

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО КУРСА
МДК.01.05 Автоматизация технологических процессов и оборудования в
производстве черных металлов**

для обучающихся специальности

22.02.01 Metallurgy of black metals

Магнитогорск, 2022

ОДОБРЕНО

Предметно-цикловой комиссией «Металлургия
и обработка металлов давлением»

Председатель О.В. Шелковникова

Протокол № 10 от 22.06.2022 г.

Методической комиссией МпК

Протокол № 6 от 29.06.2022 г.

Разработчик:

преподаватель ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» Многопрофильный колледж
Ирина Валерьевна Решетова

Методические указания по выполнению практических работ разработаны на основе рабочей программы ПМ.01 Ведение технологического процесса производства черных металлов (чугуна, стали и ферросплавов).

Содержание практических работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению вида деятельности Ведение технологического процесса производства черных металлов (чугуна, стали и ферросплавов программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 22.02.01 Metallurgy черных металлов и овладению профессиональными компетенциями.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 Методические указания	6
Практическая работа 1	6
Практическая работа 2	11
Практическая работа 3	16
Практическая работа 4	23
Практическая работа 5	28
Практическая работа 6	31
Практическая работа 7	33
Практическая работа 8	35
Практическая работа 9	38
Практическая работа 10	41
Лабораторная работа 1	44
Лабораторная работа 2	53
Лабораторная работа 3	61
Лабораторная работа 4	74
Лабораторная работа 5	87
Лабораторная работа 6	101
Лабораторная работа 7	114

1 ВВЕДЕНИЕ

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов составляют практические занятия и лабораторные работы.

Состав и содержание практических занятий и лабораторных работ направлены на реализацию действующего федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование практических умений - профессиональных (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности), необходимых в последующей учебной деятельности по профессиональным модулям.

В соответствии с рабочей программой ПМ.01 Ведение технологического процесса производства черных металлов (чугуна, стали и ферросплавов), МДК.01.05 Автоматизация технологических процессов и оборудования в производстве черных металлов.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

- работать с технологической, конструкторской, организационно-распорядительной документацией, справочниками и другими информационными источниками;

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на формирование общих компетенций по профессиональному модулю основной профессиональной образовательной программы по специальности:

ОК 1 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

ОК 2 Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 3 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.

ОК 7 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

И овладению профессиональными компетенциями:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом.

Выполнение студентами практических работ по ПМ.01 Ведение технологического процесса производства черных металлов (чугуна, стали и ферросплавов), МДК.01.05 Автоматизация технологических процессов и оборудования в производстве черных металлов направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам междисциплинарных курсов;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- развитие интеллектуальных умений у будущих специалистов: аналитических, проектировочных, конструктивных и др.

Продолжительность выполнения практической работы составляет не менее двух академических часов и проводится после соответствующего занятия, которое обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 5.1 Основы техники измерения и управления технологическими процессами

Практическая работа №1. Изучение устройства и принципа действия вторичных преобразователей

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом.

Цель работы:

Изучить устройство и принцип действия вторичных преобразователей

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

- читать схемы с вторичными преобразователями

Материальное обеспечение:

Схемы вторичных преобразователей (неуравновешенных мостов)

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

1. Изучить схемы неуравновешенных мостов
2. Определить назначение элементов, выделить базовые элементы
3. Заполнить таблицу 1

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

- 1 Ознакомится с простейшей схемой неуравновешенного моста

Простейшая схема неуравновешенного моста (рис. 1) состоит из плеч R_1 , R_2 , R_3 , R_4 и двух диагоналей: диагонали питания cd и диагонали измерения ab . Основным условием равновесия моста является равенство произведений противоположных плеч моста.

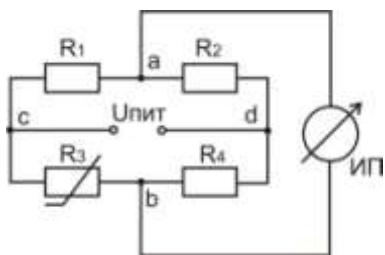


Рис. 1 Простейшая схема неуравновешенного моста

Если это равенство соблюдается, то в измерительной диагонали неуравновешенного моста напряжение U_{ab} равно нулю. Если одно из сопротивлений (например, R_3) выполнить из меди или платины и поместить в измеряемую среду, а остальные (R_1, R_2, R_4) из манганина, то при изменении температуры среды равновесие моста нарушается и через измерительный прибор (ИП) потечёт ток. Величина тока, тем больше, чем более нарушено равновесие моста. Таким образом, устанавливается некоторая зависимость между отклонением указателя измерительного прибора и сопротивлением термометра, позволяющая судить о температуре термометра, а следовательно и о температуре среды, в которой он находится.

Шкала измерительного прибора нелинейна (растянута в начале и сжата в конце). На показания прибора влияет напряжение питания. В настоящее время для питания неуравновешенных мостов применяют стабилизированные источники питания (ИПС).

Преимуществом неуравновешенных мостов является их повышенная чувствительность к малым изменениям сопротивления. Это свойство неуравновешенных мостов используются в схемах различных газоанализаторов. Для измерения температуры применяют редко, т.к. шкала нелинейна.

Для того, чтобы избежать этот недостаток одно из сопротивлений R_1, R_2, R_4 выполняют переменным, а вместо измерительного прибора (ИП) берут нуль – прибор (как более чувствительный – гальванометр). При нарушениях равновесия моста перемещают движок реохорда R_1 до тех пор, пока нуль – прибор не покажет нуль. Мост уравновешен. Отсчёт измеряемого сопротивления производится по положению движка реохорда. Шкала такого прибора линейна. Для устранения влияния сопротивления соединительных проводов питание моста (точка С) присоединено непосредственно к термометру. В этом случае равновесие моста запишется

$$(R_1 + R_{Л1}) \cdot R_{3t} = R_2 \cdot (R_4 + R_{Л2}).$$

Таким образом, сопротивление ($R_{Л1}$) в левой части равенства, сопротивление другой ($R_{Л2}$) правой и их влияние сводится к минимуму.

2 Ознакомится со схемой уравновешенного моста с трёхпроводным включением термометра сопротивления

В трёхпроводных схемах сопротивление каждой линии доводится до установленного значения R_L с помощью отдельных подгоночных катушек (рис. 2) выполненных из манганина.

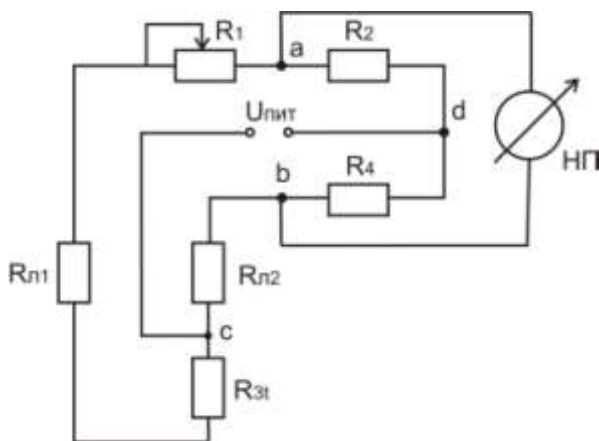


Рис. 2 Уравновешенный мост с трёхпроводным включением термометра сопротивления

3 Ознакомится со схемой автоматического уравновешенного моста КСМ-3

В автоматических уравновешенных мостах используется схема четырёхплечевого моста с реохордом. Эта схема, обеспечивая высокую точность техническим приборам, позволяет выполнять шкалы моста односторонние, безнулевые и двусторонние. На принципиальной схеме автоматического уравновешенного моста КСМ приняты следующие обозначения (рис.3):

R_p – реохорд;

$R_{ш}$ – шунт реохорда, служащий для подгонки сопротивления R_p до заданного нормированного значения; $R_{н.р.}=270 \pm 0,1 \text{ Ом}$;

T_o – токоотвод;

R_n – резистор для установления диапазона измерения;

R_d – резистор добавочный для установления начального значения шкалы (обычно $R_d \approx 5,5 \text{ Ом}$);

R_1, R_2, R_3 – резисторы мостовой схемы;

R_6 – балластный резистор в цепи питания для ограничения тока (не более 7–8 мА);

R_t – термометр сопротивления (платиновый или медный);

R_l – резистор для подгонки сопротивления линии;

РД – реверсивный двигатель;

СД – синхронный двигатель для вращения диаграммной бумаги.

