соответствующих средств. При этом используются проградуированные по образцовым приборам средств измерения, выходной сигнал которых выражается по МПТШ. Тем самым осуществляется прямое измерение температуры либо в Кельвинах, либо в градусах Цельсия.[3]

Косвенным называют такое измерение температуры, при котором искомое значение находят путем расчет на основе известной функциональной зависимости между температурой и непосредственно измеряемыми величинами. Например, косвенным измерением термодинамической температуры являются результаты ее расчета по уравнению состояния идеального газа по измеренному давлению близкого к идеальному газа при постоянно его объеме (метод газового термометра). При такого рода измерениях необходимо создать условия, для которых справедливы используемые теоретические соотношения. Поэтому косвенные измерения температур применяются, как правило, только в эталонных работах или научных исследованиях с использованием наиболее современных средств измерительной техники. Следовательно, распространенность таких измерений довольно ограничена. [3]

В зависимости от характера контактирования первичного преобразователя с объектом, температуру которого измеряют, методы измерения температур разделяют на две основные группы – контактные и бесконтактные. [3]

При контактных методах термометрии требуется наличие механического контакта первичного преобразователя с объектом измерения. Большинство контактных методов требуют наличие линий связи первичного преобразователя со средствами измерений его выходного сигнала. Однако некоторые из них применяются без линии связи по визуальной фиксируемой

реакции преобразователя. Распространенные в настоящее время контактные методы измерения температур приведены в таблице 1.

Большое число этих методов вызвано как чрезвычайным разнообразием объектов и условий измерений, так и очень широким диапазоном измеряемых температур – от криогенных до 2500°C.

Контактные методы обладают довольно высокой точностью измерений и нередко высоким ресурсом (достигающим в ряде случаев десятков тысяч часов непрерывной эксплуатации). [3]

Все бесконтактные методы измерений температур (методы пирометрии) основываются на использовании того или иного свойства теплового излучения объекта. Это излучение воспринимается дистанционного расположенным приемником. Таким образом, передача информации о температурном состоянии объекта осуществляется лучистой энергией, испытывающей в ряде случаев искажение по пути от объекта к приемнику. [3]

Методы пирометрии в зависимости от характера спектра излучения объекта разделяются на две основные группы:

1. Для тел со сплошным спектром излучения (такой спектр характерен для большинства твердых тел и их расплавов);
2. Для тел с линейчатым или полосовым спектрами излучения (атомарные и молекулярные спектры газов и жидкостей).

Методы измерения температур по атомарным и молекулярным спектрам применяются с использованием спектральной аппаратуры для исследования раскаленных газовых потоков, пламени и плазмы. В зависимости от вида энергии движения молекул в такого рода неравновесных химически реагирующих системах выделяют различные по значению неравновесные температуры – поступательную, колебательную и вращательную. В повседневной практике, за исключением указанных кратковременных процессов, связанных с быстрым выделением теплоты, в подавляющем большинстве случаев приходится иметь дело с равновесными температурами

тел (когда произошло выравнивание распределения энергии между молекулами тела и установилось равновесное состояние, характеризующееся термодинамической температурой T). [3]

В таблице 2 приведены основные методы пирометрии первой группы, большинство из которых реализовано в средствах измерения, серийно выпускаемых отечественной промышленностью. Наиболее распространенные методы пирометрии второй группы, использующиеся для определения неравновесных температур с интенсивным выделением тепловой энергии, указаны в табл. 3.

Таблица 1

Контактные методы измерения температуры

Метод	Термометрическое свойство	Преобразователь или средство измерения	Выходная величина, единица измерения	Наличие линий связи
Теплового расширения	Линейное тепловое расширение	Дилатометрические термометры	Перемещение конца стержня, м	Есть
	Разность температурных коэффициентов линейного расширения	Биметаллические термометры	Перемещение конца пластины, м	Есть
	Объемное тепловое расширение жидкости	Жидкостные стеклянные термометры	Перемещение мениска в капилляре, м	Есть
	Термозависимость давления газа, жидкости или насыщенного пара в замкнутом объеме	Манометрические термометры	Давление, Па	Есть
Терморезисторный	Термозависимость активного электрического сопротивления	Термопреобразователи сопротивления	Электрическое сопротивление, Ом	Есть
Термошумовой	Термозависимость магнитной восприимчивости парамагнитного вещества	Магнитный термометр	Напряжение, В	Есть
Ультразвуковой резонанс	Термозависимости скорости распространения звука в веществе	Акустические термометр	Частота, Гц	Есть
Плавление образцов	Постоянство температуры фазового перехода	Плавкие образцы, наборы	Изменение формы	Нет

Люминофорный	Термозависимость интенсивности при стабильном возбуждении	Люминофоры	Яркость	Нет
Жидкокристаллический	Термозависимость цвета	Жидкокристаллические пленки	Цветовой тон	Нет
Термокраски	Термозависимость цвета	Набор термочувствительных красок	Цветовой тон	Нет
Изооптический	термозависимость показателя преломления	Двухкомпонентный образец	Цветовой тон	Нет
Кварцевый (частотный)	Термозависимость частоты колебаний кристалла	Кварцевый термометр	Частота, Гц	Есть

Таблица 2

Основные методы пирометрии для тел со сплошным спектром излучения.

Свойство спектра излучения объекта	Наименование средств измерений
Интегральная энергетическая яркость тела, описываемая с достаточным приближением для абсолютно черного тела законом Стефана – Больцмана	Пирометры полного излучения (радиационный пирометр)
Энергетическая яркость тела в ограниченном интервале длин волн, не позволяющем применять ни формулу Планка, ни закон Стефана – Больцмана	Пирометры частичного излучения
Энергетическая яркость тела в узком спектральном интервале, позволяющем для описания использовать формулу Планка	Квазимонохроматические пирометры (яркостный или оптический пирометр)
Спектральное распределение энергетической яркости тела	Пирометры спектрального распределения
Отношение энергетических яркостей в двух спектральных интервалах	Пирометры спектрального отношения (цветовой пирометр)
Отношение энергетических яркостей в трех и более спектральных интервалах	Пирометры спектрального отношения

Таблица 3

Методы измерения температур по атомарным или молекулярным спектрам

Параметры	Условная температуры	Характеристика объекта
Обращение спектральной линии на фоне источника со сплошным спектром	Поступательная	Несветящиеся пламенна, плазма
Соотношение энергетической яркости пламени и источника сравнения (метод лучеиспускания и поглощения)	Поступательная	Светящиеся пламенна и запыленные газовые потоки

Энергетическая яркость насыщенного спектра центральной линии, полосы	Поступательная	Несветящиеся пламенна, плазма
Отношение энергетических яркостей спектральных линий	Вращательная	Несветящиеся пламенна, плазма
Отношение энергетических яркостей спектральных линий тонкой структуры	Вращательная	Несветящиеся пламенна, плазма
Уширение спектральных линий	Поступательная	Несветящиеся пламенна, газовые потоки
Отношение энергетических яркостей полос излучения	Колебательная	Несветящиеся пламенна, газовые потоки
Отношение энергетических яркостей спектральных линий комбинационного рассеяния	Колебательная	Двухатомный газ

Достоверность результатов измерения температуры обычно определяется тем, насколько удачно выбран метод и средство измерения для данного конкретного объекта и условий. Поэтому одна из основных задач термометрии состоит в получении исходных данных для выбора того или иного метода измерения температуры в данных конкретных условиях. Задача выбора метода и средства измерения достаточно сложна, как правило, при этом приходится искать оптимальное решение, учитывая многочисленные и часто противоречивые факторы. Подробнее на некоторых из этих факторов мы остановимся при рассмотрении конкретных методов измерения температуры. Сейчас же лишь укажем на наиболее важные из них : область измеряемых температур, динамика исследуемого теплового процесса, требуемая точность измерений, физические свойства объекта, однородность его температурного поля, чувствительность измерительного прибора,

агрессивность объекта (химические взаимодействия), свойства среды, окружающей объект, регистрация результатов измерений и др. [3]

Наряду с изложенной выше классификацией методов и средств измерений на контактные и бесконтактные, используются также и классификация по механизму передачи энергии от объекта исследования к термопреобразователю. Эта классификация позволяет разделить методы и средства измерения температуры на термометрические, пирометрические и спектрометрические, чтобы более полно раскрывать характерные особенности отдельных методов. [3]

Термометрические методы обычно являются контактными методами, при которых энергообмен между объектом исследования и термопреобразователем осуществляется главным образом путем теплопроводности (при измерении температуры твердых тел) и конвекции. Теплообмен излучением при этом играет малую роль, а в некоторых случаях является причиной появления дополнительных погрешностей. Термометрические методы основаны на температурной зависимости свойств различных веществ, используемых в качестве термометрического тела (термопреобразователя), которое находится в непосредственном контакте с объектом исследования и температуры которого принимается равной измеряемой температуре. [3]

По используемым термометрическим свойствам вещества или физическим явлениям термометрические методы разделяются на термоэлектрические, терморезистивные, термочастотные, термошумовые, термомагнитные и др. Некоторые из этих методов в зависимости от используемых типов преобразователей имеют ряд разновидностей, например термочастотный метод – на основе ядерных, акустических, акустических и др. резонаторов. [3]

Некоторые контактные методы измерений температуры основаны на энергообмене излучением между измерителем и объектом исследования. Все тела излучают в окружающее пространство электромагнитные волны

различных длин. В зависимости от вида излучения и определяемых его параметров неконтактные методы можно разделить на пирометрические, применяемые в основном для измерения температур от низких до 4000 – 6000 К по тепловому излучению исследуемых объектов, и спектрометрические, используемые для измерения сверхвысоких температур, главным образом температуры плазмы. При температуре до 4000 – 6000 К имеет место одна из разновидностей электромагнитного излучения – тепловое излучение, обусловленное тепловых движением в твердых, жидких или газообразных веществах или в плазме. В этой области температур происходит излучение в широком спектре длин волн, характерное для серого излучателя, у которого излучательная способность мало зависит от длины волны. [3]

При более высоких температурах излучение обусловлено процессами ионизации и диссоциации. При этом вещества находятся в виде плазмы, состоящей из различных частиц, которым приписывается своя температуры (молекулярная температура, электронная температура, температура возбуждения и др.). Спектр излучения плазмы состоит в основном из отдельных линий, и только небольшая его часть составляет непрерывный спектр, так что прямая пирометрия неприменима для измерения температуры плазмы. Для этой цели используют различные спектрометрические методы, основанные на изменении параметров отдельных спектральных линий или других величин, зависящих от спектральных свойств излучения исследуемого объекта. [3]

Контактные методы измерения температуры

Жидкостно – стеклянные термометры

Самые старые устройства для измерения температуры. Они используют термометрическое свойство теплового расширения тел.

Жидкостный термометр состоит из стеклянного баллона 1, капиллярной трубки 3, запасного резервуара 4. Термометрическое вещество 2 заполняет баллон и частично капиллярную трубку. Свободное пространство в капиллярной трубке и в запасном резервуаре заполняется инертным газом или может находиться под вакуумом (при температурах меньше $+100^{\circ}\text{C}$). Запасный резервуар служит для предохранения термометра от порчи при чрезмерном перегреве.

При повышении температуры объем термометрического вещества увеличивается и оно заполняет трубку, на которую нанесена градусная шкала.

В качестве термометрического вещества обычно используют химически чистую ртуть, поскольку она не смачивает стекло и остается жидкой в большом интервале температур (для изготовления термометров применяют ртуть марок Р1 и Р2, которым соответствуют количества примесей, составляющих нелетучий остаток, не более 0,001 и 0,01% соответственно). Температура кипения ртути $356,58^{\circ}\text{C}$, поэтому в термометрах предназначенных для измерения высоких температур пространство в капиллярной трубке заполняется инертным газом под давлением.

Однако ртуть очень ядовита. Отравление парами ртути может носить острый и хронических характеры. Эксплуатация и хранение таких термометров может вызывать неудобство. Поэтому в качестве термометрических тел широкое распространение нашли этиловый спирт, керосин, петролейный эфир, толуол, пентан и др. По своей природе эти жидкости прозрачны, что может быть оценено и как достоинство и как недостаток. Для улучшения видимости в них добавляют красители, в

основном ярко – красные. Следует понимать что органические жидкости смачивают стекло , впоследствии чего снижается точность исследований.

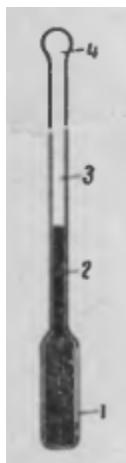


Рис.1. Жидкостно – стеклянный термометр.

Почти все применяемые термометрические жидкости огнеопасны, летучи, следовательно, взрывоопасны и ядовиты. Но предельно допустимые их концентрации в воздухе на 3...5 порядков выше, чем для ртути, их присутствие легче распознается по запаху , а последствия отравления не так сильны по сравнению со ртутью. Поэтому эксплуатация термометров с органическими жидкостями не регламентирована специальными требованиями техники безопасности. [1]

Для измерения температуры среды в трубопроводах, котлах, сосудах, находящихся под давлением, **термометры устанавливают в защитных гильзах**. Чтобы обеспечить хороший тепловой контакт, гильзу заполняют минеральным маслом. [1]

Установка ртутных термометров .

Точность показаний ЖСТ, как и любого прибора, измеряющего температуру, зависит от способа его установки, т. е. от правильного решения вопросов, связанных с теплообменом между измеряемым веществом, термометром и внешней средой. Эта задача сводится к двум основным требованиям: во-первых, к обеспечению наиболее благоприятных условий передачи тепла от измеряемой среды чувствительной части (резервуару)

термометра и, во-вторых, к уменьшению по возможности отдачи тепла прибором окружающему воздуху. [1]

Существует два способа установки термометров: путем погружения термометра в измеряемую среду или в защитной гильзе, которая обеспечивает плотность соединения и защищает термометр от поломки. [1]

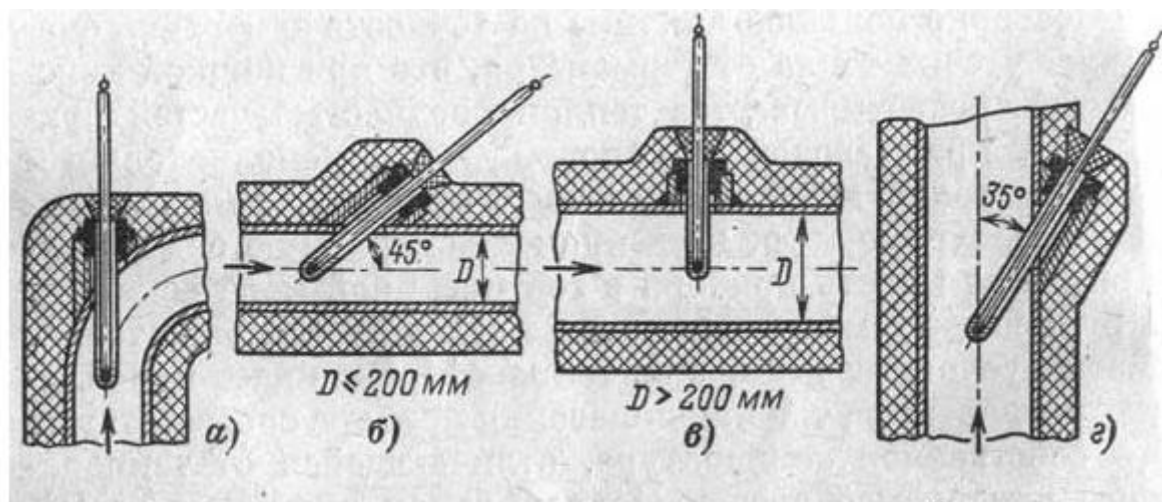


Рис. 2. Установка ртутного термометра в защитной гильзе. а – вдоль оси трубопровода; б – наклонно к оси горизонтального трубопровода; в – нормально к оси горизонтального трубопровода; з – на вертикальном трубопроводе.

Для улучшения теплопередачи от гильзы к резервуару термометра образующийся в гильзе кольцевой зазор между резервуаром и ее стенкой заполняется при измерении температуры до 150 °С машинным маслом, а при более высокой температуре - медными опилками. Заполнение гильзы маслом или опилками производится так, чтобы в эту среду был погружен только резервуар термометра. Чрезмерное заполнение гильзы понижает точность измерения из-за возрастания оттока тепла и увеличивает инерционность прибора. [1]

При измерении температуры в трубопроводе термометр устанавливается в положение, при котором ось трубы проходит посередине резервуара. Погружение конца термометра до центра трубы, т. е. в зону наибольшей скорости потока, улучшает теплообмен между движущейся средой и прибором и уменьшает влияние на результаты измерения тепловых потерь защитной гильзы. [1]

Наиболее правильной является установка термометра вдоль оси трубопровода на колене с восходящим потоком, так как при этом условия обтекания конца гильзы весьма благоприятны. На горизонтальном трубопроводе диаметром до 200 мм термометр устанавливается наклонно к оси трубы навстречу потоку. При диаметре трубопровода более 200 мм термометр может быть расположен нормально к оси трубы. На прямом вертикальном участке трубопровода с восходящим потоком термометр всегда устанавливается наклонно навстречу потоку. Устанавливать термометры на вертикальных трубопроводах с нисходящим потоком не рекомендуется. [1]

На величину отвода тепла гильзой влияют средняя разность температур между измеряемой средой и окружающим воздухом, а также материал и конструкция гильзы. Защитные гильзы изготавливаются из металлов, имеющих низкую теплопроводность (нерж. Сталь.), а выступающей части, толщина стенки и внутренний диаметр гильзы выбираются по возможности небольшими. Головка защитной гильзы покрывается теплоизоляцией.