Все резисторы мостовой измерительной схемы изготавливают из стабилизированной манганиновой проволоки с безындукционной (бифилярной) намоткой (проволока складывается вдвое и затем производится намотка).

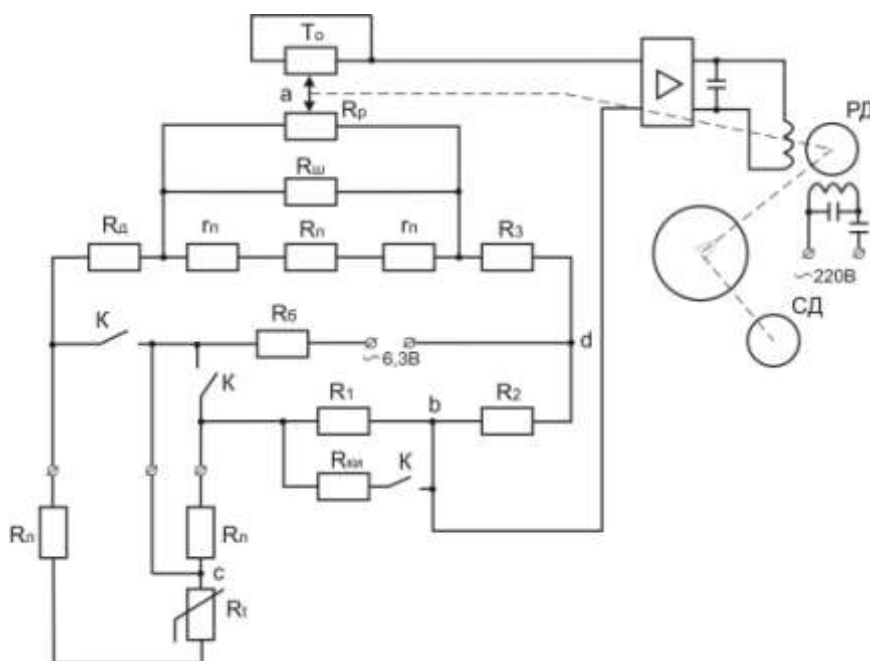


Рис. 3 Принципиальная схема автоматического уравновешенного моста КСМ – 3

Как видно из рис.3, термометр сопротивления подключён к мосту по трёхпроводной схеме. В этом случае сопротивление проводов, служащих для присоединения к термометру, распределяется между двумя прилегающими плечами моста R_t и R_1 . Благодаря этому достигается значительное снижение значения дополнительной погрешности, вызываемой возможным изменением сопротивления соединительных проводов вследствие изменения температуры окружающей среды.

Номинальное суммарное значение сопротивления проводов, соединяющих термометр с мостом, установлено равным 5 Ом или 15 Ом (указано на шкале прибора $R_{ВН}=15$ Ом). Таким образом, сопротивление каждого провода с подгоночной катушкой R_L , принятое при градуировке прибора, равно 2,5 или 7,5 Ом с допустимым отклонением от номинала $\pm 0,01$ Ом.

Положению равновесия мостовой схемы соответствует уравнение:

$$(R_t + R_L + R_d + R_{пр} \cdot m) \cdot R_2 = (R_L + R_1) \cdot (R_3 + (1 - m)) \cdot R_{пр},$$

где $R_{пр}$ – приведённое сопротивление реохорда;

$$R_{пр} = \frac{R_{н.р.} \cdot R_{п}}{R_{н.р.} + R_{п}}; \quad m = \frac{R'_{пр}}{R_{пр}};$$

где $R'_{пр}$ – сопротивление участка правее движка **а**.

При нарушении равновесия мостовой схемы прибора вследствие изменения сопротивления термометра R_t на вход усилителя подаётся напряжение небаланса с вершин **а** и **б**. Это напряжение усиливается усилителем до значения, достаточного для приведения в действие реверсивного двигателя. Выходной вал двигателя,

кинематически связанный с движком реохорда, передвигает его до тех пор, пока напряжение небаланса, уменьшаясь, не станет равным нулю. При достижении равновесия мостовой схемы ротор реверсивного двигателя останавливается, а движок реохорда с указателем и пером занимают положение, соответствующее измеряемой температуре.

В схеме уравновешенного моста КСМ – 3 предусмотрен контроль исправности прибора. При установке переключателей Π_1 , Π_2 , Π_3 в положение К зажимаются зажимы А, В и С и одновременно параллельно резистору R_1 включается резистор $R_{ки}$, что вызывает небаланс схемы моста. При исправном приборе указатель должен установиться против красной отметки на шкале. Положение красной отметки выбирается с помощью сопротивления $R_{ки}$.

Уравновешенные мосты КСМ – 3 выпускаются классом точности 0,5. Пределы допускаемой основной погрешности записи на всех отметках диаграммы равны $\pm 1\%$ нормирующего значения измеряемой величины. В зависимости от размеров корпуса, отдельных элементов и блоков, автоматические уравновешенные мосты разделяются на миниатюрные (КПМ – 1, КСМ – 1), малогабаритные (КВМ – 1, КСМ – 2, КСМ – 3) и нормально габаритные КСМ – 4.

3 Заполнить таблицу:

Тип моста	Достоинства	Недостатки	Область применения	Класс точности

Форма представления результата:

Отчет о проделанной работе

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Практическая работа №2. Изучение устройства и принципа действия термометров и пирометров

Изучение устройства и принципа действия термометров и пирометров

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Изучить основные типы приборов для измерения температуры

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

анализировать приборы измерения температуры в металлургии

Материальное обеспечение:

Схемы различных типов термометров, используемых в металлургии для измерения температуры металла

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

1. Изучить конструктивные особенности представленных на схемах приборов
2. Определить тип термопары на базе которой выполнен прибор, исходя из области его использования и характеристики термопары

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

- 1 Ознакомится с термометрами и термоэлектрическими преобразователями

Термоэлектрические термометры (термопары) являются первичными преобразователями, выходной сигнал которых измеряют магнитоэлектрическими милливольтметрами или автоматическими потенциометрами.

Термоэлектрический термометр, простейшая цепь которого показана на рис. 1, а, представляет собой чувствительный элемент, выполненный в виде двух проводников из разных металлов (или полупроводников) со спаянными концами. Сущность термоэлектрического эффекта заключается в том, что в месте соединения двух проводников из разных металлов возникает электродвижущая сила, называемая термоэлектродвижущей (сокращенно термо-ЭДС).

Термо-ЭДС зависит от материала проводников А и Б, составляющих термоэлектрический термометр, а также от температуры холодного спая, называемого свободным концом 1. Свободный конец термоэлектрического термометра должен находиться в зоне постоянной температуры, имеющей определенное (известное) значение. При этом условии термо-ЭДС термоэлектрического термометра, а значит, и показания измерительного прибора будут зависеть только от температуры рабочего конца 2. Фактически свободный конец термоэлектрического термометра, как правило, находится в зоне переменной температуры, поэтому в качестве соединительных применяют так называемые компенсационные провода, позволяющие перенести свободный конец в зону с постоянной известной температурой.

Для предохранения от повреждений термоэлектрические термометры заключают в защитную арматуру (рис. 1, б).

Термоэлектрические термометры имеют стабильную характеристику: термо-ЭДС, развиваемая ими, стандартизована, что делает термоэлектрические термометры взаимозаменяемыми.