Технические ртутные термометры обычно устанавливаются в защитных оправах, предохраняющих также и выступающую часть термометра от поломки (рис.) ¹. (¹ ГОСТ 3029-59. Оправы защитные для технических стеклянных термометров.) ,

Защитная оправа **1** состоит из гильзы и чехла, который имеет продольный вырез для отсчета показаний термометра **2**. При точных определениях температуры чехлы не применяются, так как значительно увеличивают погрешность измерения из-за оттока по ним тепла.

Установка ртутного термометра без гильзы практически исключает отвод тепла от резервуара. Однако из-за влияния, оказываемого на показания термометра давлением измеряемой среды (сжатие резервуара с выдавливанием ртути в капилляр), а также вследствие недостаточной прочности термометра и трудности уплотнения места его установки использование этого способа ограничивается областью небольших давлений. Установка ртутных термометров без гильзы применяется главным образом при кратковременных точных измерениях температуры среды [1]

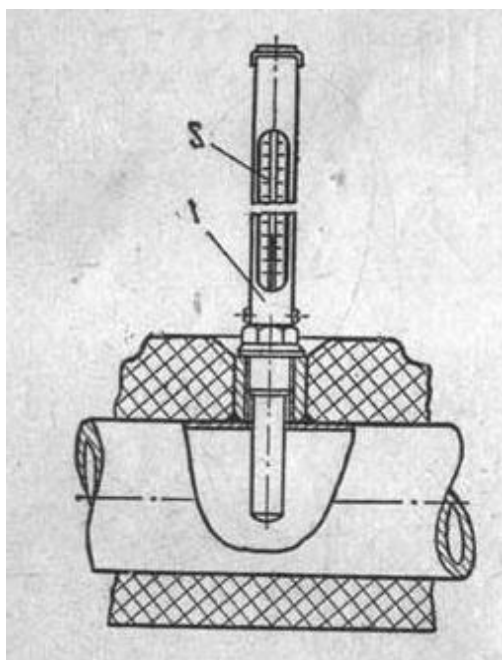


Рис.3. Установка ртутного термометра в защитной оправе

Таблица 2

Общие характеристики термометрических жидкостей.

Наименование	Пределы измерения °С		Средние температуры °С		Коэффициент расширения $T. \text{ град}^{-1}$
	Нижний	Верхний	Затвердения	Кипения	
Этиловый спирт	-80	+80	-114,5	+78	0,00103
Керосин	0	300	-	-	0,00093
Петролейный эфир	-120	+20	-	-	0,00140
Пентан	-190	+20	-200	-	0,00170
Толуол	-80	+100	-97,2	+109,8	0,00107
Галлий	-	1200	+29,8	2070	-
Таллиевая амальгама	-50	+20	-60	-	0,00016
Сложная амальгама			-90	360...2000	0,00018
Ацетон			-94,9	56	0,00131
Ртуть	-35	600	-38,9	356,58	0,00018
Метиловый спирт	-80	+80	-95,8	+65,6	
Сероуглерод			-113	46	0,00121

Дилатометрические термометры.

К дилатометрическим термометрам относятся *стержневой* и *пластинчатый* (биметаллический) термометры, действие которых основано на относительном удлинении под влиянием температуры двух твердых тел, имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения. Зависимость длины l твердого тела от его температуры t выражается равенством

$$l = l_0(1 + \alpha t)$$

где l_0 - длина тела при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;

α - средний температурный коэффициент линейного расширения тела, K^{-1}

Значения средних коэффициентов линейного расширения некоторых материалов в интервале температур $0 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ приведены в табл ниже.

Материал	$\alpha \cdot 10^4, \text{K}^{-1}$
Алюминий	24
Железо	12,5
Инвар(64% Fe, 36% Ni)	3,5
Кварц правленный	0,55
Латунь	18,5
Никель	14
Сталь немагнитная	17
Фармор	3,5

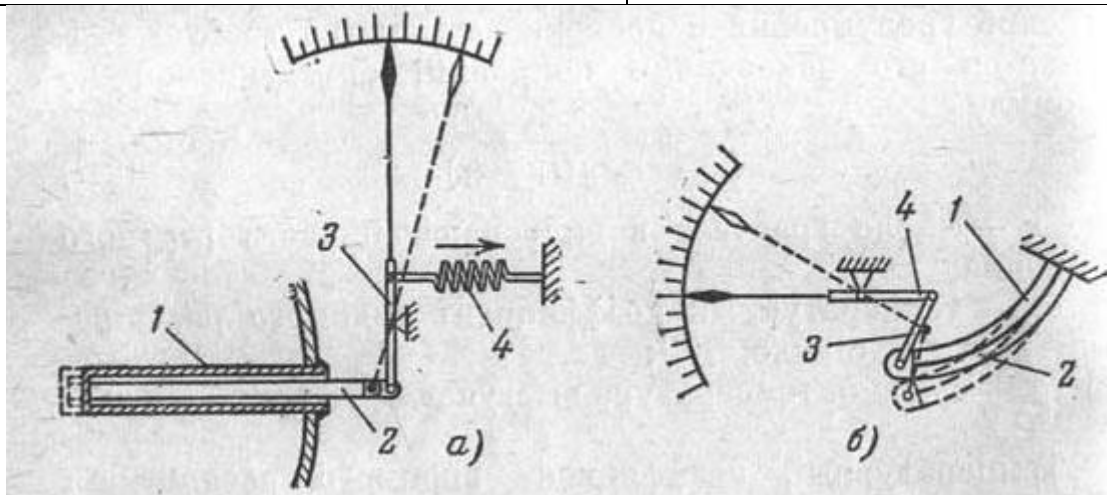


Рис.4. Дилатометрические термометры. *а* – стержневой; *б* – пластинчатый.

Стержневой термометр представляет из себя закрытую с одного конца трубку (1), помещенную в измеряемую среду и изготовленную из материала с большим коэффициентом линейного расширения. В трубку вставлен стержень (2), прижимаемый к ее пну рычагом (3), скрепленным с пружиной 4. Стержень изготавливается из материала с малым коэффициентом расширения. При изменении температуры трубка изменяет свою длину, что приводит к перемещению в ней стержня, имеющего очень малый коэффициент расширения, который связан посредством рычага (3) с указательной стрелкой прибора.

Пластинчатый термометр состоит из двух изогнутых и спаянных между собой по краям металлических полос, из которых полоса 2 имеет малый коэффициент расширения, а полоса 1 напротив, большой. Полученная пластина меняет степень своего изгиба в зависимости от температуры, величину которого при помощи тяги (3), рычага (4) указывает соединенная с ними стрелка по шкале прибора. При увеличении температуры пластинка изгибается в сторону металла с наименьшим коэффициентом температурного расширения. []

Дилатометрические термометры не получили распространения как самостоятельные приборы, а используются главным образом в качестве чувствительных элементов в сигнализаторах температуры. Кроме того, пластинчатые термометры иногда применяются для компенсации влияния переменной температуры окружающего воздуха на показания других приборов, в которые они встраиваются.

Особенности измерений ЖСТ

Поправка на температуру выступающего столбика.

Условия измерений часто не совпадают с условиями градуировки. В последний, как правило, весь термометр помещается в изотермическое пространство. Практически редко удастся поместить весь термометр в область измерения температуры. Обычно в это область погружается сосуд и некоторая часть столбика. Остальная часть столбика имеет другую температуру. В связи с этим при точных измерениях следует вводить поправку на температуру выступающего столбика. Величина поправки даже при больших разностях температур невелика, поэтому значение поправочной температуры выступающего столбика может быть оценено приближенно. [1]

Существуют конструкции термометров со вторым термометром, который встроен в первый, по которому судят о температуре выступающего столбика. Как правило к выступающей части основного термометра теплоизоляционным шнуром прикрепляется вспомогательный термометр так, чтобы его сосуд находился примерно в середине выступающей части столбика основного термометра. [1]

В связи с приближенным характером практического определения температуры выступающего столбика не требуется интегрирование уравнения температурного расширения столбика. Поправка пропорциональна разности температур и высоте выступающего столбика, что формально записывается следующим образом: [1]

$$\Delta S = b(t - t_m)(S_t - S_m)$$

Где ΔS — поправка; $(S_t - S_m)$ — длина выступающего столбика; t — измеряемая температура; t_m — средняя температура вступаящего столбика;

Значения коэффициента пропорциональности поправки на температуру выступающего столбика b для различных условий приведеный в таблице 2. Так, если ртутный ЖСТ из стекла марки 500 погружен в кипящую воду до деления 30°C , а выступающая часть капилляра находится при температуре

35°C, то поправка составит 0,75 К и ее нужно добавить к зарегистрированному по шкале значению.

Высокотемпературные ЖСТ

В обычных ртутных термометрах, применяемых для измерения температур до 150°C, пространство над мениском вакуумируется. С возрастанием температуры до 250°C начинается испарение ртути через мениск и к конденсации ее в верхней части капилляра. [1]

В связи с этим происходит уменьшение рабочего кол-ва ртути, в связи с чем нарушается корректность измерения, происходит засор верхней части капилляра сконденсировавшейся ртутью. В результате засора для восстановления работы термометра требуется его нагрев до выхода столбика в верхнюю камеру и последующее осторожное охлаждение ртути до возвращения в основной сосуд. [1]

Свойства ртути позволяют производить измерения при более высоких пределах (критическая температура 1460°C при давлении 108 МПа). Чтобы пары ртути не поднимались высоко по капилляру, последний заполняется газом под высоким давлением. Заполняющий газ не должен реагировать со ртутью. В качестве такого газа используют азот, углекислый газ и аргон. [1]

Для работы термометра ниже 350°C заполнение производится при атмосферном давлении. [1], для температур ниже 350°C заполнение можно производить при атмосферном давлении. [1] Термометры с верхним пределом до 500°C и 750°C заполняют при давлении 2,5 МПа и 10МПа соответственно.

Заполнение ртутью таких термометров производится под вакуумом. Капилляр при это запаивается. Дальнейшее заполнение газом производят двумя методами. Первый состоит в том , что заготовки с ртутью помещают в камеру , заполняемую инертным газом под необходимым давлением. Манипулятором отбивается верхний кончик капилляра, тем самым открывая доступ газу в верхнюю камеру и в капилляр. После этого автомат подносит верхнюю часть капилляра к электрической печи для оплавления и

герметизации. Согласно второму методу все операции производят при атмосферном давлении. В верхнюю камеру после предварительного охлаждения заливают жидкий газ и замораживают его. Жидкий газ должен быть в таком количестве, которое после запаивания открытого конца капилляра и нагрева обеспечит необходимое давление на мениск. [1]

Применения галлия в качестве термометрической жидкости в корпусе из плавленого кварца позволяет производить измерения до 1200°C , не используя высокие давления. Изготовление и эксплуатация галлиевых термометров связаны с рядом затруднений. Галлий легко окисляется и в присутствии окислов начинает налипать на кварцевую поверхность, поэтому заполнение термометра металлом необходимо производить в водородной среде. Чистый галлий и некоторые его сплавы склонны к значительным переохлаждениям (вплоть до 0°C) без затвердевания. Затвердевания галлия в сосуде приводит к разрушению термометра в связи с тем, что галлий обладает свойствами заметного увеличения объема при переходе из жидкого состояния в твердое. [1]

Измерение температуры термоэлектрическим методом.

Основные положения

Термоэлектрический метод измерения температуры основан на возникновении Э.Д.С (электродвижущей силы) в цепи, состоящей из разнородных проводников , при нарушении теплового равновесия. Действие термоэлектрического преобразователя основано на эффекте Зеебека.

Термоэлектрические явления объединяют группу физических процессов, обусловленных взаимными превращениями энергии теплового движения и энергии электрического тока[4]

Эффект Зеебека – в электрической цепи, состоящей и последовательно соединенных разнородных проводников, возникает термоЭ.Д.С., если в местах контактов имеет место различная температура. Причина возникновения термоЭ.Д.С. полагают состоит в том, что с ростом температуры средняя энергия носителей заряда увеличивается. Вследствие этого градиент температуры вызывает диффузионный поток носителей. В разомкнутой цепи в стационарном состоянии плотность тока в любой точке проводника равна нулю. Это происходит потому, что перераспределение носителей заряда в проводнике приводит к появлению электрического поля, которое компенсирует поток носителей, пропорциональных градиенту температуры; при этом в цепи возникает термоЭДС. В простейшем случае, когда такая цепь состоит из двух различных проводников, она называется термопарой. ТермоЭДС термопары зависит от температуры рабочего и свободного спая и от материала проводников, образующих термопару. [1]

В небольшом диапазоне температур термоЭДС можно считать с достаточной для практических целей точностью пропорциональной разности температур и коэффициенту термоЭДС $\alpha = \Delta E / \Delta T$. Коэффициент термоЭДС зависит в первую очередь от материала термоэлектродов, а также от диапазона температур, в котором используется термопара; в некоторых случаях с изменением температуры α изменяет знак. [1]

Создание цепей, состоящих из различных проводников, позволяет экспериментально определить коэффициент термоЭДС проводника А относительно проводника В[1]:

$$\alpha_A - \alpha_B = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{\Delta E_A - \Delta E_B}{\Delta T}$$

В основных представлениях удобно пользоваться абсолютным удельным коэффициентом термоЭДС данного проводника, который можно определить, если данный проводник находится в паре с абсолютным термоэлектродом, не обладающим термоэлектрическим эффектом. Считается что таким абсолютным термоэлектродом может быть любой сверхпроводник. Температурный диапазон существования сверхпроводников узок по сравнению с диапазоном температур, в котором применение ТП эффективно: поэтому абсолютные удельные коэффициенты термоЭДС определяют косвенно, по измеренной теплоте Пельтье или Томпсона. [1]

Эффект Пельтье – в месте контакта разных проводников А и В в дополнение к теплоте Джоуля выделяется или поглощается количество теплоты.(в зависимости от направления тока) пропорциональное силе протекающего электрического тока: $Q_\pi * \pi_{AB}$

Обратимое выделение или поглощение теплоты пелье зависит только от свойств каждого проводника термопары, т.е. от абсолютных коэффициентов Пельтье каждого из проводников. В температурных измерениях это явление может играть существенную роль только при достаточно больших удельных плотностях электрических токов в измерительных цепях. [4]

Эффект Томсона – если вдоль проводника, по которому протекает электрический ток, существует градиент температуры, то в дополнение к теплоте Джоуля в объеме проводника выделяется или поглощается количество теплоты пропорциональное силе тока, градиенту температуры и коэффициенту Томсона, который зависит от природы материала проводника:

$$Q_\sigma = \sigma / \Delta T [1]$$

Применив к трем указанным термоэлектрическим явления первое и второе начала термодинамики, Томсон вывел соотношения[1]:

$$\sigma = \frac{T d\alpha}{dT}, \pi = T\alpha$$

Абсолютный удельный коэффициент термоЭ.Д.С.

Явление Томпсона по своей природе абсолютно, что позволяет по измеренным значениям коэффициент Томсона найти абсолютное значение коэффициента Пельтье и коэффициента Зеебека. Коэффициент Зеебека получается интегрированием уравнения: [1]

$$\sigma = \frac{T d\alpha}{dT}; \alpha(T) = \int_0^T \frac{\sigma}{T} dT$$

Наличие информации об абс.уд. коэффициенте термоЭ.Д.С. хотя бы для одного проводника дает возможность привязки к абсолютной системе отсчета всех данных относительных измерений. При низких температурах в качестве эталона принимается свинец, при высоких и средних температурах – платина. Однако чистые серебро, медь, вольфрам и золото могут оказаться предпочтительнее платины, поскольку имеют низкий абсолютный удельный коэффициент термоЭ.Д.С.. Тем не менее в практике измерение более широкое распространение получила платина, благодаря положительным свойствам, связанных с получением и возможностью сохранения высокой степени чистоты. Поэтому термоэлектрические характеристики многих металлов были исследованы относительно платины. [1]

Технические возможности термоэлектрических преобразователей.

Термоэлектрические преобразователи удовлетворяют большинству требованиям идеальных преобразователей. Они надежны в работе, просты, состоят из двух термоэлектродов. Их конструкция и размеры позволяют обеспечивать небольшой показатель тепловой инерции. Благодаря широкому выбору материалов электрода, измерения температур можно проводить в широком диапазоне (2...3000 К). При измерении достигается высокая точность преобразования (погрешность до 0,01 К) и высокая

чувствительность (до $100 \text{ мкВ} * \text{K}^{-1}$). Термоэлектрические преобразователи представляют собой практически идеальные приборы для измерения разностей температур, величины которых могут доходить до 10^{-7}K . [4]

Таблица 3.

Удельный коэффициент термоЭ.Д.С. чистого свинца в диапазоне температур 0...293 К

t, K	S, $\text{мкВ} * \text{K}^{-1}$	t, K	S, $\text{мкВ} * \text{K}^{-1}$	t, K	S, $\text{мкВ} * \text{K}^{-1}$
0	0	18	-0,78	113,2	-0,91
5	0	20	-0,78	133,2	-0,96
7,5	-0,22	30	-0,77	153,2	-1,02
8	-0,29	40	-0,76	173,2	-1,06
8,5	-0,29	50	-0,77	193,2	-1,1
9	0,34	60	-0,77	213,2	-1,15
10	-0,43	70	-0,78	233,2	-1,18
11	-0,51	80	-0,79	253,2	-1,21
12	-0,59	90	-0,82	273,2	-1,25
14	-0,7	100	-0,86	293,2	-1,27
16	-0,77	-			

Таблица 4.

Удельный коэффициент термоЭ.Д.С. чистых металлов в диапазоне
100...2400 К

Т, К	S, мкВ * К ⁻¹ , для металлов						
	Cu	Ag	Au	Pb	Pd	W	Mo
100	1,19	0,73	0,82	4,2	2	-	-
150	1,12	0,85	1,02	1,32	-1,63	-	-
200	1,29	1,05	1,34	-1,27	-4,83	-	-
273	1,7	1,38	1,79	-4,45	-6	0,13	4,71
300	1,83	1,51	1,94	-3,28	-9,99	1,07	5,57
400	2,34	2,08	2,46	-7,83	-13	4,44	8,52
500	2,83	2,82	2,86	-9,89	-16,03	7,58	1,12
600	3,33	3,72	3,18	-11,06	-19,06	10,29	13,27
700	3,83	4,72	3,43	-13,31	-22,09	12,66	14,94
800	4,34	5,77	3,63	-14,88	-25,12	14,65	16,13
900	4,85	6,85	3,77	-16,39	-28,15	16,28	16,86
1000	5,36	7,95	3,85	-17,86	-31,18	17,57	17,16
1100	5,88	9,06	3,88	-19,29	-34,21	18,63	17,08
1200	6,4	10,15	3,86	-20,69	-37,24	19,18	16,65
1300	6,91	-	3,78	-22,06	-40,27	19,58	15,92
1400	-	-	-	-23,41	-43,3	19,6	14,94
1600	-	-	-	-26,06	-49,36	18,97	12,42
1800	-	-	-	-28,66	-55,42	17,41	9,52
2000	-	-	-	-31,23	-61,48	15,05	6,67
2200	-	-	-	-	-	12,01	4,3
2400	-	-	-	-	-	8,39	2,87

Таблица 5

Характеристики различных материалов в паре с платиной.

Термоэлектрод		ТермоЭ.Д.С мВ, при $t=100^{\circ}\text{C}$ и $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$	Допускаемая конечная температура, $^{\circ}\text{C}$	
Материал	Обозначение и состав		При длительном нагреве	При кратковременном нагреве
Хромель	90% Ni, 10% Cr	+2,95	1000	1250
Нихром	80% Ni, 20% Cr	+2	1000	1100
Железо	Fe	+1,8	600	800
Молибден	Mo	+1,31	2000	2500
Платиноиридий	90% Pt, 10% Ir	+1,3	1000	1200
Золото	Au	+0,8	-	-
Манганин	84% Cu, 13% Mn, 2%Ni, 1% Fe	+0,8	-	-
Вольфрам	W	+0,79	2000	2500
Медь	Cu	+0,75	350	500
Серебро	Ag	+0,72	600	700
Цинг	Zn	+0,7	-	-
Платинородий	90% Pt, 10%Rh	+0,64	1300	1600
Свинец	Pb	+0,44	-	-
Алюминий	Al	+0,4	-	-
Платина	Pt	0,0	1300	1600
Алюмель	95% Ni, 5% (Al, Si, Mn)	-1,2	1000	1250
Никель	Ni	-1,52	1000	1100
Константан	60% Cu, 40% Ni	-3,4	600	800
Копель	56% Cu, 45% Ni	-4,0	600	800
Палладий	Pd	-0,57	-	-

Конструкция термоэлектрических преобразователей

Условно термоэлектрические преобразователи подразделяются на термопреобразователи общепромышленного назначения и специальные. Термоэлектрический преобразователь – это термопара с изолированными в защитную арматуру.

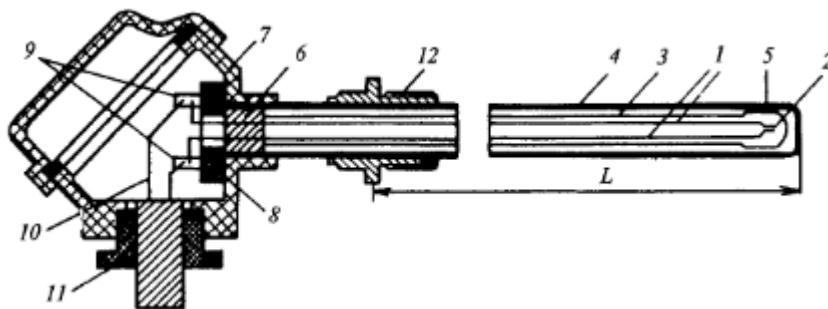


Рис.5. Конструкция преобразователя общепромышленного назначения: 1 – электроды; 2 – рабочий пай; 3 – трубка; 4 – защитная арматура; 5 – керамический наконечник; 6 – заливка; 7 – головка; 8 – сборка; 9 – зажимы; 10 – удлиняющие провода; 11 – герметизированный ввод; 12 – элементы крепления термопреобразователя.

На рисунке представлена схема устройства одной из разновидностей преобразователя общепромышленного назначения. Электроды 1 термопреобразователей ТХК и ТХА общепромышленного назначения обычно выполняют из проволоки диаметром, обеспечивающим пренебрежимо малое сопротивление термопары и достаточную механическую прочность. При этом можно не учитывать изменение сопротивления электродов при изменении температуры, что важно при использовании некоторых типов милливольтметров в качестве вторичных приборов. Рабочий спай 2 обычно выполняют сваркой. [1]

Для изоляции термоэлектродов используют кварцевые или фарфоровые трубки или бусы. При более высоких температурах применяются оксиды металлов: бериллия, магния, алюминия и т.п. На рисунке в качестве изолятора изображена трубка 3, представляющая стержень с двумя продольными отверстиями, в которые пропущены электроды. Рабочий спай может быть защищен керамическим наконечником 5. Материалом защитной арматуры 4 обычно является нержавеющая сталь, при температурах выше

900°С используются специальные сплавы. Арматура заканчивается головкой 7, в которой расположена сборка 8 с зажимами 9, к которым подведены электроды термопары и через герметизированный ввод 11 – термоэлектродные удлиняющие провода 10. Внутренняя полость защитной арматуры может быть герметизированна заливкой 6 верхней части. На наружной поверхности арматуры могут располагаться элементы 12(например, штуцера) для крепления защитной арматуры к объекту. Защитная арматура может не иметь штуцера, либо штуцер может быть подвижным. В этой конструкции рабочий спай изолирован от защитной арматуры, однако существуют конструкции, в которых рабочий спай приварен к чехлу или прижат к нему. Это снижает инерционность преобразователя, но резко уменьшает помехозащищенность измерительного канала, особенно при заземлении какой – либо точки входного элемента потенциометра. Это вызвано тем , что рабочий спай через свою арматуру и защитный чехол оказывается заземленным, причем в другой точке, чем заземление измерительного прибора. В этом случае образуется паразитный контур и при различии потенциалов точек заземления на входе вторичного прибора появляется паразитный сигнал, не устранимый входным фильтром. В силу этого целесообразно применять преобразователи с изолированным рабочим спаем. [1]

Специальные преобразователи изготавливаются на основе кабельных термопреобразователей типов КТХАС, КТХАСП, КТХКС. Они предназначены для измерения температуры от -50 до 1000°С и в основном используются в ректорной термометрии. Кабельные термопреобразователи имеют наружный диаметр от 1 до 6 мм, длину от 10 до 50м с числом жил 2 или 4(одна жила или одна пара жил из хромеля, другая из копеля или алюминия). [1]

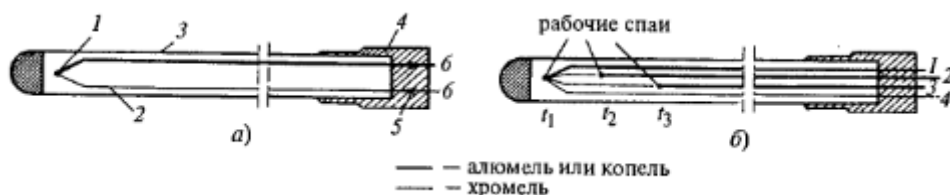


Рис.6. Конструкция термоэлектрического преобразователя специального применения: а,б – одно- и многозонный преобразователи; 1 – рабочий спай; 2 – термоэлектроды; 3 – оболочка; 4 – втулка; 5 – герметик; 6 – выводы.

В кабельных преобразователях изоляция термоэлектродов осуществляется спрессованным порошком оксида магния. Существенным ее недостатком является гигроскопичность, причем с повышением влажности она набухает (может разорвать оболочку) и теряет изоляционные качества. Поэтому герметизация концов термопреобразователя с последующей проверкой ее качества обязательна. Материал оболочки – нержавеющая сталь. При малых диаметрах термопреобразователя электроды оказываются очень тонкими и с большим погонным сопротивлением. Для повышения прочности и уменьшения сопротивления измерительной цепи во втулке 4 они наращиваются более толстыми проводниками того же материала, которые и являются выводами. [1]

В качестве изолятора может быть использован оксид алюминия, обладающий хорошими изоляционными свойствами до 1200°C, радиационно стойкий, подобно оксиду магния, он также гигроскопичен. Его недостаток – твердость зерен, что не обеспечивает плотной упаковки и соответственно высокой изоляции. Для измерения температур до 2000°C может быть использован оксид бериллия, недостаток которого – токсичность. [1]

Специфические требования предъявляются и к материалам оболочек термопреобразователей для реакторных измерений: минимальное сечение поглощения нейтронов, минимальная наведенная активность, высокая радиационная стойкость, высокая коррозионная стойкость и технологичность. В качестве материала применяются стали с большим содержанием никеля. При изготовлении термопреобразователей важно следить за качеством изоляции электродов между собой и от оболочки.

Наличие трещин в изоляции приведет к понижению сопротивления под действием излучения и появлению ионизационных токов. Поэтому обязательной является процедура проверки герметичности оболочки и измерение сопротивления изоляции. По существующим нормам сопротивление должно быть не менее 1000 МОм. [1]

Термопары для измерения высоких температур

Термопары хромель – алюмель. Термопары хромель алюмель являются наиболее высокотемпературными и жаростойкими среди серийно выпускаемых термопар из неблагоприятных металлов. Алюминий, которым легируют никель, уменьшает его окисление на воздухе, образуя плотный оксидный слой; марганец и кремний защищают никелевый термоэлектрод от воздействия серы, связывая ее на поверхности в сульфиды. [1]

По данным работ (), измерение термоЭ.Д.С. термопар хромель – алюмель во время их эксплуатации при высоких температурах в воздухе = результат двух процессов: роста зерен при рекристаллизации сплавов и окисления легирующих компонентов, ведущих к изменению уровня и градиента внутренних механических напряжений. [1]

Следует отметить, что в реальных условиях эксплуатации термоэлектрических преобразователей среда, температуру которой измеряют, не является чистой. Поэтому изменения термоЭ.Д.С. промышленных преобразователей могут значительно отличаться от экспериментальных лабораторных данных. Кроме того, большое значение имеют материал защитной арматуры, ее состояние. Так, эксплуатация хромель – алюмелевых термопреобразователей с защитной арматурой из стали 0Х23Ю5А в углеродосодержащей (1,2%) среде при 900...950°С в течении 4000 ч приводила к изменению показаний на $\pm 6^{\circ}\text{C}$. Термопреобразователь, защитная арматура которого имела брак (микротрещины, некачественное выполнение сварных швов), уже через 300 ч занижал показания на 150°С [1]

Термопары силх – силин и нихросил – нисил были получены в результате исследований, направленных на улучшение основных параметров термопреобразователей. Положительной электрод такой термопары изготовлен из никелевого сплава марки НХК0-0,9, а отрицательный – из никелевого сплава марки НК2,4. Срок службы такой термопары в два раза дольше в сравнение с хромель – алюмелевой, а дрейф термоЭ.Д.С. на

20%...50% меньше. Максимальное отклонение термоЭ.Д.С. от первоначальных значений не превышает 2% за время эксплуатации в спокойной атмосфере чистого воздуха до 120 тыс. ч при 750°C. [1]

Термопары платинородий – платина. Наиболее надежные термопары из благородных металлов изготавливают из сплавов платины с родием. Платинородиевые сплавы хорошо противостоят окислению при высоких температурах и являются наиболее стабильными в окислительных средах. При нагреве в контакте с так называемыми платиновыми ядами(фосфором, мышьяком, кремнием, оловом, свинцом) платина и ее сплавы охрупчиваются. [1]

Наиболее известный представитель этой группы – термопара ПР10/0. Она наиболее точна и лучше изучена, чем другие термопары. В определении МПТШ – 68 она указана в качестве одного из интерполяционных приборов и почти всегда используется для установления НСХ методом сравнения. Ее применяют для длительных измерений в окислительных и инертных средах при температурах до 1400 °C и для кратковременных измерений до температур 1600...1750°C. ТермоЭ.Д.С. термопары уменьшается со временем при температурах выше 1400 °C вследствие испарения родия и его миграции в платиновый термоэлектрод. [1]

Термоэлектроды всех термопар платинородиевой группы следует оберегать от загрязнения жирами, маслами, тщательно обезжиривая их при сборке преобразователей. Не рекомендуется применять в качестве изоляции необожженный асбест, отрицательно действующий на термоэлектроды при прямом контакте. [1]

Термопары, изготовленные из сплавов платины с родием, можно успешно применять вплоть до 1800°C. Использование сплавов дает возможность увеличивать прочность термопар при высоких температурах и, по – видимому, уменьшает влияние загрязнения на термоЭ.Д.С. [1]

Манометрические термометры.

Принцип действия манометрических термометров основан на использовании однозначной зависимости между температурой и давлением термометрического вещества, находящегося в герметично замкнутой манометрической термосистеме. Манометрическая термосистема состоит из термобаллона, соединительной трубки (капилляра) и упругого чувствительного элемента, которые вместе образуют герметический объем, занятый наполнителем – термометрическим веществом.

В зависимости от рода рабочего вещества и его агрегатного (фазового) состояния манометрические термометры подразделяют на три класса: газовые (Г), жидкостные (Ж) и конденсационные (К) и парожидкостные.

Конструкция манометрического термометра приведена на рис.7. Манометрическая термосистема состоит из термобаллона, капилляра и манометрической пружины. Температура термобаллона, погруженного в исследуемую среду, функционально преобразуется в давление рабочего вещества манометрической системы. Соединительный капилляр передает изменение давления на манометрическую пружину. Держатель соединяет внутреннюю полость закрепленного конца пружины с капилляром.

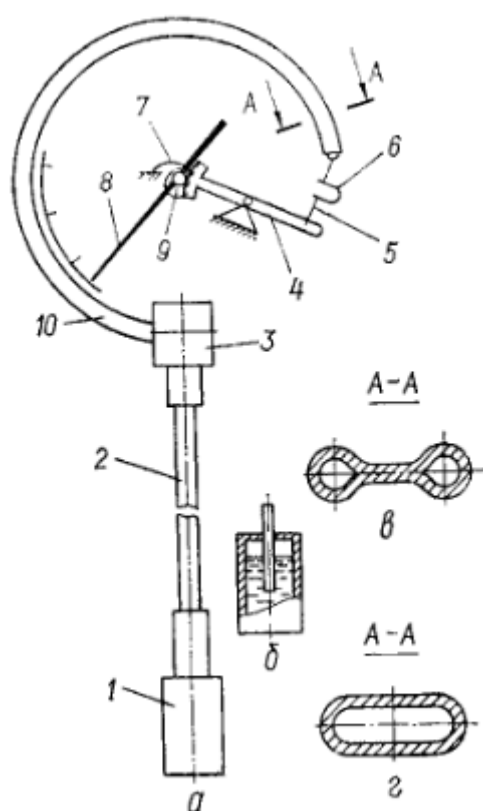


Рис.7. Схема устройства показывающего манометрического термометра: а – термосистема; б – термобаллон; в, г – профили сечения пружины; 1 – термобаллон; 2 – капилляр; 3 – держатель; 4 – сектор; 5 – поводок; 6 – компенсатор; 7 – спиральный волосок; 8 – указательная стрелка; 9 – трибка; 10 – манометрическая пружина.

Свободный герметизированный конец пружины шарнирно связан поводком с зубчатым сектором, который находится в зацеплении с трибкой. На оси трибки насажена стрелка – указатель. Зазор в передаточном механизме выбирается спиральной пружиной. [4]

Термобаллон имеет цилиндрическую форму; его диаметр и длина зависят от рода термометрического вещества и диапазона измеряемых температур.

Термометрическая система заполняется рабочим веществом под некоторым давлением, разным для газовых, жидкостных и конденсационных термометров. Термобаллон конденсационного термометра заполнен рабочей жидкостью на 0,7...0,75 его объема (рис, б). Верхнюю часть баллона заполняют насыщенные пары этой жидкости. Капилляр конденсационного термометра погружен на такую глубину, чтобы его открытый конец всегда находился в конденсате.

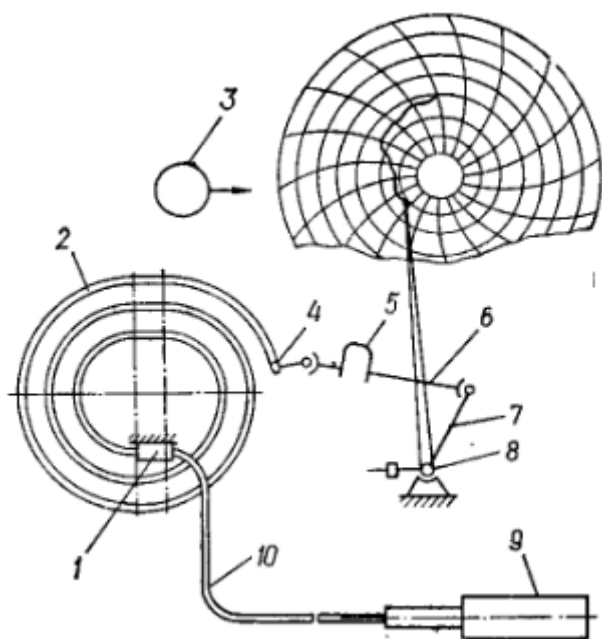


Рис.8. Схема устройства самопишущего термометра: 1 – держатель; 2 – спиральная манометрическая пружина; 3 – двигатель; 4 – скоба; 5 – компенсатор; 6 – поводок; 7 – рычаг; 8 – ось рычага; 9 – термобаллон; 10 – капилляр.