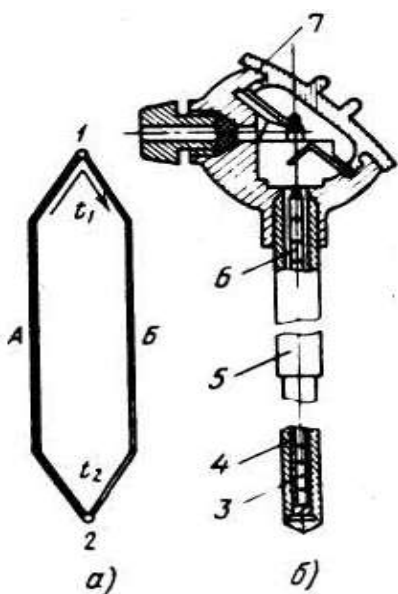


Рисунок 1 – Простейшая термоэлектрическая цепь (а) и общий вид термоэлектрического термометра (б): 1 - свободный конец; 2 - рабочий конец; 3 - термоэлемент; 4 - жароупорный наконечник; 5 - металлический чехол; 6 - фарфоровые изоляторы; 7 - головка термометра с зажимами; А, Б - проводники из разных металлов

Предусмотрено изготовление пяти типов термоэлектрических термометров; вольфрамовый (5% рения) — вольфрам-рениевые (20% рения) типа ТВР; платиновый — платиновые типа ТПП; платиновый (30% родия) — платино-родиевые (6% родия) типа ТПР; хромель-алюмелевые типа ТХА; хромель-копелевые типа ТХК. Кроме того, промышленность изготавливает нестандартные вольфрам-молибденовые термоэлектрические термометры типа ВМ.

Верхний предел температур, измеряемых термоэлектрическими термометрами, зависит от их типа. Так, термометр ТВР применяют для измерения температур до 2200°C, ТПП — до 1300, ТПР — до 1600, ТХА — до 1000, ТХК — до 600°C.

Термопреобразователи сопротивления (термометры сопротивления) широко применяют во всех отраслях промышленности для измерения температуры в трубопроводах, технологическом оборудовании, электрических вращающихся машинах, нагревательных печах, а также в производственных помещениях.

Действие термопреобразователей сопротивления основано на свойстве применяемых в них проводниковых материалов (химически чистой платины или меди) изменять свое электрическое сопротивление при изменении температуры.

Платиновые термопреобразователи сопротивления применяют для измерения температуры от —260 до 1100°C. Чувствительный элемент такого термопреобразователя (рис. 10.2) изготовлен из платиновой проволоки /диаметром

0,05...0,08 мм, намотанной на слюдяную пластинку 4 (каркас) с зубчатой нарезкой, и помещен в защитную арматуру 8.

Медные термопреобразователи сопротивления для измерения температуры от — 50 до 200°С изготавливают из медной изолированной проволоки диаметром 0,1...0,2 мм, а выводы—из медной луженой проволоки диаметром 1...1,5 мм.

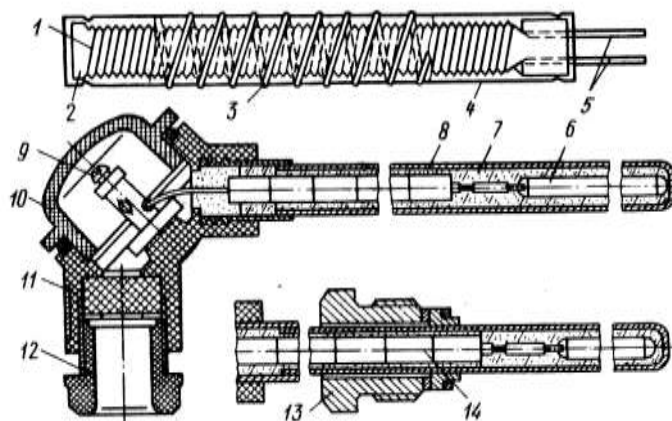


Рис. 2. Платиновый термопреобразователь сопротивления:

1 - платиновая проволока; 2 - каркас; 3 - серебряная лента; 4 - слюдяная пластинка; 5 - выводы; 6 - чувствительный элемент; 7 - оксид аммония; 8 - защитная арматура; 9 - зажим; 10 - крышка; 11 - головка; 12, 13 - штуцера под кабель и штуцер для крепления оправы; 14 - изоляторы

Вторичными измерительными приборами для термопреобразователей сопротивления служат такие же нормирующие усилители и аналого-цифровые преобразователи, применяемые для термопар.

20 Ознакомится с пирометрами для бесконтактного измерения температуры

Яркостные пирометры

Агрегатный комплекс стационарных пирометрических преобразователей и пирометров излучения (АПИР-С) представляет собой совокупность пирометрических преобразователей и вспомогательных устройств, относящихся к устройствам получения информации, и предназначен как для укомплектования (АСУТП), так и для создания локальных приборов и систем измерения, контроля и регулирования температуры методом пирометрического излучения.

Комплекс АПИР-С состоит из пирометрического первичного и измерительного вторичного преобразователя.

Устройство пирометрического преобразователя ПЧД-131 приведено на рисунке 3. Защитное стекло 1 служит для защиты оптической системы от загрязнения и крепится кольцом с резьбой. Линза 2 (объектив) служит для получения изображения измеряемого объекта в плоскости полевой диафрагмы 4, предназначенной для получения заданного показателя визирования ($n = D/L$). Конденсатор 5 предназначен для передачи изображения от диафрагмы 4 в плоскость приёмника излучения.

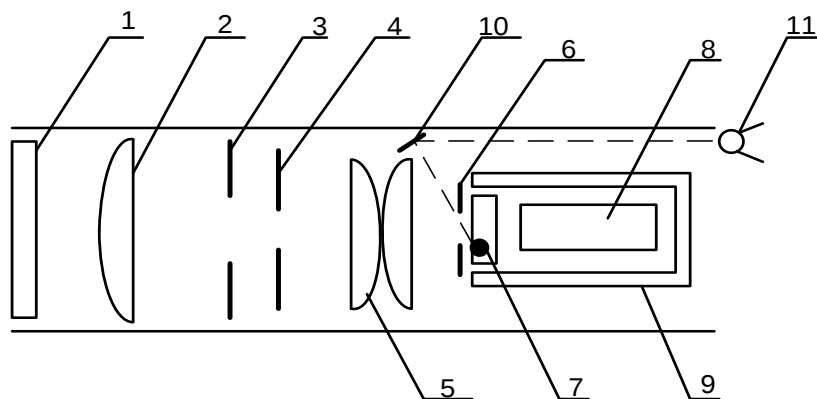


Рис. 3 Пирометрический преобразователь ПЧД-131

Приемное устройство служит для преобразования светового потока в электрический сигнал. Оно состоит из диафрагмы 6, светофильтра 7, фотодиода 8, которые помещены в термостат 9. Светофильтр предназначен для выделения рабочей спектральной области фотодиода. Для получения стандартной градуировки предусмотрена апертурная диафрагма 3, перемещением которой осуществляется подгонка градуировочной характеристики.

Для наведения преобразователя на объект служит смещенный с оптической оси окуляр 11 и зеркало 10.

Термостат ПЧД-131 представляет собой двустенный цилиндр, между стенками которого положен пенопласт. Задатчиком температуры является транзистор ГТ 310А, сигнал управления с которого поступает на блок питания ПВ-3. Нагрев термостата производится манганиновым нагревателем, на который поступает напряжение 40 В при токе 0,05 А. В преобразователях типа ПЧД в качестве приемника излучения применяются фотодиоды двух типов:

- германиевый фотодиод ФД-3А (градуировки ДГ);
- кремниевый фотодиод ФД-25К (градуировки ДК).

Радиационные пирометры

Радиационной температурой тела T_p называется такая температура абсолютно черного тела, при которой интегральные энергетические яркости абсолютно черного и реального тел при температуре T равны.

На практике трудно осуществить такой приемник излучения, который поглощал бы излучение всех волн от 0 до ∞ . Поэтому многие радиационные пирометры воспринимают излучения в более или менее ограниченном интервале длин волн.

В комплект приборов для измерения радиационной температуры входят пирометрический преобразователь, защитная арматура и показывающий или регистрирующий прибор. Одним из наиболее важных узлов пирометров полного излучения является оптическая система. Существует две разновидности систем: рефлекторно-отражающая (с собирательным зеркалом) и рефракторно – преломляющая (с линзой) (рис. 4).

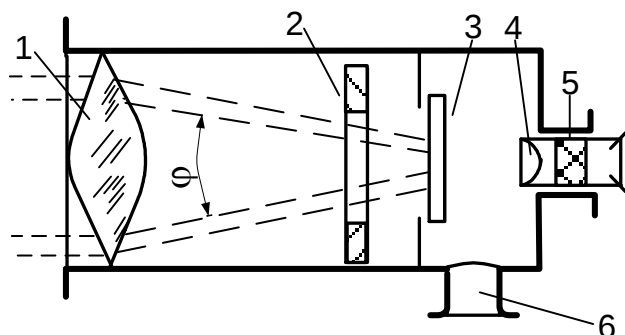


Рис. 4 Устройство радиационного пирометра рефракторной системы

Рефракторные оптические системы (типа РАПИР) концентрируют лучистый поток после линзы 1 и диафрагмы 2 внутри конуса с углом 60° . Рабочая часть приемника излучения 3 лежит внутри конуса. Для наводки на измеряемое тело служит окуляр 4, закрываемый для защиты глаза красным или дымчатым светофильтром 5. Патрубок 6 используется для вывода проводов от приемника излучения.

Для измерений температуры от 100 до 500°C применяют линзу, выполненную из фтористого лития или флюорита ($\lambda = 0,4 - 8 \text{ мкм}$), при измерениях от 400 до 200°C – из кварцевого стекла ($\lambda = 0,4 - 4 \text{ мкм}$) и при измерениях от 900 до 3000°C – из оптического стекла марки К – 8 ($\lambda = 0,4 - 2,5 \text{ мкм}$).

В качестве приемников излучения применяются хромель-копелевые термобатареи (градуировки РС–20 и РС–25) со стеклянными оптическими системами, с кварцевыми системами – хромель–копелевые (градуировка РК–15) или нихром–константановые (РК–20) термобатареи.

Форма представления результата:

Отчет включает в себя следующие пункты

1. Схемы измерительного устройства, описание его конструктивных особенностей и практического использования в каждом из указанных вариантов
2. Таблица выбора термопары

№	Область использования	Тип термопары	Пределы измерения	Погрешность измерения

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Практическая работа №3. Изучение устройства и принципа действия манометров

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Изучить устройство и принцип действия манометров

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

анализировать устройства для измерения давления в металлургии

Материальное обеспечение:

Схемы манометров

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

Ознакомиться с устройствами и классификацией приборов для измерения давления в металлургии

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

- 1 Ознакомиться с классификацией приборов для измерения давления

По измеряемому давлению приборы подразделяются:

1. барометр – приборы для измерения атмосферного давления;
2. манометры – приборы для измерения избыточного давления; Избыточное давление – в трубопроводах, в закрытых емкостях.
3. дифманометры – приборы для измерения разности давлений;
4. вакуумметры – приборы для измерения давления ниже P_a . Вакуум – это давление ниже атмосферного.
5. мановакуумметры – приборы для измерения небольших давлений и разряжения.

По принципу действия:

1. Жидкостные (рис. 1).

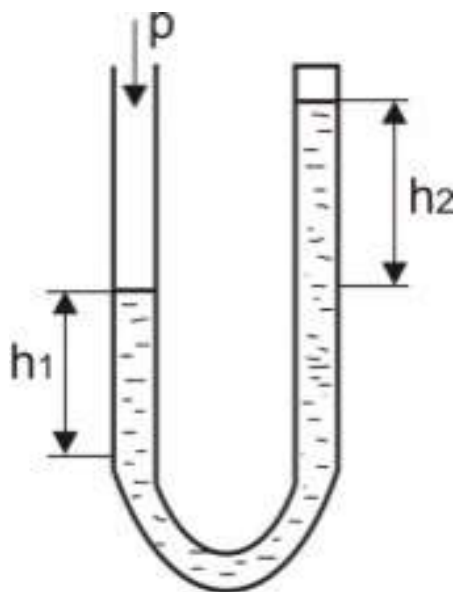


Рис. 1

Применяются U – образные (двухтрубные) и чашечные (однотрубные) относятся к группе жидкостных приборов с видимым уровнем. Применяется для измерения избыточного давления воздуха и неагрессивных газов до 7 000 Па и до 0,1 МПа, для измерения разрежения и для измерения разности давлений.

В качестве рабочей жидкости используется спирт, вода, ртуть, масла.

Недостатки:

1. Отсутствие измерения на расстоянии.
2. Небольшие давления.
3. Отсчёт производится по 2 – м трубкам.

Преимущества:

1. Простота конструкций;
2. Сравнительно высокая точность.

Применяется для измерения небольших давлений, для градуировки, для единичных измерений там, где не нужна передача сигнала на расстояние.

Погрешность $\pm 1\%$.

2. Грузопоршневые (рис. 2)

Если полная масса платформы и грузов равна M , то их вес составляет Mg . Если площадь поперечного сечения поршня платформы равна A , то создаваемое в жидкости давление составляет Mg/A .

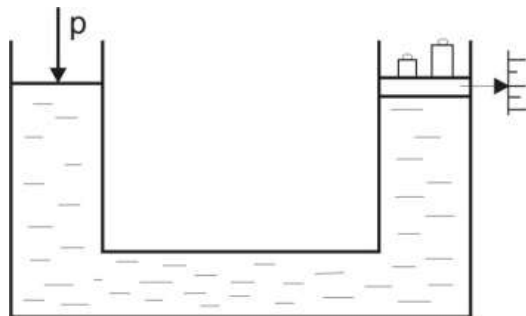


Рис. 2

Достоинства: высокая точность.

Недостатки:

1. Громоздкие;

2. Отсутствие передачи сигнала на расстояние.

Применяется только для поверки других приборов.

3. Деформационные

Чувствительные элементы, входящие в состав датчиков давления, являются механическими устройствами, деформирующимися под действием внешнего напряжения. Такими устройствами могут быть трубки Бурдона (С-образные, спиральные и закрученные), гофрированные [3] и подвесные диафрагмы, мембраны, сильфоны и другие элементы, форма которых меняется под действием на них давления.

1) трубчатые пружины трубки Бурдона (С-образные, спиральные и закрученные) (рис. 3).

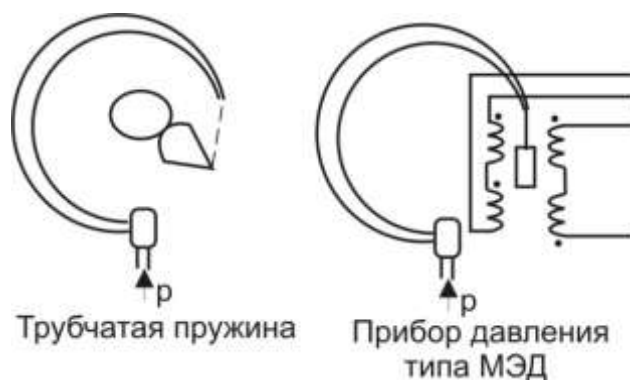


Рис. 3

Трубчатая пружина представляет собой тонкостенную, согнутую по дуге окружности, трубку (одно- или многовитковую) с запаянным одним концом, которая изготавливается из медных сплавов или нержавеющей стали. При увеличении или уменьшении давления внутри трубки пружина раскручивается или скручивается на определённый угол.

Для передачи сигнала на расстояние можно использовать приборы типа МЭД. Действие прибора типа МЭД основано на использовании деформации одновитковой пружины, свободный конец которой, связанный с сердечником дифференциально-трансформаторного преобразователя, перемещается пропорционально измеряемому давлению.

2) мембрана – это тонкая диафрагма, радиальное растяжение которой измеряется в Ньютонах на метр (рис. 4). Мембраны – обладают значительной жёсткостью и менее восприимчивы к вибрациям:

а) мембраны: жёсткие (гофрированные).

б) мембранные коробки, образованные двумя спаянными или сваренными гофрированными мембранами и блоки из 2 или нескольких мембранных коробок.

в) мембраны вялые (неметаллические). Применяют для измерения малых давлений и разности давлений. Эти мембраны изготавливают из специальной сетчатой ткани (капрона, шёлка), покрытой бензомаслостойкой резиной или пластмассой. Жёсткость вялой мембраны недостаточна, поэтому её снабжают винтовой пружиной. В таком случае пружина с мембраной выполняют функции упругого элемента.