При изменении температуры изменяется давление внутри манометрической системы, происходит деформация пружины. Свободное перемещение конца пружины с помощью передаточного механизма (звеньев 5, 6 и 7) преобразуется во вращение стрелки – указателя относительно отметок оцифрованной в градусах Цельсия шкалы. Вариация температуры среды, в которой находится пружины, т.е. отклонение температуры пружины от ее нормального значения 20°C , устраняется с помощью термобиметаллического компенсатора (рис, а).

В самопишущих манометрических термометрах (рис) давление в термосистеме, однозначно связанное с температурой термобаллона и передаваемое капилляром, преобразуется в деформацию спиральной пружины. Один конец пружины закреплен в держателе, а свободный конец шарнирно связан посредством скобы, поводка, термобиметаллического компенсатора с рычагом, который жестко соединен с поворотным рычагом. Перо для записи показаний расположено на конце рычагом. Запись показаний производится на дисковой бумажной диаграмме, которая приводится во вращение (чаще со скоростью одного оборота в сутки) с

помощью часового механизма или электрического синхронного микродвигателя. Имеются модификации манометрических термометров, записывающих показания от двух отдельных термосистем. [4]

Манометрические термометры применяются для измерения, записи и регулирования температуры жидкостей, паров и газов в диапазоне $0...1000^{\circ}\text{C}$. Термометры выпускаются с классами точности 1,0; 1,5; 2,5 при заполнении термосистемы газами или жидкостями и с классами точности 1,5; 2,5; 4,0 при заполнении термосистемы конденсатом. Для конденсационных термометров класс точности устанавливается для последних двух третей температурной шкалы. [1]

Диапазон работы газовых манометрических термометров - $150...600^{\circ}\text{C}$. В качестве рабочего вещества при температурах до 200°C используется азот, при более высоких температурах – аргон. [1]

Изменение давления в термосистеме термометров прямо пропорционально начальному давлению и диапазону измеряемых температур. Из – за частичного перетекания газа из термобаллона в капилляр и манометрическую пружину линейная характеристика нарушается, однако нелинейное искажение невелика, так что шкала газовых термометров оказывается практически линейной. Начальное давление в системе зависит от диапазона измеряемых температур. Так при $\Delta t = 0...100^{\circ}\text{C}$ начальное давление $p_n \approx 3,8 \text{ МПа}$, при $\Delta t = 0...600^{\circ}\text{C}$ $p_n \approx 1,5 \text{ МПа}$.

Манометрические термометры с жидким заполнителем рассчитаны на работу в диапазоне – $150...300^{\circ}\text{C}$ с диапазонами измерения 25; 50; 100; 150; 200; 250°C . В качестве рабочих веществ использовались спирт, метаксилол, ртуть, в разработках – полиметилсилоксановая жидкость. [1]

Объем термобаллона существенно зависит от выбора жидкости и диапазона измерений данного термометра. Начальное давление в системе выбирается значительным с целью снижения погрешности, вызванной гидростатическим давлением, которое определяется разностью высот расположения термобаллона и его измерительной системы. С учетом этого

фактора длина соединительного капилляра для жидкостных манометрических термометров ограничено десятью метрами. Шкалы жидкостных термометров практически линейны. [1]

Конденсационные (парогазовые) манометрические термометры перекрывают диапазон – 50...300°C с диапазонами измерений для различных приборов 50; 100; 120; 150; 200 и 300°C. Для заполнения термосистемы применяют фреоны – 22, предел измерений -25...+80°C; пропилен, предел измерений -50...+60°C; хлористый метил, предел измерений 100...200°C; этилбензол, предел измерений 160...300°C. [1]

Зависимость давления насыщенного пара от температуры жидкости, выражаемая формулой Клайперона – Клаузиуса, является существенно нелинейной. Начальное давление в манометрической системе конденсационных термометров определяется родом наполнителя и начальным значением шкалы термометра. Для данного наполнителя верхний предел шкалы ограничен значением его критической температуры. Неравномерность шкалы термометра может устраняться принятием дополнительных конструктивных мер – введением ограничителей деформации манометрической пружины. [1]

В отличие от газовых термометров, термобаллон конденсационных термометров невелик. Так, для термометра ТПП – СК диаметр и длина термобаллона составляют 16 и 78 мм. В тех же условиях длина термобаллона газовых термометров варьируется от 125 до 400мм при диаметре 20мм

Погрешности манометрических термометров и способы их уменьшения.

Методические погрешности манометрических термометров вызываются действием ряда факторов: [1]

1. Отсутствием термодинамического равновесия между термобаллоном, его наполнителем и исследуемой средой;
2. Отклонением температуры или внешнего давления от условий, для которых рассчитывался и градуировался термометра;

3. Гидростатическим давлением, зависящим от разности уровней расположения термобаллона и регистрирующих звеньев прибора.
4. Измерительным преобразователем манометрических термометров является термобаллон, а собственно чувствительным элементом – рабочее вещество термобаллона. Задача о том, насколько отличается температура наполнителя термобаллона от температуры исследуемой среды, решается аналогично решению по ИПТ других приборов контактного действия. Здесь в полной мере применимы и справедливы оценочные зависимости и рекомендации по уменьшению составляющих погрешности от действия теплоотвода, излучения или инерционности, приведенные в литературе. [1] В практике измерений термобаллон термометра может устанавливаться в цилиндрический карман (защитную гильзу), а зазор между термобаллоном и гильзой заполняется с целью улучшения контакта жидкостью или металлическими опилками. При таком способе монтажа погрешности из-за теплоотвода и тепловой инерционности термобаллона увеличиваются. [1]

Динамическая составляющая методической погрешности манометрических термометров изменяется в широких пределах в зависимости от типа термометра, размеров термобаллона условий его теплообмена с исследуемой средой и может оцениваться по рекомендациям, приведенным в литературе [1].

Количество термометрического вещества в термобаллоне не постоянно и определяется значениями его температуры. Вытесняемый из термобаллона в капилляр наполнитель, будь то газ или жидкость, будет принимать значения температуры, соответствующие температуре окружающей среды (например, температуре воздуха помещения, где находится регистрирующая часть прибора и проходит дистанционные капилляры). Отклонение этой температуры от нормального значения приводит к возникновению дополнительной погрешности. Для ее снижения при проектировании

манометрических газовых и жидкостных термометров устанавливают определенное соотношение между внутренними объемами термобаллона, манометрической пружины и капилляра, а также регламентируют глубину погружения термобаллона в исследуемую среду в зависимости от длины капилляра. Перечисленные меры позволяют нормировать дополнительную погрешность манометрических термометров, возникающую из-за непостоянства температуры окружающего воздуха. [1]

Влияние изменения температуры воздуха на механические характеристики пружины компенсируется термобиметаллическим корректором (рис.7, а)

Изменение давления окружающего воздуха приводит к появлению погрешности, характерной в основном для конденсационных термометров. Эта погрешность является составной частью нормируемой для всех манометрических термометров допускаемой основной погрешности (ГОСТ 8.305 – 78). Дополнительная гидростатическая погрешность, характерная для жидкостных конденсационных манометров, нормирована ограничениями длины их капилляров. [1]

Термометры сопротивления.

Действие ТС основано на температурной зависимости электрического сопротивления. Указанным свойством обладают многие материалы, но лишь некоторые из них удовлетворяют эксплуатационным требованиям, связанным со стабильностью свойств и нечувствительностью к внешним воздействиям по другим физическим параметрам (плотность магнитного потока, давление, потока нейтронов и т.п.).

Весь комплекс эксплуатационных и метрологических требований удовлетворяется узкой номенклатурой материалов, представленных разными видами веществ, заметно способных проводить электрический ток: металлами, полупроводниками, электролитами. [1]

Термометры сопротивления обладают хорошими термометрическими свойствами. Благодаря высоким метрологическим качествам платиновые ТС используются для воспроизведения МПТШ – 68 в диапазоне температур 13,81...903,89 К. Полупроводниковые ТС обладают экстремальными характеристиками, поддающимися конструктивной вариации в широких пределах. Поэтому они наряду с металлическими термометрами эффективно используются в системе измерения, контроля и автоматизации в промышленных технологических комплексах. [1]

ТС состоит из чувствительного элемента соответствующей конструкции, защитной арматуры и соединительных проводов (рис). Изменение сопротивления чувствительного элемента фиксируется показывающим прибором или регулятором. Способ включения ТС определяется схемой вторичного прибора и диапазоном измеряемой температуры. [1]

Платиновые ТС. Основные требования, которым должен удовлетворять материал чувствительного элемента ТС [1]:

1. Нечувствительность к малым примесям, которые могут появиться в процессе изготовления или эксплуатации;
2. Простота технологии получения и изготовления.

В промышленных условиях применение платиновых ТС нормировано для измерений до 1100°C

Зависимость относительного сопротивления от температуры для платины описывается уравнениями, регламентированными МПТШ – 68. Для измерения низких температур платиновые ТС с соблюдением требований метрологической культуры целесообразно пользоваться зависимостью $T = f(W)$ в виде стандартной таблицы[7].

При измерении низких температур сопротивление ТС уменьшается и остаточное сопротивление составляет уже несущественную часть всего сопротивления цепи. При этом наблюдается незначительный разброс номинальных статических характеристик ТС, обусловленный степенью чистоты применяемой платиновой проволоки, способом ее получения, видом термической обработки, конструкцией преобразователя и т.п.[1]

С целью обеспечения взаимозаменяемости ТС они разбиваются на группы с похожими характеристиками и комплектуются вторичными приборами, имеющими соответствующие статические характеристики. При этом вторичные приборы могут иметь вставки для подстройки измерительной схемы к фиксированным номинальным статическим характеристикам. В зависимости от условий применения, требований, предъявляемых к точности измерения, промышленностью выпускаются платиновые ТС различных конструкций. [1]

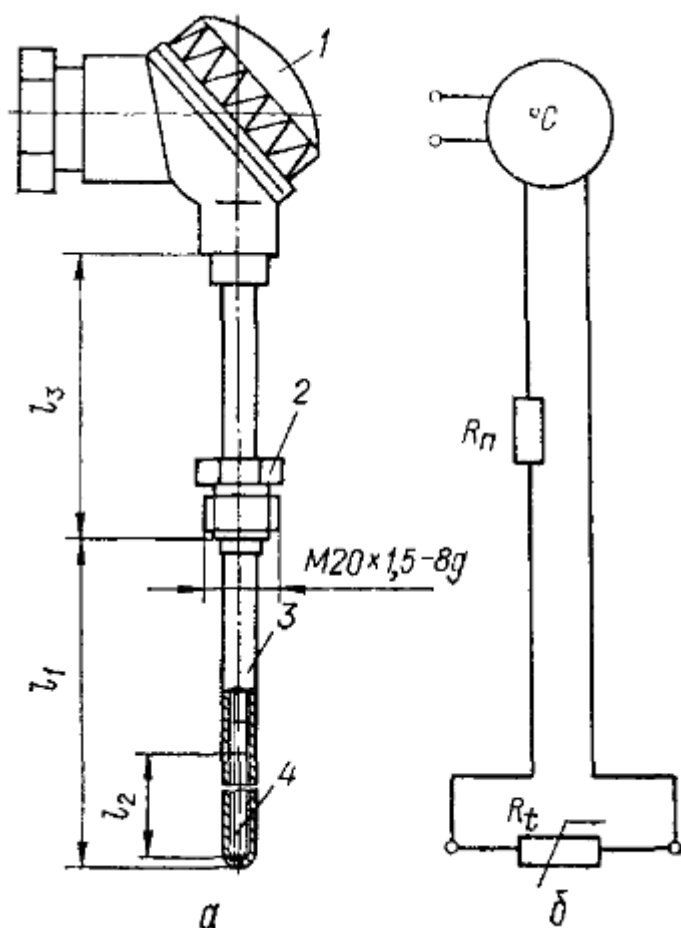


Рис.8. Термопреобразователь сопротивления (а) и схема его включения (б). 1 – головка; 2 – штуцерная гайка; 3 – арматура; 4 – чувствительный элемент.

Требования к технологии изготовления ТС.

Для воспроизведения шкалы МПТШ – 68 при изготовлении платиновых ТС чувствительный элемент выполняется из свободной от напряжения, отожженной, чистой платиновой проволоки с отношением сопротивлений при 100°C и при 0°C $W_{100} \geq 1,3925$. При этом короткие участки четырехпроводной линии термопреобразователя, примыкающие к спирали, также изготавливаются из платины. Сопротивление изоляции элементов конструкции должно быть достаточно высоким, чтобы избежать заметное шунтирование сопротивления ТС. Составные части ТС, находящиеся в непосредственной близости к чувствительному элементу, изготавливаются из чистых материалов, не реагирующих с платиной при высоких температурах.

[1]

Конструкция чувствительных элементов.

Для измерения температуры до $630,74^{\circ}\text{C}$ применяются ТС, чувствительные элементы которых изготавливаются из платиновой проволоки диаметром $0,05\ldots 0,2$ мм, намотанной на каркас бифилярно для устранения влияния магнитных помех. В качестве изоляционного каркаса применяются слюдяные пластины, керамические строжки крестообразной формы сечения из кварца или оксида алюминия с канавками, в которых свободно размещаются спирали. Слюда в естественном состоянии содержит связанную воду и адсорбированные газы. В процессе измерения выделяющиеся газы и водяные пары могут захватываться проволокой чувствительного элемента с одновременным измерением сопротивления. Во избежание этого слюдяные каркасы следует перед навивкой прокалить в вакууме. Слюдю рекомендуется применять при температурах до 450°C . Кварц, алунд и фарфор более термостойки и лучше сохраняют изоляционные свойства. При 630°C ток, протекающий по изолятору каркаса, обуславливает погрешность порядка 10^{-3}K . При дальнейшем повышении температуры погрешность, вызванная потерями изоляционных характеристик каркаса, быстро растет и в значительной мере зависит от технологии его изготовления, затем чувствительный элемент стабилизируют нагреванием до 800°C и выдержкой в течение 30 мин. [1]

На протяжении длительного времени для измерения температуры применялась конструкция платинового ТС, предложенная Г. Л. Каллендаром, в которой на слюдяной крест наматывалась платиновая проволока диаметром $0,1\ldots 0,2$ мм. Позже появились ТС с керамическим каркасом. В платиновых ТС для измерения с высокой точностью напряжения в проволоке, возникающее от деформации спирали, сведено к минимуму. Проволока диаметром $0,1$ мм свивается в спираль диаметром $0,45$ мм, а затем бифилярно навивается на слюдяной крестообразный каркас, помещаемый в защитную трубку из пирекса диаметром $7\ldots 7,5$ мм. Чувствительный элемент соединен с головкой термопреобразователя золотыми проводами длиной 430 мм. В

качестве другой типичной конструкции можно привести ТС (1181), чувствительный элемент которого изготовлен из платиновой проволоки диаметром 0,05 мм, сопротивление при 0°C около 25 Ом. Платиновая спираль диаметром 1,5 мм помещается в тонкую U – образную пирексовую трубку с внутренним диаметром, незначительно превышающим внешний диаметр спирали, и толщиной стенки 0,5 мм. Концы спирали припаяны к жестким платиновым вводам так, чтобы спираль была всегда свободна от напряжений. Конструкция термопреобразователя представляет собой двухканальную трубку из оксида кремния, в каналы которой помещена спираль чувствительного элемента(1127). В ТС Стрелкова(98,847) на кварцевый геликоидальный каркас монтируется платиновая спираль из проволоки диаметром 0,07 мм. К концам платиновой проволоки чувствительного элемента приварены небольшие жестко скрепленные с каркасом выводные проводники из платиновой проволоки. К каждому проводнику приварено по два вывода из серебряной, золотой или платиновой проволоки диаметром 0,2...0,5 мм. Чувствительный элемент помещается в защитную трубку из плавленого кварца. [1]

Технические платиновые термопреобразователи должны быть механически прочными и виброустойчивыми. Для этого во многих конструкциях чувствительных элементов отечественного производства свободную платиновую спираль размещают в четырех каналах керамического каркаса (рис8.3) (540 541 547 561) [1]

Для защиты чувствительного элемента от механических и химических воздействий применяются ингибиторные засыпки из боратов щелочных или галогенидов щелочноземельных металлов(1056) [1]

Кроме чувствительных элементов, размещенных в керамических каркасах, отечественной промышленностью выпускается различные конструкции миниатюрных чувствительных элементов из платиновой проволоки, покрытой изоляционным лаком. [1]

Чувствительные элементы промышленных ТС.

Для широкого диапазона выпускаемых промышленностью ТС существует сравнительно узкая номенклатура чувствительных элементов, которые в поисковых исследованиях и начальных технологических разработках могут применяться самостоятельно. Основные их технические характеристики приведены в приложении 1, а допустимые в соответствии с ГОСТ 6651 – 84 отклонения электрических сопротивлений ТС в от номинальных значений приведены ниже

Типы Тс	Класс допуска		
	А	В	С
ТСП	0,05	0,1	0,2
ТСМ	-	0,1	0,2
ТСН	-	-	0,24

При изготовлении чувствительных элементов технических платиновых ТС допустимое отклонение номинального значения при 0°С должно соответствовать А, В, С, классам допуска, медных – В, С классам допуска.[1]

Соединительные провода ТС

Концы измерительной спирали в образцовых ТС соединяются сваркой с U – образными короткими проводами из платины большего диаметра, к которым привариваются соединительные провода, идущие к головке. Материал соединительных проводов выбирается в зависимости от уровня измеряемой температуры и других условий эксплуатации, для которых приборы предназначены. При низких температурах до 300°С и умеренной вибрации используются медные проводники, при умеренных температурах до 500°С - серебряные; при температурах, превышающих 500°С – золотые, палладиевые и платиновые проводники. В случае повышенной вибрации рекомендуются более жетские сплавные провода, например, платинородиевые. [1]

Сопротивление пары соединительных проводов при 0°С не должно превышать 0,1 % от номинального сопротивления чувствительного элемента.