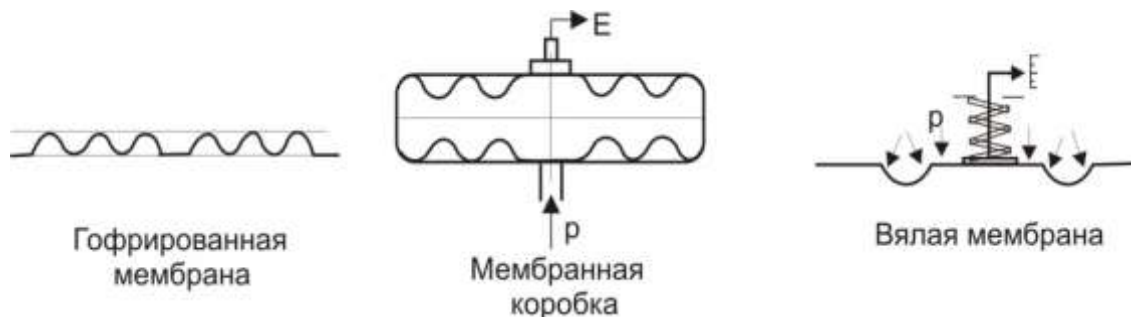


Рис. 4

3) сильфоны (рис. 5). Сильфон преобразует давление в линейное перемещение, которое может быть измерено при помощи соответствующего датчика. Таким образом, сильфон выполняет первый этап преобразования давления в электрический сигнал. Сильфон представляет собой тонкостенную трубку с поперечной гофрировкой. Сильфоны применяются в напоромерах и тягомерах для измерения небольшого давления до 40 000 Па, в приборах для измерения вакуумметрического давления до 0,1 Па, абсолютного давления до 2,5 Па, избыточного до 60 МПа и разности давлений до 0,25 МПа.

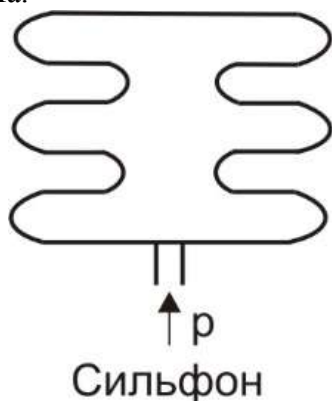


Рис. 5

4. Дифференциальные манометры.

Дифманометры применяются для измерения разности (перепада) давления жидкостей и газов. Они могут быть использованы для измерения расхода газа и жидкостей, уровня жидкостей, а также для измерения малых избыточных и вакуумметрических давлений. Наиболее широкое применение получили мембранные и сильфонные дифманометры.

Мембранные дифманометры являются бесшкальными первичными измерительными приборами, предназначенными для измерения давления

неагрессивных сред, преобразующими измеряемую величину в унифицированный аналоговый сигнал постоянного тока 0..5 мА, переменного тока взаимной индукции 0..10 мГн или в пневматический сигнал давлением 20..100 кПа.

Рассмотрим дифманометр мембранного типа с д.-т. преобразователем (рис. 6). Чувствительным элементом этого манометра является мембранный блок, состоящий из мембранных коробок 1 и 3, закреплённых в корпусе 2. Внутренние полости коробок заполнены дистиллированной водой и через отверстие в перегородке сообщаются между собой. С центром верхней мембраны связан сердечник 4 д.-т. преобразователя 5. Сердечник 4 перемещается внутри разделительной трубки 6, выполненной из немагнитной стали. Давление p_1 и p_2 в камеры дифманометра подводится трубками через запорные вентили, причём давление p_1 больше чем p_2 . Под действием измеряемой разности давлений ($p_1 - p_2$) нижняя мембранная коробка 1 сжимается и жидкость и жидкость из неё перетекает в верхнюю мембранную коробку 3, вызывая перемещение центра мембраны верхней коробки, а вместе с ней и сердечника 4 преобразователя до тех пор, пока усилие от приложенной к мембранному блоку разности давлений не уравнивается упругими силами мембранных коробок. Перемещение сердечника 4 приводит к изменению напряжения выходного сигнала пропорционально измеряемому перепаду давления.

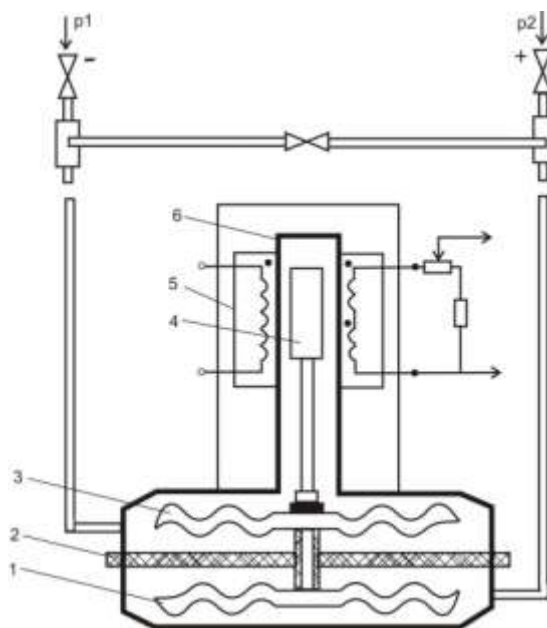


Рис. 6

5. Электрические, в которых измеренное давление приводит к изменению какого-либо электрического параметра (тензоэффект, пьезоэффект, магнитоанизотропия).

5.1. Тензодатчики, принцип действия основан на изменении сопротивления под действием деформации.

Тензодатчики бывают металлические и полупроводниковые. В качестве металлических используют нихром, константант, в качестве полупроводниковых — кремний и германий. Тензодатчики бывают проволоочные и фольговые.

Тензоэффект, который лежит в основе работы тензорезисторов, заключается в изменении сопротивления резистора (проволоки) под действием внешней деформации. Деформация объекта, на котором укреплён тензорезистор, вызывает деформацию проволоки тензорезистора, в результате чего изменяется его длина, поперечное сечение, что в конечном счёте приводит к изменению электрического сопротивления проволоки тензорезистора.

Тензочувствительным элементом является проволока 3, диаметр которой выбирают в пределах 0,02 – 0,05 мм. Проволока наклеивается на полосу основы 2, образуя при этом так называемую решётку. К концам проволоки 3 припаиваются или привариваются выводные проводники 1, материалом для которого чаще всего служит медь. Сверху проволока также покрывается тонкой бумагой или слоем лака 4. Чтобы преобразователь воспринимал деформацию, его наклеивают на исследуемый объект. следовательно, входная величина тензопреобразователя представляет собой деформацию поверхностного слоя объекта, на который он наклеен, а выходная – изменение сопротивления, которое пропорционально измеряемой деформации (рис. 7).

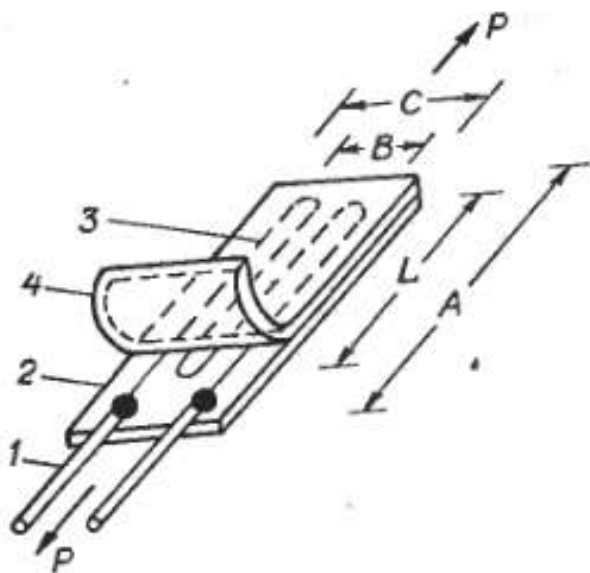


Рис. 7 Конструкция проволочного тензодатчика
5.2. Пьезодатчики.

Пьезоэлектрический эффект заключается в образовании в кристаллическом материале электрических зарядов при приложении к нему механических напряжений. Этот эффект наблюдается в природных кристаллах, таких как кварц (SiO_2), поляризованных керамических материалах и некоторых полимерах, например, в поливинилиденфториде. Слово пьезо происходит от греческого *piezen*, означающее давление. Братья Кюри открыли пьезоэлектрический эффект в кварце ещё в 1880 году, но долгое время это открытие не имело почти никакого практического применения.