Для изоляции соединительных проводов применяются слюдяные или керамические шайбы с отверстиями, а также трубочки из фарфора, кварца или стекла. Для высокотемпературных ТС используется изоляционный материал из сапфира в виде шайб и бус или другой керамики. [1]

Защитная арматура ТС

В зависимости от диапазона измеряемых температур в качестве защитной арматуры образцовых термопреобразователей сопротивления применяются стекло, кварц, огнеупорные, газоплотные, керамические материалы и платины. Для технических термопреобразователей применяется защитная арматура из других материалов: никель – содержащих, нержавеющей сталей и т.д. [1]

Почти все образцовые термопреобразователи сопротивления имеют газонепроницаемую защитную арматуру, внутренняя полость которой сначала вакуумирована с нагреванием до 450°C, затем заполнена сухим газом и герметически запаяна. Для заполнения арматуры применяется гелий, аргон, азот и сухой воздух[1]

Преобразователи термоэлектрические платиновых, платиновых – платинородиевые.

Преобразователи термоэлектрические ТПП 9717

Назначение : для измерения температуры в окислительных и нейтральных газовых средах, не содержащих веществ, вступающих во взаимодействие с материалами термопары.

Средняя наработка до отказа при номинальных температурах не менее 6000 ч

Тройная защита , 3 слоя высокоплотной керамики

Технические характеристики по ТУ 4211-058-02566540-2006

Диапазон измеряемых температур, °C	0...+1400
Номинальная статическая характеристика (НСХ)	ПП(S)
Класс допуска	2
Показатель тепловой инерции	90
Степень защищенности от пыли и воды	IP54
Материал защитной арматуры	керамика
Изоляция рабочего конца	изолирован
Материал электродов	(+)Пр – 10 (-)ПлТ
Устойчивость к вибрации	Группы исп.L3
Вид климатического исполнения	Уз, Тз

Бесконтактные методы

Тепловое излучение. Пирометры излучения.

Термометрические средства, основанные на тепловом излучении тел, называются пирометрами излучения или просто пирометрами. При температуре, отличной от абсолютного нуля, всякая поверхность испускает электромагнитное излучение. Тепловое излучение – это электромагнитное излучение с длиной волны в диапазоне 0,1...1000 мкм. Внутри этого диапазона находится область видимого излучения (0,4 ... 0,8 мкм). [1]

Теория теплового излучения базируется на электромагнитной теории Максвелла, позволяющей с использованием законов термодинамики и экспериментальных определений скорости распространения света найти все остальные физические характеристики (скорость света в вакууме, постоянная Планка, постоянная Больцмана и т.д. и т.п.). [1]

Законы излучения.

Закон Планка формулируется в следующем виде: [1]

$$M_{\lambda T}^0 = C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}$$

Для части спектра, где $e^{\frac{C_2}{\lambda T}} > 1$, можно пренебречь единицей в знаменателе и получить закон Вина: [1]

$$M_{\lambda T}^0 = \frac{C_1}{\lambda^5 e^{\frac{C_2}{\lambda T}}}$$

При $\lambda T < 3 \cdot 10^{-3}$ мкм погрешность формулы Вина не превышает 1%.

Интегрирование формулы Планка по всему спектру при фиксированном значении температуры приводит к закону Стефана – Больцмана [1]

$$M_T^0 = \sigma T^4$$

Для нечерного тела с коэффициентом излучательной способности при той же температуры полная энергия излучения определяется формулой [1]

$$M_T = \varepsilon_T \sigma T^4$$

Тепловое излучение представляет собой электромагнитное излучение, возбуждаемое тепловым движением атомов и молекул в твердых, жидких и газообразных веществах. При температурах выше 4000 К излучение вызывается процессами ионизации и диссоциации. [3]

Теория пирометрических методов измерений температуры основана на законах, устанавливающих связь между тепловым излучением абсолютно черного тела и его температурой. [3]

Тепловое излучение обладает всеми физическими свойствами характерными для видимого света, т.е. волновыми свойствами, к которым можно отнести: [[]]

- Прямолинейное распространение со скоростью света;
- Прохождение через некоторые вещества;
- Преломление на границе раздела сред;
- Отражение и рассеяние на препятствиях;
- Интерференция и дифракция;
- Поляризации при рассеянии или прохождении через вещество;
- А так же свойствами, которые можно объяснить только корпускулярной природой, к которым относятся:
- Поглощение (ослабление) веществами;
- Способность вызывать фотоэффект (выбивание фотоэлектронов из облучаемого вещества).

Хотя с позиции электромагнитной теории излучения нет никакой принципиальной разницы между γ – лучами, светом, тепловым излучением и радиоволнами – все они представляют собой электромагнитное излучение и определяются они, прежде всего, величиной длины волны. Классификация различных видов излучения в зависимости от длины волны графически показана на рис. [3]

Электромагнитное излучение с длинами волн, заключенными между переходной областью у рентгеновских лучей и переходной областью у

радиоволн называют оптическим излучением. Таким образом, понятие «оптическое излучение» охватывает понятия «ультрафиолетовое излучение», «видимое излучение» и «инфракрасное излучение». Спектральный диапазон оптического излучения (оптический диапазон) лежит в границах от 1 нм до 1 мм (указанные границы диапазона носят условный характер и приводятся согласно рис.). [3]

Нижняя граница видимого излучения считается лежащей между 0,38 и 0,40 мкм, а верхняя граница – между 0,76 и 0,78 мкм. В качестве синонима термина «видимое излучение» используется термин «свет». [3]

Инфракрасное излучение – излучение, характеризующееся длинами волн, расположенными в диапазоне от 0,78 мкм до 1 мм. [3]

Разработка чувствительных приемников ИК позволяет применять пирометрические методы не только для измерения высоких, но и низких температур. Приборы для измерения температур объектов по их тепловому электромагнитному излучению называются пирометрами. [3]

Классификация пирометров.

Основные признаки, от которых зависят возможности и свойства пирометров – принцип действия, используемая область спектра излучения, особенности конструкции, а также метрологические и технические характеристики. [3]

От температуры тела зависят различные параметры его теплового излучения, а именно: энергетическая яркость и спектральное распределение энергетической яркости. Таким образом, по принципу действия, т.е. зависимости от параметров излучения, используемого для измерения температуры, следует различать пирометры спектрального распределения и энергетические. [3]

К энергетическим относятся пирометры, принцип действия которых основан на использовании зависимости измерения энергетической яркости излучающего тела от изменения его температуры. [3]

К пирометрам спектрального распределения – пирометры, принцип действия которых основан на использовании изменения относительного спектрального распределения энергетической яркости излучающего тела от изменения его температуры. [3]

К энергетическим пирометрам относят пирометры полного и частичного излучения, и монохроматические. [3]

Пирометры полного излучения

Энергетические пирометры, воспринимающие излучение без искажений, т.е. не селективно во всем спектре. При этом зависимость воспринимаемой пирометрии интегральной энергетической яркости от температуры для случая визирования черного тела должна описываться законом Стефана – Больцмана. На практике обычно на спектральную область воспринимаемого излучения накладывает ограничение оптика пирометра. Поэтому реальные пирометры полного излучения отвечают вышеприведенному критерию лишь в небольшом температурном интервале (при высоких температурах), в результате чего правильнее их отнести к пирометрам частичного излучения с неселективным приемником излучения. [3]

Монохроматические пирометры

Пирометры, воспринимающие излучения в стольком узком спектральном интервале, что зависимость воспринимаемой энергетической яркости от температуры в применении к черному телу может быть описана с достаточным приближением формулой Планка (Вина). Как правило, в таких пирометрах для монохроматизации излучения воспринимаемого приемником пирометра используют либо узкополосные интерференционные фильтры, либо монохроматоры, либо стеклянные отрезающие фильтры, которые в сочетании с кривой спектральной чувствительностью приемника обеспечивают узкую полосу пропускания. К последним относятся визуальные пирометры с исчезающей нитью. [3]

Пирометры частичного излучения

Пирометры, которые воспринимают излучение объекта в достаточно широком, но ограниченном интервале длин волн (часто при использовании селективного приемника без фильтра). При этом зависимость воспринимаемой энергетической яркости от температуры в применении к черному телу не может быть описана с необходимым приближением ни формулой Стефана – Больцмана, ни формулой Планка (Вина). [3]

Основные методы измерения тепловых потоков.

Калориметры

Для измерений тепловых потоков в камерах сгорания и т.п. используют различные методы : энтальпийный, теплового сопротивления, оптический и т.д.

Энтальпийный метод основан на изменении теплосодержания жидкости под действием теплового потока. Приборы , использующие этот принцип, называют калориметрами. Они являются элементами конструкции агрегата или устанавливаются взамен их. В котлоагрегатах калориметрами могут быть выделенные их общей циркуляции экранные или кипятильные трубы, к которым подведена вода и подключены устройства для измерения ее расхода и температуры. Достоверность результатов , полученная с помощью калориметров, зависит от воспроизведения на них условий, имеющих место на соседних экранных трубах. Такая идентичность условий в большинстве случаев весьма проблематична. Связано это в основном с различной загрязненностью калориметрических и экранных труб. Поэтому изучение тепловых нагрузок с помощью калориметров не может дать точных абсолютных величин. Результаты таких измерений можно рассматривать как ориентировочные. Кроме того, исследования с помощью стационарных калориметров не позволяет выявить распределение теплоты по высоте и ширине тепловоспринимающей поверхности. С этой целью применяются переносные калориметры различных конструкций. [2]

Обычно применяют торцевые или угловые калориметры (Рис.9) Приемным тепловоспринимающим элементов в этих приборах служит либо медная коробка , по которой циркулирует вода, либо медная пластинка, охлаждаемая с внутренней стороны калориметра змеевиком – лабиринтом 8 (Рис.9. б). Тепловоспринимающая поверхность элемента обычно зачерняется. Общее тепловосприятие калориметра Q , отнесенное к 1 м^2 площади поверхности f элемента: [2]

$$q = \frac{Gc\Delta t}{f}$$

Где G – расход воды на охлаждение элемента, кг/ч; c – теплоемкость воды, кДж / (кг*°С); Δt – разность температур на входе и выходе тепловоспринимающего элемента, °С.

Применение дифференциальной термопары, расположенной в непосредственной близости от входа и выхода охлаждающей воды в измерительный элемент, значительно повышает точность и чувствительность калориметра. Известно, что температура охлаждающей среды влияет на развитие слоя, загрязняющего тепловоспринимающую поверхность. Это обстоятельство, и ряд других (большие растечки теплоты, связанные с высокой теплопроводностью материала приемного элемента, неточность в определении Δt , G и т.д.) сказываются на точности определения значений локального теплового потока, воспринимаемого экранами, с помощью переносного калориметра. Кроме того, эти приборы обладают значительной тепловой инерционностью. [2]

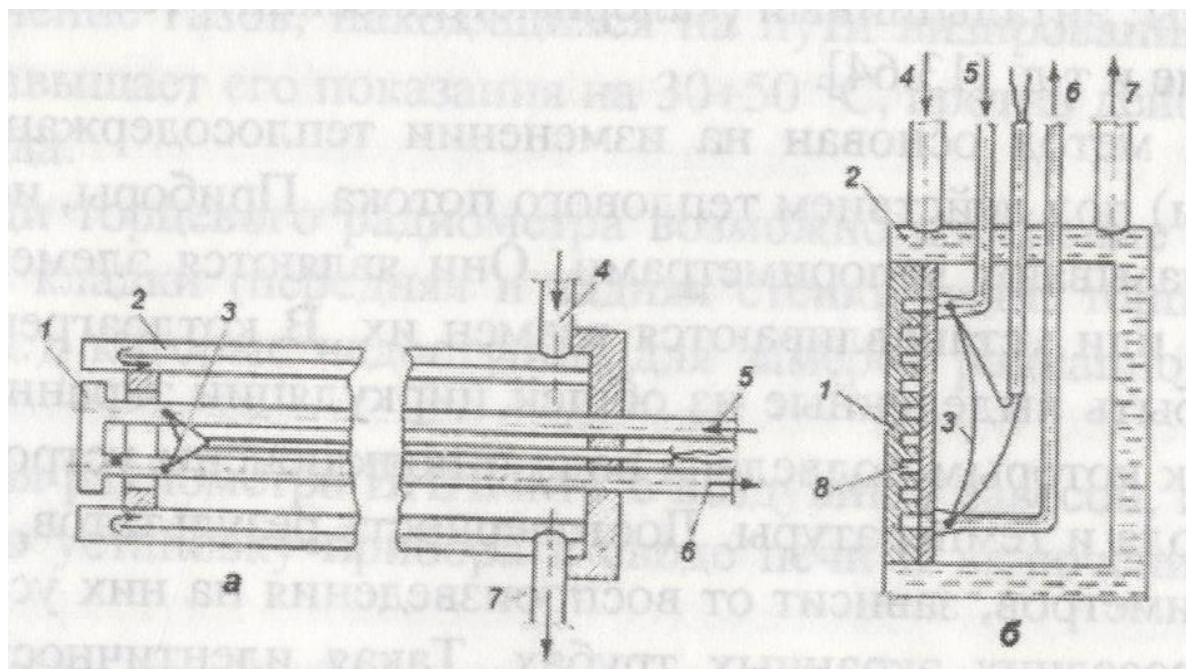


Рис.9. Схема торцевого (а) и углового (б) калориметра: 1 – приемный тепловоспринимающий элемент; 2 – защитный водоохлаждаемый кожух; 3 – дифференциальная термопара; 4, 7 – вход и выход воды для охлаждения кожуха; 5, 6 – вход и выход воды для охлаждения элемента; 8 – водоохлаждаемые лабиринты.

Термозонды.

Использование термозондов основано на методе теплового сопротивления.

Температурные вставки.

При изучении теплообмена в топках паровых котлов для измерения локальных тепловых потоков применяются температурные вставки, которые вваривают в экранные трубы. Принцип работы вставок основан на методе теплового сопротивления. Вставки с $\delta_s = \delta_m$ (δ_s, δ_m – толщина стенки вставки и экранной трубы) даже при самом тщательном исполнении дают погрешность измерений не менее 15%. Связано это с неточностью (неопределенностью) установки термопар в столь тонкой стенке. Более точные результаты дает применение вставок с утолщенными стенками (рис.10) Тепловые растечки по металлу трубы снижаются радиально – продольными пазами 4, заполненными огнеупорной массой. Это позволяет измерять с помощью вставок не только локальные тепловые потоки на лобовой образующей экранных труб, но и эпюру распределения тепловых потоков в поперечном сечении трубы, для чего дополнительные термопары устанавливают на боковых и тыльных сторонах вставки. Необходимость в пазах 4, ограничивающих каждую пару термопар, зависит от целей исследований. Тепловой поток, проходящий через лобовую образующую вставки: [2]

$$q = \frac{(t_1 - t_2)2\lambda}{\mu \ln \frac{d_1}{d_3}}$$

Где t_1, t_2 – температуры, фиксируемые термоприемниками; λ – коэффициент теплопроводности металла вставки; μ – поправочный коэффициент, определяемый при тарировке вставки. [2]

Вставки с утолщенными стенками хотя и снижают погрешность измерений за счет уменьшения относительной неопределенность при монтаже спаев термопар, но им присущи все погрешность измерения температуры с помощью глубинных термопар. Татировка вставок при

поведении исследовательских работ обязательна. Причем условия тарировки при экспериментах по определению эпюры распределения тепловых потоков в поперечном сечении трубы следует максимально приблизить к натурным. [2]

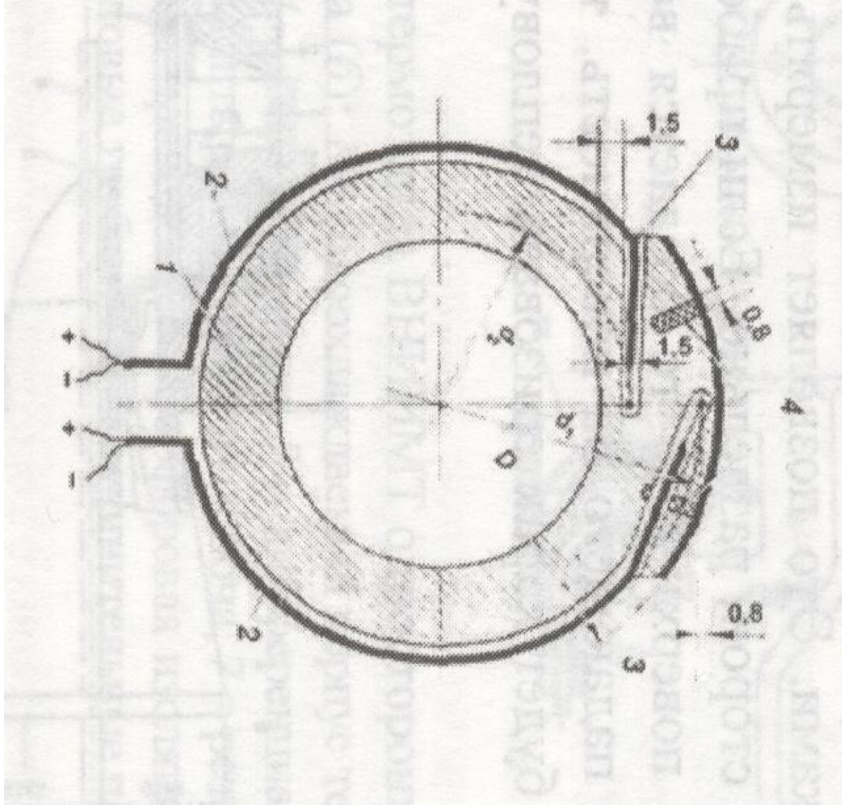


Рис. 10. Вставка с утолщенной стенкой: 1 – точечный цилиндр; 2 – термопары; 3 – сверления для термопар; 4 – радиально - продольные пазы.