В качестве пьезоэлектрика используется кварцевый кристалл. В элементарную монокристаллическую ячейку входят три атома кремния и шесть атомов кислорода. Каждый атом кремния обладает 4 положительными зарядами, а каждая пара атомов кислорода - четырьмя отрицательными (по два на атом). Поэтому без приложения механических напряжений кварцевая ячейка является электрически нейтральной.

Пьезоэффект заключается в возникновении электрических зарядов на гранях пьезоэлектрика при воздействии на него механической силы, вызывающей напряжение в материале (рис. 8). При устранении силы заряды исчезают. Для сбора электрических зарядов к кристаллу на противоположных сторонах от среза прикрепляют электроды. Построенный т.о. пьезоэлектрический датчик можно считать конденсатором, в котором в качестве диэлектрика выступает сам кристалл, работающий как генератор электрических зарядов, приводящих к появлению электрического напряжения на электродах.

Пьезоэлектрические кристаллы являются прямыми преобразователями механической энергии в электрическую.



Рис. 8

2 Заполнить таблицу по образцу

тип прибора	достоинства	недостатки	чувствительный элемент	Область применения

Форма представления результата:

Отчет включает в себя следующие пункты

1. Схемы измерительного устройства, описание его конструктивных особенностей и практического использования в каждом из указанных вариантов
2. Заполнение таблицы

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Практическая работа №4. Изучение устройства и принципа действия уровнемеров

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Ознакомиться с классификацией и принципов действия уровнемеров

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

анализировать приборы для измерения уровня сыпучих материалов в металлургических агрегатах

Материальное обеспечение:

Схемы уровнемеров

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

- 1 Ознакомиться с классификацией уровнемеров
- 2 Изучить принцип действия уровнемеров

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

- 1 Ознакомиться с классификацией методов измерения уровня жидкости и сыпучих материалов:

Классификация методов измерения уровня

1. **Весовой**, когда измеряется вес бункера (рис. 1).



Рис. 1

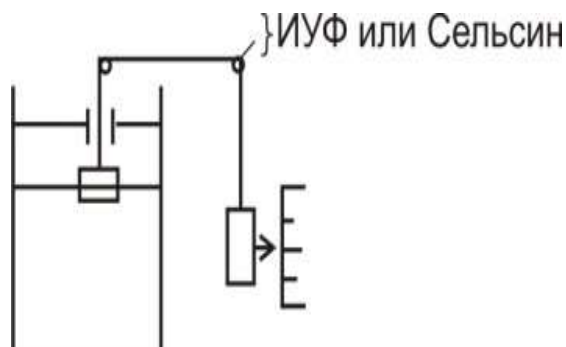
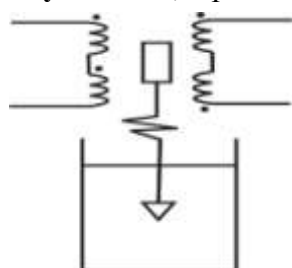


Рис. 2

2. Поплавковый, применяется для измерения жидкости, находящейся под давлением, когда объект расположен сравнительно недалеко от поста наблюдения (рис. 2). Наиболее существенное влияние на точность измерения уровня поплавковым уровнемером оказывает изменение температуры в рабочей полости сосуда. Изменение температуры обуславливает температурную деформацию поплавка, изменение плотностей жидкости и газа

3. Буйковый, применяется для жидкости, находящейся под избыточным давлением.



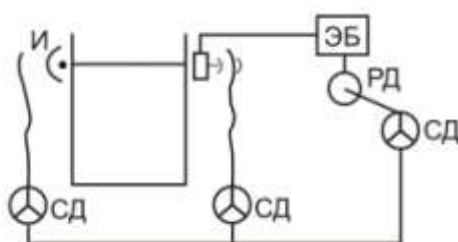
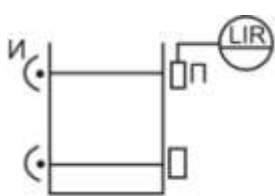
Сила выталкивания изменяется с изменением уровня. Схема буйкового уровнемера приведена на рисунке 3. Чувствительный элемент уровнемера – буй представляет собой массивное тело (как правило, осесимметричное), подвешенное вертикально внутри сосуда, в котором измеряется уровень жидкости).

Рис. 3

При изменении Δh уровня жидкости меняется степень погружения буя, а следовательно, и действующая на него выталкивающая сила. Изменение выталкивающей силы компенсируется деформацией Δx упругого элемента (пружины, мембраны, торсионной трубки), которая и является мерой изменения уровня жидкости в сосуде.

Деформация упругого элемента вторичным преобразователем преобразуется в пропорциональный электрический сигнал.

4. Радиоизотопный. Положение уровня жидкости и сыпучих материалов в закрытых емкостях можно контролировать с использованием проникающего γ -излучения. Принцип заключается в ослаблении радиоизотопного излучения



измеряемой средой.

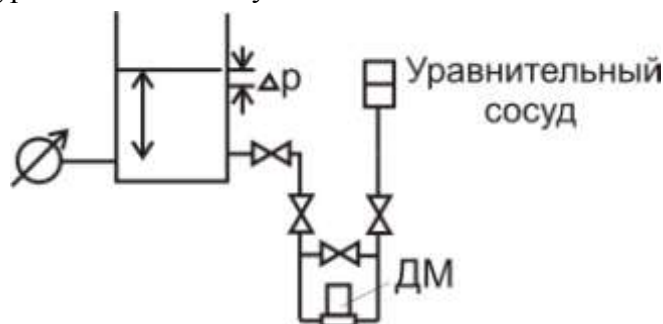
В качестве изотопов испускающих γ - лучи наиболее часто применяются Co^{60} , Cs^{137} .

Возможны 3 принципиальные схемы радиоизотопных уровнемеров:

- 1) источник и приёмник с двух разных сторон бункера;
- 2) источник на дне бункера, а приёмник над бункером;
- 3) источник, расположенный на поплавке внутри бункера, а приёмник над бункером.

Основной недостаток: использование радиоизотопных источников.

5. Гидростатический, жидкость подчиняется закону Паскаля. Разность давлений Δp , создаваемая уравнильным сосудом и измеряемая дифманометром, пропорциональна уровню воды в сосуде.



В этих приборах измерение уровня жидкости постоянной плотности сводится к измерению давления, создаваемого столбом жидкости, т.е. $p = \rho g H$. Существуют гидростатические уровнемеры с непрерывным продуванием воздуха или газа (пьезометрические уровнемеры) и с непосредственным

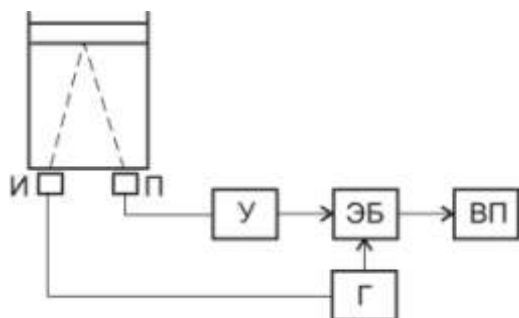
измерением столба жидкости.

Пьезометрические уровнемеры применяют для измерения уровня самых разнообразных, в том числе агрессивных и вязких жидкостей в открытых резервуарах и в сосудах под давлением. Сжатый воздух или газ, пройдя дроссель и ротаметр, попадает в пьезометрическую трубку, находящуюся в резервуаре.

6. Акустические.

В акустических уровнемерах нашли применение три основных метода: локационные, диссипативные и резонансные.

а) локационный. Здесь используется импульсный способ измерения уровня по отражению ультразвуковых колебаний от границы раздела сред со стороны жидкости. Мерой уровня жидкости h является время прохождения ультразвуковых колебаний t от излучателя до плоскости раздела сред (жидкость– газ) и обратно до приёмника

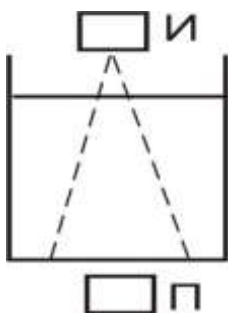


В качестве вторичного прибора может быть использован автоматический потенциометр.