Переносные термозонды

При исследованиях локального теплообмена в топочных камерах котлов и печей чаще применяют термозонды. Теплоприемником у термозонда является твердое тело, через которое теплота отводится к охлаждающей среде. Для определения теплового потока, прошедшего через приемник, измеряют падение температуры Δt на некоторой высоте δ приемника. Тогда измеренный тепловой поток : [2]

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \Delta t$$

Где λ – теплопроводность материала теплоприемника.

Пирометры оптоволоконные ПД - 10

Назначение:

Пирометры серии ПД-10 разработаны для массового применения в металлургии, машиностроении, химической промышленности. Высокая степень защиты от электромагнитных помех позволяет использовать данный прибор для измерения температуры в индукционных печах.

С помощью пирометров данной серии возможно построение системы регулирования температуры по ПИД-закону.

Краткое описание:

Конструктивно и функционально пирометр ПД-10 полностью аналогичен пирометру ПД-7. Дополнительно пирометр комплектуется блоком сканирования силовой сети с оптикоэлектронной развязкой. Выход управления нагрузкой предназначен для подключения к твердотельному реле, коммутирующему силовую цепь нагревателя. Твердотельное реле выбирается в зависимости от токов и напряжений нагрузки. Настройка параметров регулятора производится с ПЭВМ либо при помощи кнопок на лицевой панели прибора. Для задания коэффициентов ПИД-закона необходимы базовые знания теории регулирования.

Технические характеристики	ПД – 10
Диапазон измерения температуры, °С	300...2500
Показатель визирования	1:150
Рабочая температура, °С	до 50 Кабель до 150
Время отклика, с	1.0, 0.2, 0.1, 0.05
Выходной сигнал, мА (токовый выход)	0 - 20, 4 - 20, 0 - 5 перепрограммируемые пределы токового выхода
Тип интерфейса	RS232
Микропроцессорная обработка сигнала	+
Уставка параметров предупреждения	Пид регулятор
Встроенный ЖКИ дисп-лей,	+

панель управления	
Тип питания	24В
Спектральный диапазон, мкм	0,9...1,7
Коэффициент излучения (коррекция)	0.1...1.5 с шагом 0.001
Предел допускаемой основной погрешности, %	± 1 %

Измерение температуры в элементах ТЭС

Измерение температуры котлов поверхностными термоэлектрическими термометрами.

Выявление необходимых режимов надежной работы и их контроль во многом определяется обеспечением необходимых температурных параметров работы металла отдельных элементов котлов(трубы , коллекторы, барабаны и др.). Для этого обычно используются поверхностные ТТ. [2]

Точность измерения температуры поверхностным ТТ зависит главным образом от устройства последнего и способа заделки его рабочего конца в стенку трубы или барабана(коллектора). Для измерения температуры стенок труб ТТ могут быть установлены как непосредственно в газоходах, так и вне их. В первом случае измеряемая температуры будет характеризовать температуру стенки, превышающую температуру находящейся за ней среды, а во втором она будет примерно соответствовать этой температуре. Для измерений температуры воды или пара в отдельных змеевиках труб поверхностные ТТ устанавливают со сторон выхода среды на расстоянии 250-300 мм (но не менее 50 мм) от коллектора. В этих случаях ТТ изготавливают из термоэлектродной проволоки диаметром не более 1мм. В практике измерения температуры не обогреваемых наружных стенок трубок применяют следующие способы установки поверхностных ТТ: [2]

- Термоэлектроды термопары зачеканивают отдельно в две канавки , вырубленные крейцмейселем в стенке трубы(рис 1, а);
- Рабочий конец термопары зачеканивают в стенку трубы(рис, б). Для этого острым зубилом отгибают на поверхности трубы небольшую стружку толщиной 0,5 мм, длиной и шириной по 5 мм, под которую кладут скрученный рабочий конец ТТ, после чего стружку слегка зачеканивают;
- Термоэлектроды термопары зачеканивают отдельно в наплавленный автогенной сваркой на поверхности трубы стальной бугорок(рис,в) или в приваренную к трубке бобышку. Во втором случае термоэлектроды

вкладывают в две пропиленные в бобышке параллельные канавки(рис,г) или в два отверстия, просверленных с торцевой стороны бобышки.(рис,д,е,)

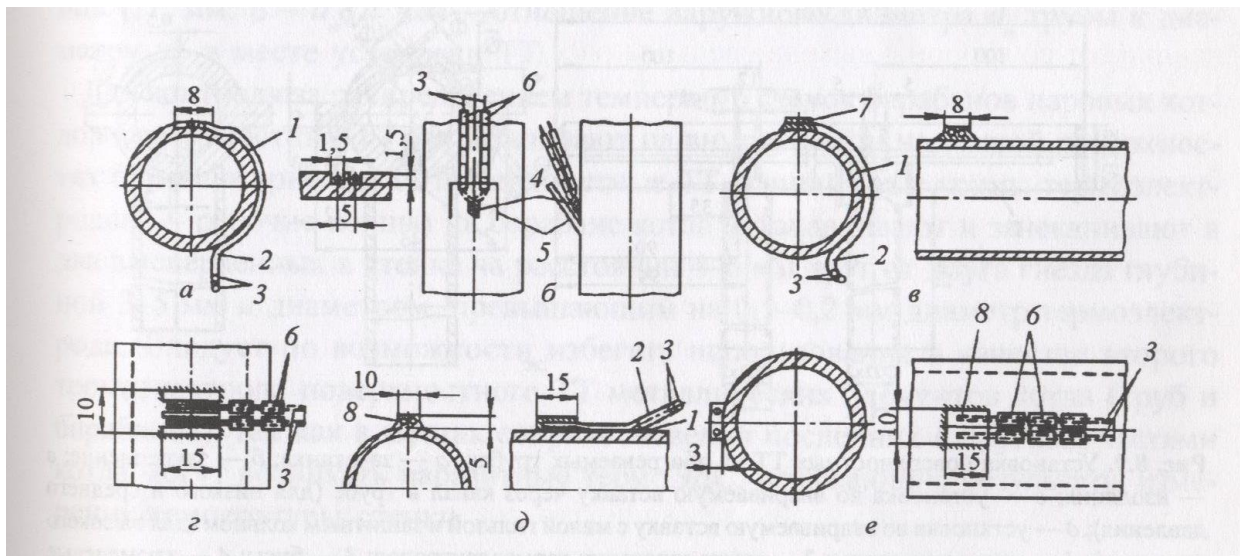


Рис. 9. Установка поверхностных ТТ на не обогреваемых трубах: а – зачеканка в канавки, вырубленные в стенке трубы; б – зачеканка под стружку трубы; в – зачеканка в наплавленный бугорок металла; г – зачеканка в прорези приваренной бобышки; д, е – зачеканка в отверстия приваренной бобышки; 1 – слюда; 2 – изоляция; 3 – термоэлектроды; 4 – рабочий конец термопары; 5 – стружка; 6 – бусы; 7 – бугорок; 8 – бобышка;

Из перечисленных способов установка ТТ наиболее удобным является раздельная зачеканка термоэлектродов в приваренной к стенке бобышке. Для уменьшения оттока теплоты от мест зачеканки термоэлектродов необходимо последние плотно прижать к стенке трубы или барабана котла и тщательно изолировать места зачеканки и отходящие от них провода (на длине 300-500мм) асбестовым шнуром диаметром 100мм, а затем тепловой изоляцией слоем 40-50мм. Погрешность измерения поверхностными ТТ температуры необогреваемых поверхностей в диапазоне 150 – 600°С , связанная с применением перечисленных способов их установки, обычно не превышает 1% измеряемой температуры. [2]

Установку поверхностных ТТ на трубах в топочной камере и в газоходах котла производят следующим способом. В стенке трубы, обращенной навстречу движению дымовых газов(рис2,а), высверливают два

углубления диаметром 2-3 мм и глубиной 1.5 – 3 мм (соответственно для установок среднего и высокого давления), в которые зачеканивают концы термоэлектродов. [2]

ТТ изолируют надетыми на термоэлектроды керамическими бусами небольшого диаметра (рис2,б) и через каждые 100мм длины трубы прижимают к ее стенке скобами из хромелевых полос толщиной 0.5 мм. Скобы закрепляют на трубке бандажами из хромелевой проволоки диаметром 1.5 мм. Концы скоб слегка отгибают от трубы, чтобы скрепляющая их проволока не могла соскользнуть на термоэлектроды. Провода ТТ выводят из газохода вдоль оси трубы и изолируют по длине слоем алундового цемента, смешанного с 5% распушенного асбеста(рис2,в) толщиной 3-4 мм . При применении ТТ кабельного типа необходимости в такой изоляции нет. [2]

Для измерения температуры металла труб в обогреваемой зоне наибольшее распространение получил метод установки ТТ со вставками(рис2,г-ж). Этот метод обеспечивает наибольшую долговечность ТТ, но сложен, так как требуются разрезка и сварка обогреваемых труб котла. [2]

Для определения местных тепловых потоков , падающих на экранные поверхности топочных камер (НРЧ, СРЧ и т.д.), используют калориметрические вставки конструкции ЦКТИ. Конструктивно они мало отличаются от вставок, приведенных на рис 2,е,ж. До применения каждая калориметрическая вставка должна быть протарирована на пароводяном стенде по методике ЦКТИ с учетом расстояния между рабочими концами ТТ и относительно наружной и внутренней поверхностями трубы вставки. В общем случае удельный тепловой поток ($\frac{Bm}{m^2}$), при применении вставок: [2]

$$q = \frac{\Delta t}{2\mu(\frac{\delta_2}{\lambda_2} * \frac{\beta_2}{\beta_2 + 1} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} * \frac{\beta_1}{\beta_1 + 1})}$$

Где Δt - разность температур между наружным и внутренним ТТ, °С; μ – коэффициент растечки; λ – коэффициент теплопроводности металла труб в месте установки ТТ. Вт/($m^2 \cdot ^\circ C$); δ – глубина заложения ПТ, мм; $\beta = \frac{d_n}{d_n' 2\delta}$ – отношение наружного диаметра d_n трубы к диаметру d_n' в месте установки ТТ.

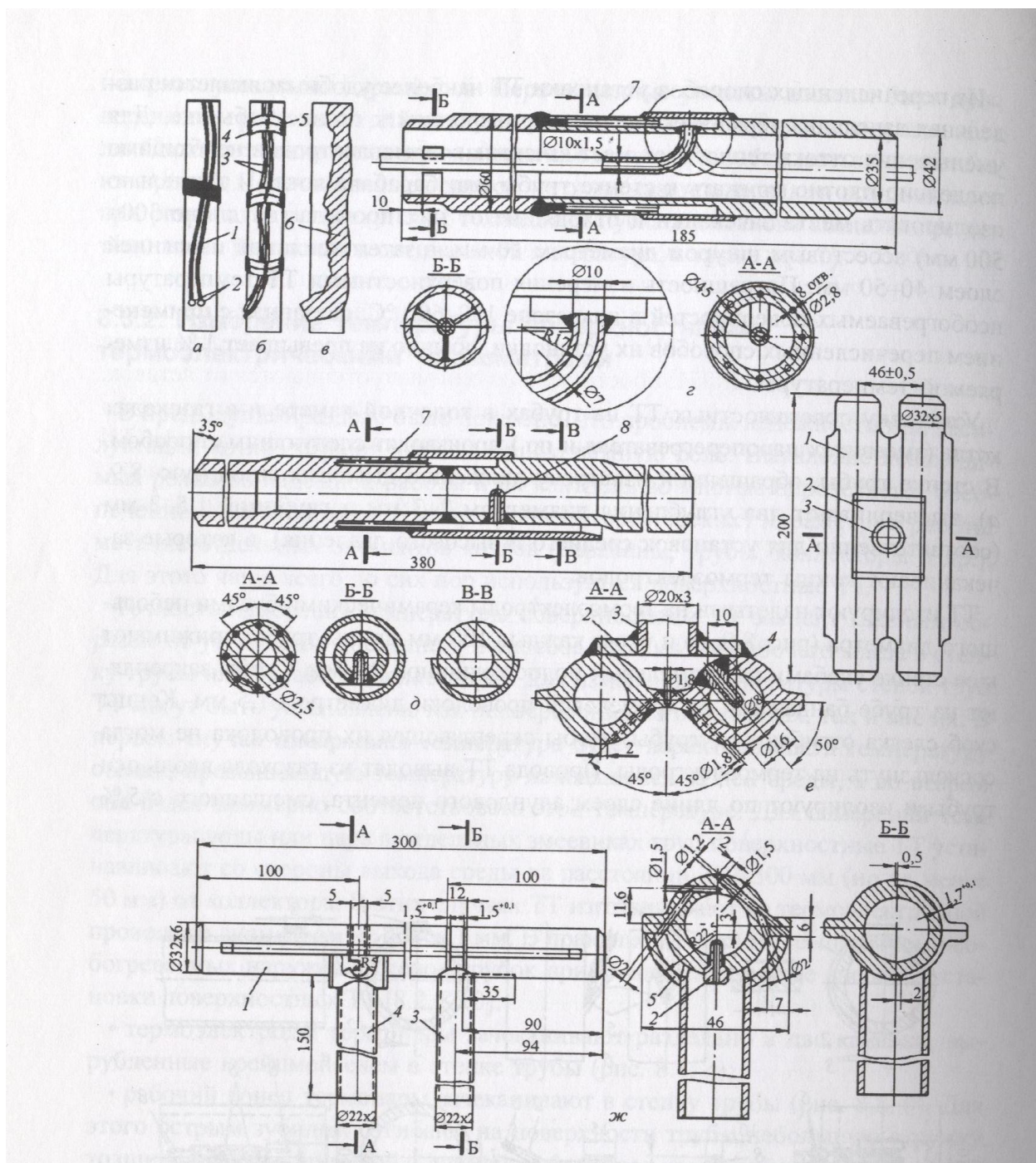


Рис.10. Установка поверхностных ТТ на обогреваемых трубах: а – зачеканка; б – закрепление; в – изоляция; г – установка во свариваемую вставку через канал в трубе (для низкого и среднего давления); 1 – термоэлектроды; 2 – места зачеканки термоэлектродов; 3 – бусы; 4 – хромелевые гильзы; 5 – проволочные бандажи; 6 – алундовый цемент; 7 – сверление; 8 – гильзы; е – вставка ВТИ для плавниковых труб; 1 – плавниковая труба; 2 – пластина; 3 – труба для подвода термоэлектродов; 4 – гильза для глубинного ТТ; ж – универсальная вставка ОРГРЭС – ТКЗ для плавниковых труб; 1 – труба; 2 – гильза для глубинного ТТ; 3, 4 – патрубки для ввода термоэлектродов; 5 – защитный козырек.

Для контроля за распределением температур стенок барабанов паровых котлов поверхностные ТТ устанавливают на внутренней и наружной поверхностях барабана (рис.11). Поверхностные ТТ (зачищенные концы электродов – рабочие концы) на барабане котла устанавливают и зачеканивают в два высверленных в стенке на расстоянии 4-6 мм друг от друга гнезда глубиной 3 – 5 мм и диаметром, превышающим на 0,1-0,2 мм диаметр термоэлектрода. Следует по возможности избегать использования в качестве второго термоэлектрода поверхностного ТТ металлических элементов котла (труб и барабанов), так как в местах соприкосновения последних с другими частями котла могут возникать паразитные термоЭДС, искажающие результаты измерения температуры стенки. [2]

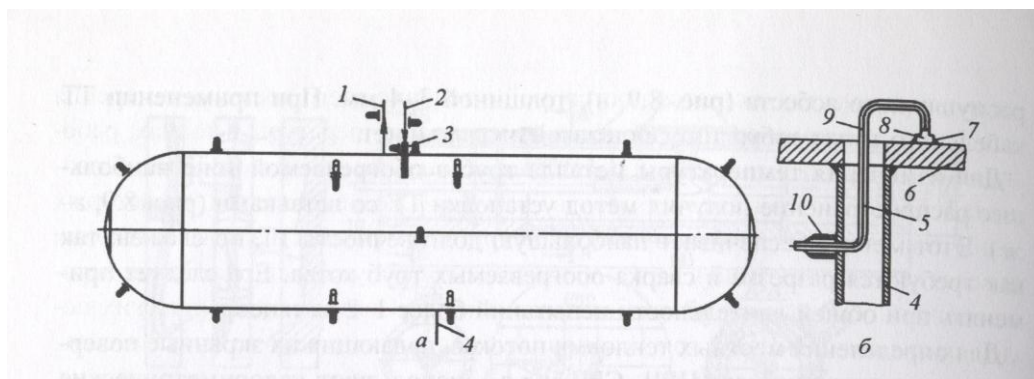


Рис.11. Схема размещения поверхностных ТТ на внутренней и наружной поверхностях барабана однобарабанных котлов: *а* – схема установки датчиков; *б* – схема узла вывода преобразователя, устанавливаемого на внутренней поверхности барабана; 1 – трубопровод питательной воды из водяного экономайзера; 2 – пароперепускная труба одной из ступеней пароперегревателя; 3 – рубашка на трубопроводе ввода питательной воды; 4 – водоотводная труба двухцветного экрана; 5 – термоэлектродный провод; 6 – стенка барабана; 7 – бобышка; 8 – колпачок; 9 – защитная труба диаметров 16Х3 мм; 10 – штуцер; незалитые обозначения ТТ – поверхностные ТТ, устанавливаемые на внутренней поверхности барабана, залитые – поверхностные ТТ, устанавливаемые на наружной поверхности барабана, подводящих и отводящих труб.

Определение изотермических полей в топке котла.

Измерение температуры пламени в топке котла в настоящее время возможно с помощью оптического пирометра и тепловизора. Использование тепловизоров предпочтительнее, т.к. их применение позволяет широко использовать компьютерные технологии отображения полученных данных. [2]

Измерение температуры пламени позволяет получить лишь среднюю температуру части факела, расположенной против точки измерения. Для определения характера распределения температур в топочном пространстве на каждой стенке топки равномерно по ее высоте должны быть расположены 16-18 лючков для котлов $D \leq 320 \text{ т/ч}$ или до 50 лючков для $D \geq 320 \text{ т/ч}$.

Изотермические поля факела наносят на предварительно выполненный ряд одинаковых эскизов топки в масштабе 1:100, на которых указывают координаты отдельных точек измерения и их нумерацию, соответствующую нумерации точек котла. Следует учитывать, что температура факела в отдельных точках измерения может быстро изменяться, и, следовательно, не всегда повторные ее измерения будут давать совпадающие результаты. Поэтому при снятии характера распределения изотерм в топке (через лючки одновременно по обеим сторонам котла) условно принимают, что температура факела в отдельных его частях, остается постоянно в течении всего времени измерения (до 1ч.). В целях ускорения процесса измерения температуры в топках, работающих под разрежением, и обеспечения безопасности занятого этим персонала, снятие изотерм следует производить двум исследователям, из которых один измеряет температуру прибором, а другой открывает и закрывает лючки и ведет запись показаний в журнале наблюдений в случае использования переносного пирометра излучения без блока памяти. Снятие изотермических полей разрешается только при установившемся режиме работы котла и соответствующем разрежении в топке. [2]

При построении изотерм делается допущение, что температура факела между соседними точками изменяется линейно. Для изображения изотерм в топке берут по ее эскизу расстояние между двумя точками измерения, на которое делят разность температур в этих точках. Затем находят точки, через которые должны проходить линии, соответствующие температурам 1000°C, 1050°C, 1100°C, 1150°C и т.д. [2]

Так, например, средняя температура части факела в точке измерения 7 равна 1520°C, а в точке 10 1320°C. Расстояние по эскизу между этими точками составляет 30,8 мм. Тогда масштаб температуры будет равен $(1520 - 1320) / 30,8 = 6,5^\circ\text{C}/\text{мм}$ и линии температур 1350°C и 1400°C будут находиться до точки 7 на расстоянии, соответственно $(1520-1350) / 6,5 = 26$ мм и $(1520 - 1400) / 6,5 = 18,5$ мм. [2]

Измерение температуры в турбоустановках.

Измерение температуры свежего пара на ТЭС производится контактным методом. В качестве первичных преобразователей применяются термоэлектрические термометры. Монтаж ТТ производится на каждом паропроводе свежего пара за впрыскивающим устройством, перед главной паровой задвижкой и в стопорном клапане. Чувствительный элемент ТТ должен находиться в центре поперечного сечения трубопровода. [2]

Особый подход требуется к измерению температуры перегретого пара за цилиндрами турбины и в отборах в тех случаях, когда отсосы пара из промежуточных камер уплотнений вала отводятся или непосредственно в выхлопной патрубок цилиндра, или в трубопровод отбора. В этом случае из-за близкого расположения термометрической гильзы к цилиндру и влияния отсосного пара измеренная температура пара за цилиндром или в отборе будет непредставительной. В таких случаях целесообразно производить измерение температуры смеси на расстоянии 3 – 4 м от места ввода отсосного пара и отдельно температуру и расход отсосного пара из уплотнения, а температуру пара за цилиндром или в отборе определять косвенно по уравнению смешения потоков: [2]

$$t_{cp} = \frac{D_1 t_1 + D_2 t_2}{D_1 + D_2}$$

Если есть возможность отвести отсасываемый от уплотнения пар подальше от цилиндра, то можно организовать непосредственное измерение температуры пара за цилиндром или в отборе, но при этом термометрическую гильзу необходимо установить на отводящем паропроводе на расстоянии не менее 2 м от корпуса цилиндра. [2]

Для измерения температуры влажного пара лучше использовать гильзы, расположенные вне зоны больших скоростей. [2]

Методика измерения температуры

Измерение температуры в форкамере и в проточном тракте исследуемой модели проводилось термопарным методом. Для обеспечения работоспособности и получения достоверных результатов был осуществлен выбор типа и характеристик термопары.

При измерениях в высокотемпературных потоках, как правило, используют хромель-алюмелевые (ХА), хромель-копелевые (ХК), вольфрам-рениевые (ВР) термопары [5]. Характеристики термоэлектродных материалов и материалов термопар приведены в таблице 2 [6].

Таблица 2

Характеристики термоэлектродных материалов и материалов термопар

Материал	ρ , кг · м ⁻³	λ , Вт · м ⁻¹ · К ⁻¹	c , Дж · кг ⁻¹ · К ⁻¹	Предельная температура, °С
Алюмель	8500	47.7	548	1000
Вольфрам	19100	157	141	2000
Копель	9000	21	420	600
Хромель	8700	37.7	602	1000
Рений	21040	48.2	138	3180
ХА–термопара	8600	42.7	575	1300
ХК–термопара	8850	29.35	511	900
ВР 5/20–термопара	19330	143.35	140.5	2300

При измерениях в динамических (импульсных) потоках необходимо использовать термопары с высоким временным разрешением. Оценка динамических характеристик термопар проведена на основании сравнения характерных времен разных термопар – характерного времени t_1 распространения тепловой волны в рабочем спае сферической формы (время выравнивания) и характерного времени t_2 , за которое устанавливается равенство средней температуры спая и температуры торможения набегающего потока T_0 .

Характерное время t_1 выравнивания температуры в спаяе термопары сферической формы определяется по формуле [7]:

$$t_1 = \frac{R^2 \rho c}{\lambda},$$

где ρ, c, λ – плотность, удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности материала термопары.

Оценка характерного времени t_2 проведена из решения задачи теплопроводности внутри сферического спая [7]:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} t = 0: \quad T &= T_n; \\ r = 0: \quad \frac{\partial T}{\partial r} &= 0; \\ r = R: \quad \lambda \frac{\partial T}{\partial r} &= q \end{aligned} \right\},$$

где $T = T(t, r)$ – распределение температуры в объеме термопары; T_n, q – начальная температура термопары и плотность теплового потока на поверхности термопары; R – радиус рабочего спая термопары.

В условиях конвективного теплообмена при размещении термопары в потоке газа с температурой торможения T_0 , плотностью ρ_∞ и скоростью V_∞ набегающего потока, интегрируя уравнение (1) по объему в предположении $T(t) \approx T_w$, получим

$$\frac{dT}{dt} = \frac{3}{5} \cdot \frac{\alpha}{\rho c R} (T_0 - T),$$

откуда следует формула для оценки t_2 :

$$t_2 = \frac{5}{3} \frac{\rho c R}{\alpha},$$

где α – коэффициент теплоотдачи в передней критической точке термопары.

При сверхзвуковых скоростях обтекания коэффициент теплоотдачи α_0

можно определить по аппроксимационной формуле [8]:

$$\alpha = 1.05 c_p \sqrt{\frac{\rho_\infty}{R g}} V_\infty^{1.08},$$

где удельная изобарическая теплоемкость газа $[c_p] = \text{Дж} \cdot (\text{кг} \cdot \text{К})^{-1}$, $[\rho_\infty] = \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$, $[V_\infty] = \text{км} \cdot \text{с}^{-1}$; $g = 9.81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ – ускорение свободного падения.

Результаты расчета времени t_1 выравнивания температуры в зависимости от радиуса рабочего спая термопар приведены на рис. 7

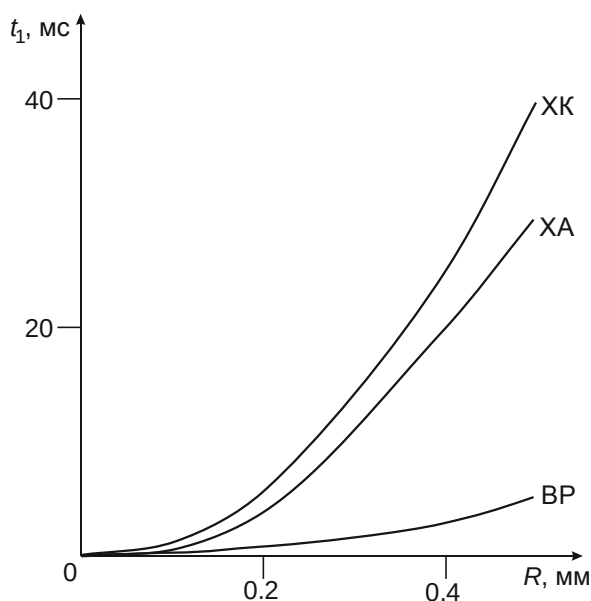


Рис. 7.

Время выравнивания температуры в зависимости от радиуса рабочего спая термопары

В табл. 3 приведены значения t_1 для термопар с радиусом рабочего спая $R = 0.4 \text{ мм}$.

Таблица 3.

Время выравнивания температуры рабочего спая термопар

Тип термопары	ХК-термопара	ХА-термопара	ВР-термопара
t_1 , мс	25	18	3

Из приведенных данных видно, что значения t_1 для хромель-копелевой и хромель-алюмелевой термопар соизмеримы, а в рабочем спае вольфрам-рениевой термопары однородное температурное поле устанавливается значительно быстрее. В связи с этим оценка времени t_2 в диапазоне чисел

Маха $M = 2 \div 6$ проводилась для двух типов термопар – хромель-копелевой и вольфрам-рениевой (рис. 8).

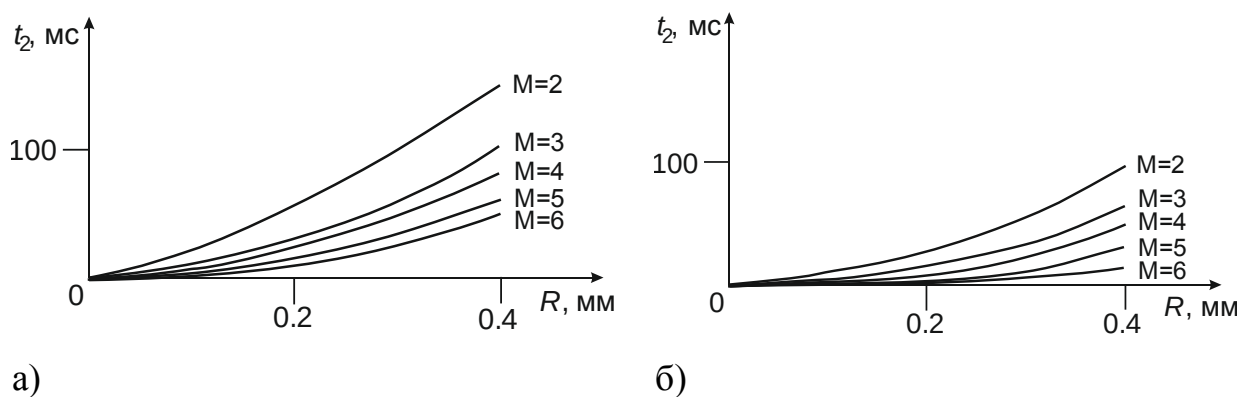


Рис. 8.

Зависимости $t_2(R)$ для ХК-термопары (а) и ВР-термопары (б)

В табл. 4 приведены значения t_2 для рассмотренных термопар с радиусом рабочего спая $R = 0.4$ мм при разных числах Маха.

Таблица 4.

Время t_2 для термопар с радиусом рабочего спая $R = 0.4$ мм

M		2	3	4	5	6
$t_2, \text{мс}$	ХК	149	102	80	64	54
	ВР	90	62	47	38	32

Получено, что для обоих типов термопар в исследуемом диапазоне скоростей воздушного потока время t_2 значительно меньше времени работы МАУ (~ 5 с).

На основании анализа динамических характеристик термопар для измерения температуры в проточном тракте исследуемой модели была установлена стандартная хромель-копелевая термопара с диаметром рабочего спая 0.8 мм, не требующая, в отличие от нестандартной вольфрам-рениевой, индивидуальной градуировки. Учитывая, что значение предельной температуры ХК-термопары составляет 600°C , а температура торможения набегающего потока не превышает 500°C , то выбранная термопара обеспечивает необходимую точность температурных измерений. При временах $t \gg t_1$, $t \gg t_2$ в рабочем спаяе термопары устанавливается

однородное температурное поле со средней температурой, равной температуре торможения потока T_0 .

Температура воздушного потока определялась по заданным значениям температуры торможения T_0 и числа Маха по формуле [9]:

$$T = T_0 \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{-1},$$

где γ – показатель адиабаты газа.

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

По заданию на бакалаврскую работу необходимо провести анализ методов и средств измерения температуры и тепловых потоков в элементах ТЭС.

Расчет затрат на проектирование

Поэтапный список работ, работающие исполнители, оценка объема трудоемкости отдельных видов работ сведена в таблице №

Таблица 1

- Перечень работ и оценки времени их выполнения

№	Наименование работ	Время для выполнения задания в днях	
		Инженер	Руководитель
1.	Составление и выдача задания	1	1
2.	Сбор информации по объекту модернизации и ее анализ.	7	
2.1	Характеристика оборудования установленного на ТЭЦ являющегося объектом модернизации (питательные насосы).	2	
2.2	Анализ схемы включения питательных насосов и турбопривода на ТЭЦ.	3	
2.3	Расчет характеристик питательного насоса с турбоприводом.	6	
2.4	Расчет и проектирование турбопривода.	8	
2.5	Выбор турбопривода.	1	
3.	Финансовый менеджмент.	3	
4.	Социальная ответственность.	3	
5.	Консультации с руководителем	2	2
6.	Оформление отчета	4	
7.	Проверка исправлений и замечаний и утверждение ВКР руководителем	1	1
	Итого	41	4

Расчет сметы затрат на разработку проекта.

Затраты на расчет проекта

$$K_{np} = I_{mat} + I_{am} + I_{zn} + I_{co} + I_{np} + I_{nr}$$

Где :

I_{mat} – материальные затраты, руб.;

I_{am} – затраты на амортизацию, руб.;

I_{zn} – затраты на заработанную плату, руб.;

I_{co} – затраты на социальные отчисления, руб.;

I_{np} – прочие затраты, руб.;

I_{nr} – накладные расходы, руб.

Материальные затраты при проведении работы

В ходе работы была истрачена: бумага формата А-4, А-1 для принтеров, краска на принтере, канцелярские товары.

Материальные затраты принимаем 1100руб.

Амортизация основных фондов и нематериальных актив.

К основным фондам при выполнении проекта относятся электронная вычислительная техника (компьютер, ноутбук) и печатающее устройство (принтер), данные приведены в таблице 3

Таблица 3

Вид техники	Количество	Стоимость техники, Цк.т.	Норма амортизации, Там.	Иам.
Компьютер	1	45000руб.	20%	1010,9руб.
ноутбук	1	32000руб.	20%	718,9руб.
Принтер	1	5000руб.	20%	112 руб.

Амортизационные отчисления найдем по формуле:

$$И_{ам} = \frac{T_{исп.к.п}}{T_{кал.дней}} \cdot Цк.т. \cdot \frac{1}{T_{ам.}}$$

Где:

Цк.т.- цена компьютерной техники;

Т_{ам.} – срок службы;

принимаем Т_{ам.} = 5 лет (компьютер, принтер, ноутбук);

Т - время использования основных фондов (в днях).

$$И_{ам. Комп} = \frac{T_{исп.к.т}}{T_{кал.дней}} \cdot Цк.т. \cdot \frac{1}{T_{ам.}} = \frac{41}{365} \cdot 45000 \cdot \frac{1}{5} = 1010,9 \text{ руб.}$$

$$И_{ам. Ноут} = \frac{T_{исп.к.т}}{T_{кал.дней}} \cdot Цк.т. \cdot \frac{1}{T_{ам.}} = \frac{41}{365} \cdot 32000 \cdot \frac{1}{5} = 718,9 \text{ руб.}$$

$$И_{ам. Прин.} = \frac{T_{исп.к.т}}{T_{кал.дней}} \cdot Цк.т. \cdot \frac{1}{T_{ам.}} = \frac{41}{365} \cdot 5000 \cdot \frac{1}{5} = 112 \text{ руб.}$$

Сумма амортизационных отчислений по основным фондам:

$$И_{ам.осн}^{\Sigma} = И_{ам.комп} + И_{ам.ноут.} + И_{ам.прин.} = 1010,9 + 718,9 + 112 = 1841,8 \text{ руб.}$$

Расчет фактической заработной платы

Фактическая заработная плата рассчитывается по формуле

$$И_{факт.зн} = \frac{И_{мес.пл}}{T} \cdot n$$

Где:

Т – число рабочих дней в месяце = 21 день;

п – количество фактически затраченных дней, для инженера п = 41 день, а для руководителя п = 4 дней.

Расчет средней заработной платы в месяц

Зарплата инженера

$$И_{мес.з.ин} = ЗПо \cdot K1 \cdot K2$$

Зарплата руководителя

$$И_{мес.зп.рук} = (ЗПо \cdot K1 + Д) \cdot K2$$

Где:

Зпо – заработная плата в месяц;

K1=1,1(10%) – коэффициент учитывающий отпуск;

K2=1,3(30%) – районный коэффициент;

Инженер – ЗПо = 14500руб.;

Д - доплата за интенсивность труда = 2200руб.;

Преподаватель (доцент) ЗПо = 23300руб.