Локация уровня может производиться снизу, как на рисунке, так и сверху. Во втором случае

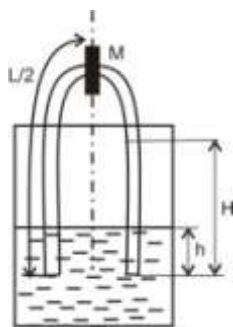
по времени прохождения ультразвуковых колебаний через газ определяется толщина газовой подушки. Локация снизу предпочтительней, т.к. при этом требуется меньшая мощность излучателя и меньшее усиление сигнала в приёмной части уровнемера.

б) диссипативный, основанный на ослаблении ультразвуковых колебаний. Чем ослабленнее сигнал, тем выше уровень.



в) резонансный.

Принцип действия колебаний столба уровня жидкости и частоты, при которой возникновении стоячей представляет собой достаточный для



основан на возбуждении парогазовой смеси над фиксации резонансной волны. Датчик уровнемера трубчатый резонатор образования стоячей

волны длины L . (L должно быть не менее трёх диаметров резонатора и обеспечить требуемый диапазон измерения уровня H - максимального). Для возбуждения колебаний резонатора используется магнито-электрические преобразователи M – обычно ленточные микрофоны.

Основные недостатки резонансных уровнемеров – сложность и громоздкость конструкции, а также существенное влияние на их показания изменений скорости с распространением звука в газовой среде.

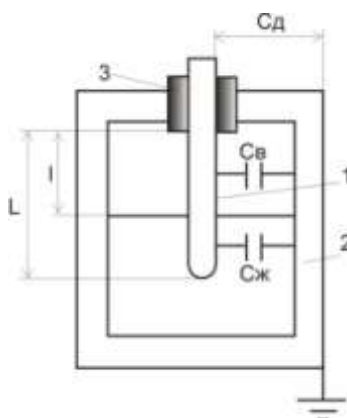
7. Тепловые, основанные на теплообмене датчика со средой.

а) dilatometric. Чувствительным элементом dilatometric уровнемера является стержень или трубка, омываемые жидкостью и парогазовой смесью. Несмотря на простоту и надёжность dilatometric уровнемеры вследствие малых диапазонов измерений (не более 0,75 м) и невысокой точности не получили широкого промышленного применения.

б) терморезисторный. Чувствительный элемент терморезисторных уровнемеров представляет собой помещённые в сосуд резисторы, электрическое сопротивление которых определяется их температурой.

Специфичной областью применения терморезисторных уровнемеров является криогеника (измерение уровня сжиженных газов).

в) термоэлектрический, используется для измерения уровня в кристаллизаторе (МНЛЗ). Температура снижается, т.к. металл застывает и образуется зазор. Точность увеличивается с увеличением термопар.



8. Электрические, основанные на изменении каких – либо электрических параметров.

Принцип действия электрических уровнемеров основан на различие электрических свойств жидкостей и газов. При этом жидкости могут быть как проводниками, так и диэлектриками, газы же – всегда диэлектрики.

Основным параметром, определяющими электрические свойства проводника - это электропроводимость, а диэлектрика – относительная диэлектрическая проницаемость, показывающая во сколько раз по сравнению в вакуумом уменьшается в данном веществе сила

взаимодействия между электрическими зарядами.

В зависимости от изменяющегося параметра электрические уровнемеры подразделяются:

- а) термокондуктометрический, основанный на изменении проводимости. Используются для измерения уровня проводящих жидкостей (в том числе, и жидких металлов).
- б) индукционный, с изменением уровня изменяется взаимоиндукция.
- в) емкостной. Емкостной метод измерения уровня основан на том, что электрическая ёмкость специального конденсатора, установленного в резервуаре с жидкостью, зависит от её уровня.

9. Оптические методы

- а) визуальный, отсутствие передачи сигнала на расстояние.
- б) фотоэлектрический, стенки сосуда должны быть прозрачными, возможно ложное срабатывание, т.к. широкий спектр.
- в) лазерные, принцип действия аналогичен фотоэлектрическому, но здесь исключается возможность ложного срабатывания, т.к. длина волны не имеет широкого спектра, как диод.

10. Механические методы – применяются в основном для измерения уровня сыпучих тел. К механическим методам для измерения жидких тел можно отнести: поплавковый, буйковый, гидростатический.

- а) с гибким щупом
- б) маятниковые
- в) лотовый (зондовый).

2 Заполнить таблицу:

тип прибора	достоинства	недостатки	чувствительный элемент	Область применения

Форма представления результата:

Отчет включает в себя следующие пункты

1. Схемы измерительного устройства, описание его конструктивных особенностей и практического использования в каждом из указанных вариантов
2. Заполнение таблицы

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Практическая работа №5. Изучение устройства и принципа действия газоанализаторов

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Ознакомиться с классификацией и устройством основных типов газоанализаторов

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

анализировать основные газоанализаторы

Материальное обеспечение:

Схемы газоанализаторов

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

Ознакомиться с классификацией, устройством и принципом действия основных газоанализаторов, применяемых в металлургии

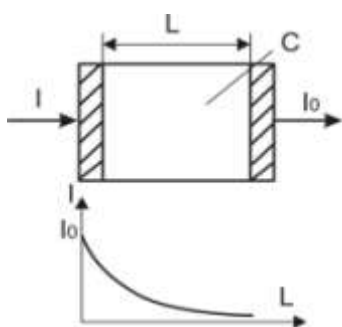
Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

- 1 Ознакомиться с классификацией газоанализаторов

Оптико-акустические газоанализаторы



Газоанализаторы инфракрасного поглощения относятся к группе абсорбционных оптических газоанализаторов. Оптические газоанализаторы основаны на избирательном поглощении газами инфракрасного излучения. Известно, что инфракрасное излучение способны поглощать двухатомные и многоатомные газы (CO , CO_2 , CH_4). Каждый газ поглощает инфракрасное излучение в определённой, свойственной только ему, области спектра.

Тепловые газоанализаторы

а) термокондуктометрические газоанализаторы.

Принцип действия основан на изменении теплопроводности газовой смеси, в зависимости от её хим. состава

Значение теплопроводности зависит от температуры, и при повышенных температурах теплопроводности некоторых газов оказываются одинаковыми.

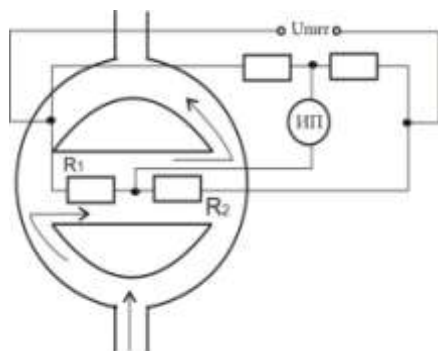
Например, для CO_2 такое равенство наступает при 600°C . При этой температуре анализ газов с целью определения CO_2 по суммарной теплопроводности газовой смеси невозможен.

Для анализа по теплопроводности газовой смеси наиболее благоприятный температурный режим обеспечивается при $80 - 100^\circ\text{C}$.

6.3. Термомагнитные газоанализаторы

Магнитные газоанализаторы на O_2 , основанные на измерении магнитных свойств O_2 , получили широкое применение в различных отраслях промышленности для определения концентрации O_2 в газовых смесях.

Все известные газы разделяются на диамагнитные и парамагнитные. Магнитные свойства газов уменьшаются с увеличением температуры.



Термомагнитные газоанализаторы основаны на использовании явления термомагнитной конвекции парамагнитного газа, возникающей при наличии неоднородного м.п. и нагретого тела.

В термомагнитном газоанализаторе анализируемый парамагнитный газ, протекающий непрерывно в канале, втягивается в измерительную камеру с магнитной системой, м/у полюсами которой находится нагреваемый током чувствительный элемент. Газ соприкасаясь с чувствительным элементом нагревается, и магнитная восприимчивость его уменьшается. Вследствие этого нагретый газ выталкивается из м.п. более холодным. Этот поток газа охлаждает чувствительный элемент.

Для измерения изменения сопротивления чувствительного элемента, вызванного его охлаждением применяют неуравновешенную мостовую или компенсационную схему.