Расчет зарплаты инженера и руководителя:

$$И_{мес.зп.ин} = 14500 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 20750 \text{ руб.}$$

$$И_{мес.зп.рук} = (23300 \cdot 1,1 + 2200) \cdot 1,3 = 36179 \text{ руб.}$$

Расчет фактической заработной платы

$$И_{факт.зп.ин} = \frac{И_{мес.зп.ин}}{T} \cdot n = \frac{20750}{21} \cdot 41 = 40512 \text{ руб.}$$

$$И_{факт.зп.рук} = \frac{И_{мес.зп.рук}}{T} \cdot n = \frac{36179}{21} \cdot 4 = 6891 \text{ руб.}$$

Социальные отчисления

Социальные отчисления рассчитываются как 30% от затрат на оплату труда ФЗП.

$$\Phi ЗП = И_{факт.зп.ин} + И_{факт.зп.рук} = 40512 + 6891 = 47403 \text{ руб.}$$

$$И_{соц.} = 30\% \cdot \Phi ЗП = 0,3 \cdot 47403 = 14220,9 \text{ руб.}$$

Прочие затраты

Прочие затраты это $10\% \cdot \sum$ всех предыдущих затрат.

$$И_{пр} = 10\% \cdot (И_{мат} + И_{ам} + И_{зп} + И_{соц}) = 0,1 \cdot (1100 + 1841,8 + 47403 + 14220,9) = 7769 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

При выполнении проекта на базе НИТПУ, в стоимости проекта учитываются накладные расходы, включающие в себя затраты на аренду помещений, оплату тепловой и электрической энергии, затраты на ремонт зданий и сооружений, заработную плату административных сотрудников и т.д. Накладные расходы рассчитываются как 200% от затрат на оплату труда.

$$И_{НР} = 2 \cdot И_{зп}^{\Sigma} = 2 \cdot 47403 = 94806 \text{ руб.}$$

Затраты на расчет проекта

$$К_{пр} = 1100 + 1841,8 + 47403 + 14220,9 + 7769 + 94806 = 167141 \text{ руб.}$$

В данной работе был проведен анализ методов и средств измерения температуры и тепловых потоков. Было выявлено большое количество альтернативных материалов для измерения температуры, однако все имеют узкий диапазон применения, что делает большинство из них непригодными для серийного производства. Были рассмотрены разнообразные методы установки приборов для измерения температуры, и рассмотрены все плюсы и минусы данных методов. Но в настоящее время без значительного технологического рывка, например изобретении нового материала, который бы отвечал экономическим и техническим требованиям, замена имеющихся средств новыми разработками не имеет перспективы.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Б12	Хасанов Роман Вадимович

Институт		Кафедра	
Уровень образования		Направление/специальность	

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Работа проводится в офисном помещении и сопровождается проведением измерений на объектах ТЭЦ
2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме	Федеральный закон №123-ФЗ от 22.07.2008г.(ред. От 10.07.2012г.)<технический регламент о требованиях к пожарной безопасности > Федеральный закон № 184-ФЗ<О техническом регулировании > от 27 декабря 2002 года. Федеральный закон № 426- ФЗ от 28 декабря 2013 года < о специальной оценке условий труда>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; действие фактора на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); предлагаемые средства защиты; (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).	Выявленные вредные факторы: - недостаточная освещенность; - шумы.
---	---

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: механические опасности (источники, средства защиты); термические опасности (источники, средства защиты); электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	Выявленные опасные факторы - пожароопасность, взрывоопасность; - электрический ток; - механизмы рабочего оборудования; - повышенная температура поверхностей оборудования и материалов.
2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	Чрезвычайные ситуации. -действия при возникновении аварии, меры по ликвидации её последствий
3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. - Инструкция № ИОТ -01-2014. По охране труда для работников предприятия(общие требования безопасности) - Инструкция № ИОТ-73-2014. Правила пожарной безопасности для рабочих ИТР и служащих ПСХ. Положение особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях . Утверждены Постановлением Министерства труда и социального развития Российской Федерации от 24. 10 . 2002г. №73
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Конституция РФ,

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гусельников М.Э.	к.т.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Б12	Хасанов Роман Вадимович		

1.1 Производственная безопасность

1.1.1 Промышленная санитария

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21)

Показатели микроклимата производственных помещений, рабочих мест санитарным правилам.

Показатели характеристик микроклимата производственных помещений:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Допустимые параметры микроклимата приведены в табл. №1
Таблица №1

Период года	Категория работ по уровню энерготрат, Вт.	Температура воздуха, °С.		Температура поверхностей, °С.
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин	
Холодный	Ia (до 139)	20,0-21,9	24,1-25,0	19,0-26,0
	Iб (140-174)	19,0-20,9	23,1-24,0	18,0-25,0
	IIa (175-232)	17,0-18,9	21,1-23,0	16,0-24,0
	IIб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0
	III (более 290)	13,0-15,9	18,1-21,0	12,0-22,0
Теплый	Ia (до 139)	21,0-22,9	25,1-28,0	20,0-29,0
	Iб (140-174)	20,0-21,9	24,1-28,0	19,0-29,0
	IIa (175-232)	18,0-19,9	22,1-27,0	17,0-28,0
	IIб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0
	III (более 290)	15,0-17,9	20,1-26,0	14,0-27,0

Допустимые микроклиматические условия не оказывают нарушений или повреждений состояния здоровья в течении 8 - часовой рабочей смены, но могут привести к ухудшению самочувствия и снижению работоспособности.

Продолжение таблицы №1

Период года	Категория работ по уровню энерготрат, Вт.	Относительная влажность воздуха, %.	Скорость движения воздуха, м/с.	
			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	15-75	0,1	0,1
	Iб (140-174)	15-75	0,1	0,32
	IIa (175-232)	15-75	0,1	0,3
	IIб (233-290)	15-75	0,2	0,4
	III (более 290)	15-75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	15-75	0,1	0,2
	Iб (140-174)	15-75	0,1	0,3
	IIa (175-232)	15-75	0,1	0,4
	IIб (233-290)	15-75	0,2	0,5
	III (более 290)	15-75	0,2	0,5

При невозможности устранить неблагоприятное воздействие микроклимата из-за технологических требований к производственному процессу или экономической нецелесообразности считаются вредными или опасными. Для снижения неблагоприятного воздействия микроклимата используются: системы местного кондиционирования, воздушного душирования, перерывы в работе, спецодежда, средства индивидуальной защиты, помещения отдыха, дополнительный отпуск, сокращение рабочего

времени. В рассматриваемых помещениях параметры микроклимата соответствуют нормативным значениям.

1.1.2. Освещенность производственных помещений

По нормам СанПиН освещенность производственных помещений должна соответствовать нормам т.к. она один из важных факторов приводящий к снижению профессиональных заболеваний и травм. При соответствующей освещённости снижается утомляемость зрения, которая напрямую связана с качеством выполняемых работ и снижает риск травматизма.

1.1.3. Системы вентиляции производственных помещений

Система состоит из технических средств, которые создают правильный воздухообмен и удаляют избыточную влагу, вредные газы, излишнее тепло. Создавая при этом благоприятный микроклимат в рабочих помещениях. Для создания в производственных помещениях продуктивной вентиляции учитывающей особенности помещения и производственных факторов (загазованность, температура).

Смонтированная на ТЭЦ вентиляция выполняет следующие функции:

- Аспирация. Удаление газов и пыли что образуются во время работы оборудования.

- Дымоудаление. Во время пожара уберёжёт от удушья угарным газом.

- Приточная - вытяжная вентиляция. Удаляет, очищает, а также насыщает очищенным воздухом производственные помещения

1.2. Опасные факторы

1.2.1. Пожарная безопасность

Оборудование в котельной представляет пожарную опасность. В связи с этим разработаны организационные мероприятия, которые включают в себя:

- выбор ответственных, за пожарную безопасность в организации
- противопожарный режим в организации
- организацию хранения взрывчатых и горючих веществ в соответствии с требованиями безопасности
- обучение работников правилам пожарной безопасности
- разработка инструкций о мерах противопожарной безопасности для каждого взрывопожарного и пожарного участка
- недопущение посторонних лиц на объекты, где хранятся, используются, транспортируются взрывчатые вещества
- организацию пожарной охраны
- наличие первичных средств пожаротушения

Котельная имеет противопожарный трубопровод с установленными гидрантами на лестничных пролетах по 2 шт. и на каждом этаже здания по 3шт., а также огнетушители пенные и углекислотные на лестничных пролетах по 2шт. и на каждом этаже здания по 2шт., в электрощитовой дополнительные. В наличии ящики с песком и противопожарный щит с инвентарем (ведра, багор, лопата)

1.2.2.Электробезопасность

Требования электробезопасности направлены на охрану жизни и здоровья персонала от воздействия на них электрического тока, повышения надежности работы оборудования, исключает инциденты и аварии с электроустановками.

Опасные и вредные факторы воздействия электрического тока на человека:

- воздействие электрической дуги;
- поражение электрическим током;
- воздействие электромагнитного излучения;
- воздействие электростатического поля;

Средства индивидуальной электрозащиты персонала, обслуживающего электроустановки:

- изолирующие штанги
- изолирующие и электроизмерительные клещи
- указатели напряжения всех видов и классов
- бесконтактные сигнализаторы наличия напряжения
- изолированный инструмент
- Диэлектрические боты, перчатки, галоши, ковры

В наличии таблички предупреждающие

- указательные - под каким напряжением электроприборы, заземлено
- запрещающие - (не включать работают люди)
- предупреждающие – (не влезай убьет, стой - напряжение)
- разрешающие - (работать здесь)

Электротравмы по степени воздействия на человека

- 1- слабые, судорожные сокращения мышц;
- 2- судорожные сокращения мышц, потеря сознания;
- 3- потеря сознания, нарушение сердечной и дыхательной деятельности;
- 4- клиническая смерть, т.е. отсутствие дыхания и кровообращения

1.2.3. Механизмы рабочего оборудования

Движущиеся части машин и механизмов - электроприводы, части работающих механизмов, вращающиеся валы, рабочие колеса дымососов и вентиляторов.

Для исключения травматизма используются ограждения, ограждающие поверхности, сигнальные стопы, концевые, средства контроля и защиты, предупреждающие знаки, проводятся инструктажи, наличие средств защиты работников от воздействия движущихся частей производственного оборудования, устройство ограждений трубопроводов, предохранительных клапанов, электросиловых кабелей и других элементов, повреждение которых может вызвать опасность, наличие устройств (ручек) для перемещения частей производственного оборудования, приспособлений и инструментов вручную при ремонтных и монтажных работах; исключение опасности, вызванной разрушением конструкций, элементов зданий.

1.2.4.Тепловые излучения и опасность термического ожога

В режиме работы котлов в котельном зале имеет место тепловое (инфракрасное) излучение. Источником теплового излучения являются котлы и трубопроводы.

Для снижения интенсивности теплового выделения и снижения вероятности термических ожогов по ГОСТ 12.4.123-83«Система стандартов безопасности труда. Средства коллективной защиты от инфракрасных лучей. Общие технические средства» устанавливают следующие меры безопасности:

- тепловая изоляция на трубопроводах и котлов, там где температура поверхностей более 45 °С.;
- ограждение мест, в районе которых сильное выделение тепла;
- вентиляция рабочих мест;
- применение спецодежды в соответствии нормам

2.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под оперативной ликвидацией аварий следует понимать отделение поврежденного оборудования (участка сети) от энергосистемы, а также действия, имеющие целью:

- предотвращение развития аварии;
- устранение опасности для обслуживающего персонала и оборудования, незатронутого аварией;
- восстановление в кратчайший срок, в первую очередь в зоне поражения, питания наиболее ответственных потребителей;
- создание надежной послеаварийной схемы;
- выяснение состояния отключившегося во время аварии оборудования и возможности его включения в работу.

3.ПОРЯДОК ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ Инструкция № ИОТ-95-2014

3.1 Важным условием безаварийной работы является сохранение персоналом спокойствия при изменении режим, неполадок, дисциплинированное и сознательное выполнение инструкций и распоряжений.

3.2.При возникновении аварийной ситуации эксплуатационный персонал принимает меры по ликвидации и локализации создавшегося положения, обезопасив людей и оборудование.

3.2. Нарушение топливоснабжения - необходимо перевести в режим ограниченного потребления угля для поддержания минимальной температуры теплоносителя.

3.3.Повреждение трубопроводов в пределах котлов - производится аварийная остановка котла.

3.4. Нарушение водоснабжения - усиление подачи питательной воды для компенсации потерь и поддержания рабочего давления. Оперативно - ремонтный персонал незамедлительно приступает выяснению причин снижения давления и устранению аварии.

3.5. Понижение температуры наружного воздуха в зимний период вызывает повышенную опасность аварийных остановок оборудования - оперативный персонал усиливает надзор и увеличивает обходы оборудования внешних

коммуникации, утепляются цеха, выполняются мероприятия по предупреждению повышенной влажности в помещениях.

3.1. ОБЯЗАННОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ И ЛИКВИДАЦИИ АВАРИИ

1. При обнаружении аварии сообщить диспетчеру.
2. Лица из числа оперативно - ремонтного и обслуживающего персонала котельной, согласовав свои действия с руководством, принимают необходимые действия по устранению аварийной ситуации и ликвидации её последствий. 3.2.3. Во время ликвидации аварии следует действовать быстро, точно, слаженно без излишней суеты. Поспешные и необдуманные действия могут усугубить ситуацию.
3. Все действия согласовываются с руководителем работ и руководством участка.
4. По окончании восстановительных работ на аварийном участке тепловой сети, производится запуск в работу оборудование, с последующей проверкой и настройкой для обеспечения заданных режимов работы оборудования.
5. Обслуживающий и оперативно-ремонтный персонал котельной регистрирует все обстоятельства возникновения и устранения аварии в оперативном журнале котельной.

Согласно инструкции работники предприятия обязаны:

3.2. Инструкция № ИОТ -01-2014. По охране труда для работников предприятия (общие требования безопасности)

1. Согласно квалификации и должности работники предприятия обязаны знать и выполнять требования настоящей инструкции.
2. Работник, не имеющий противопоказаний по возрасту или полу перед допуском к самостоятельной работе должен пройти:
 - - медицинское освидетельствование и быть признан годным, к выполнению работ,
 - - обучение и проверку знаний безопасным методам работ, подтверждаемым соответствующим удостоверением,
 - - быть ознакомлен с инструкциями.
1. Обязанности:
 - - выполнять свои обязанности и работу, входящую в её круг
 - - знать опасные и вредные производственные факторы их последствия и способы уменьшения их вредного воздействия
 - - применять индивидуальные и коллективные средства защиты
 - - работать исправным инструментом, беречь закрепленное за ним оборудование
2. Причины отстранения от работы (не допущен к работе)
 - - в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения
 - - не прошел обучение и проверку знаний и навыков в области охраны труда

- - не прошел медицинский осмотр или имеет противопоказания с медицинским заключением

4. Требования по учету и расследованию несчастных случаев на производстве

- -Работник обязан знать и выполнять требования «Положения об особенностях расследования несчастных случаев на производстве в отдельных отраслях и организациях», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.10.2002 г. № 73.
- - О каждом несчастном случае на производстве работник, который пострадал сам или явился очевидцем несчастного случая, обязан немедленно известить руководителя работ (администратии участка, начальника смены).
- -Работники обязаны владеть приемами оказания пострадавшим первой (до врачебной) медицинской помощи.
- - Работники, пострадавшие на производстве и очевидцы несчастного случая, обязаны давать устные и письменные объяснения и пояснения обстоятельств и причин несчастного случая руководителю предприятия и председателю комиссии по расследованию данного несчастного случая.
- -Все несчастные случаи на производстве должны быть зарегистрированы в журнале учета несчастных случаев на производстве в установленном руководителем предприятия порядке.

Список литературы

1. Температурные измерения. Справочник. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. и др. Отв. Ред. Геращенко О.А.; АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения – Киев: Наук. думка, 1989 – 704 стр.
2. Температура. Теория, практика, эксперимент. Измерение температуры в промышленности и энергетике. Справочное издание. В 3 томах. Том 2 А. М. Беленький, М. Ю. Дубинский, М. Г. Ладыгичев, В.Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков. 2007 – 736 стр.
3. Температура. Теория, практика, эксперимент. Методы контроля **температуры**. А. М. Беленький, М. Ю. Дубинский, М. Г. Ладыгичев, В.Г. Лисиенко, Я. М. Щелоков. 2007 – 670 стр.
4. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов. Г.М. Иванова, Н.Д. Кузнецов, В.С. Чистяков. Издательство МЭИ, 2005 – 460 стр.
5. Интегральные прямоточные воздушно-реактивные двигатели на твердых топливах (Основы теории и расчета) / В.Н. Александров, В.М. Быцкевич, В.К. Верховоломов [и др.] / Под ред. Л.С. Яновского. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 343 с.
6. Орлов Б.В., Мазинг Г.Ю., Рейдель А.Л. и др. Основы проектирования ракетно-прямоточных двигателей для беспилотных летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1967. – 424 с.
7. **Закрытая статья в МИТ (ЭГ)**
8. Звегинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть 1 Установки для научных исследований. – Новосибирск: Параллель, 2014. – 551 с.
9. Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1972. – 392 с.
10. Температурные измерения. Справочник / Геращенко О.А., Горлов А.Н., Еремина А.К. [и др.] / Отв. ред. О.А. Геращенко. – Киев: Наукова думка, 1989. – 704 с.
11. Лыков А.В. Теплообмен: Справочник. – М.: Энергия 1978. – 480 с.
12. Землянский Б.А., Степанов Г.Н. О расчете теплообмена при пространственном обтекании тонких затупленных конусов гиперзвуковым потоком воздуха // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа, 1981. – № 5. – С. 173–177.
13. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1973. – 904 с.
14. Васильев Л.А. Теневые методы. – М.: Наука, 1968. – 400 с.