Благодаря парамагнитным свойствам O_2 , находящегося в анализируемой смеси, газ под действием магнитного поля втягивается в измерительную камеру. Сопротивление R_1 охлаждается от проходящего через него O_2 , кислород нагревается и его магнитные свойства уменьшаются и он выталкивается более холодным. А сопротивление R_2 нагревается, изменение температуры термоэлементов приводит к нарушению равновесия моста, степень которого зависит от концентрации кислорода в анализируемой газовой смеси. При отсутствии O_2 в измеряемом газовом потоке мост находится в равновесии.

Такие газоанализаторы используют для контроля чистоты при его содержании от 20 до 100%. Основная погрешность прибора $\pm 5\%$.

6.4. Электрохимические газоанализаторы

Или датчики – анализаторы на твёрдых электролитах.

Время запаздывания 25 сек.

Al_2O_3 , MgO , ZrO_2 – при нормальной температуре это хорошие изоляторы. При температуре выше $800 - 1000^\circ\text{C}$, они ведут себя как жидкие электролиты, т.е. обладают ионной избирательной проводимостью, проводят ион O_2 . Твёрдые

электролиты при высоких температурах способны проводить ток обусловлено переносом через них кислорода из анализируемого газа под воздействием приложенного к нему напряжения. Не обладают стабильностью.



Принцип действия основан на измерении ЭДС высокотемпературной электрохимической ячейки из твердого электролита с кислородоионной проводимостью.

ЭДС возникает вследствие различия объемной доли кислорода в сравнительной и анализируемой газовых средах, разделенных твердым электролитом. В установившемся режиме величина ЭДС является мерой объемной доли кислорода анализируемой среде.

Чаще всего применяются ZrO_2 , добавляют Ca 5 – 8 % и редкоземельные элементы (РЗЭ)

Преимущества:

1. Высокая точность;
2. Малая инерционность (датчик м. находиться непосредственно в рабочем пространстве).

Недостатки:

1. С течением времени происходит изменение характеристик ЭХД (электрохимических датчиков), из-за обычного загрязнения;
2. Возможность образования трещин.

2 Заполнить таблицу

тип прибора	достоинства	недостатки	Устройство и принцип работы	Область применения

Форма представления результата:

Отчет включает в себя следующие пункты

1. Схемы измерительного устройства, описание его конструктивных особенностей и практического использования в каждом из указанных вариантов
2. Заполнение таблицы

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Тема 5.2 Автоматизация доменного производства

Практическая работа №6. Изучение схемы автоматизации доменной печи

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

изучить функциональную схему автоматизации доменной печи

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

читать функциональную схему автоматизации доменной печи

Материальное обеспечение:

Функциональная схема автоматизации доменной печи

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

1. Найти на схеме основные контуры автоматического контроля и регулирования технологического процесса
2. Найти место установки первичного датчика САР
3. Обосновать взаимосвязь элементов при работе САР отдельных параметров

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

1. Ознакомиться с инструкцией по выполнению работы
2. Сформировать задачу управления процессом
3. Определить выполненные на схеме автоматизированные системы контроля и регулирования

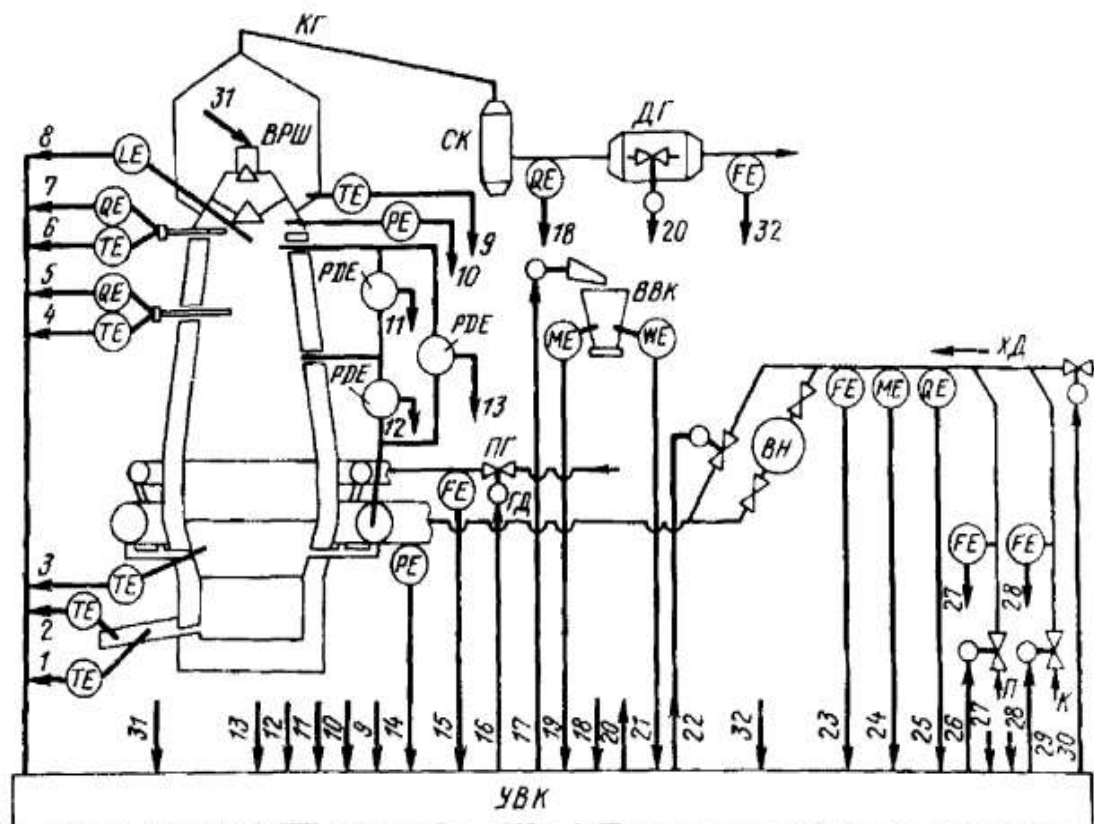


Схема АСУ ТП Доменной плавки:

НРШ - вращающийся распределитель шихты; СК - скруббер для очистки газа; ДГ - дроссельная группа; КГ - колошниковый газ; ВВК - весовая воронка кокса; ПГ - природный газ; П - пар; К - кислород; ХД - холодное дутье; ГД - горячее дутье
 Сигналы измерения: 1 и 2 - температура чугуна и шлака; 3 - температура фурменных тон; 4 и 5 - температура и состав газов по радиусу печи под уровнем насыпи; 6 и 7 то же над уровнем насыпи; 8 - уровень насыпи шихты; 9 - температура колошникового газа в четырех газоотводах;

10 - давление газа на колошнике; 11, 12 и 13 - верхний, нижний и общий перепад давления по высоте шахты печи; 14 - давление горячего дутья; 15 - расход природного газа на печь, 16 - состав колошникового газа;

19 и 21 - влажность и масса кокса; 23 - расход холодного дутья; 24 - влажность дутья; 25 - содержание кислорода в дутье; 27 - расход пара; 28 - расход кислорода; 32 - расход колошникового газа.

Сигналы управления: 16 - расход природного газа на печь; 17 - масса загружаемого кокса; 20 - давление газа на колошнике; 22 - температура горячего дутья; 26 - расход пара (влажность дутья); 29 - расход

кислорода (содержание кислорода в дутье); 30 - расход холодного дутья; 31 - вращающийся распределитель шихты.

4. Выполнить структурную схему САР в общем виде
5. Обосновать назначение САР параметры и объяснить ее работу.

Форма представления результата:

Ответить на вопросы:

1. Задача управления технологическим процессом
2. Перечень автоматизированных систем контроля и регулирования
3. Структурная схема САР в общем виде
4. Функциональная схема САР отдельного параметра
5. Указание места установки первичного датчика
6. Назначение САР, регулирующее воздействие

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

**Практическая работа №7. Изучение схем автоматизации
воздухонагревателей**

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Изучить функциональную схему автоматизации воздухонагревателя

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

читать функциональную схему автоматизации воздухонагревателя

Материальное обеспечение:

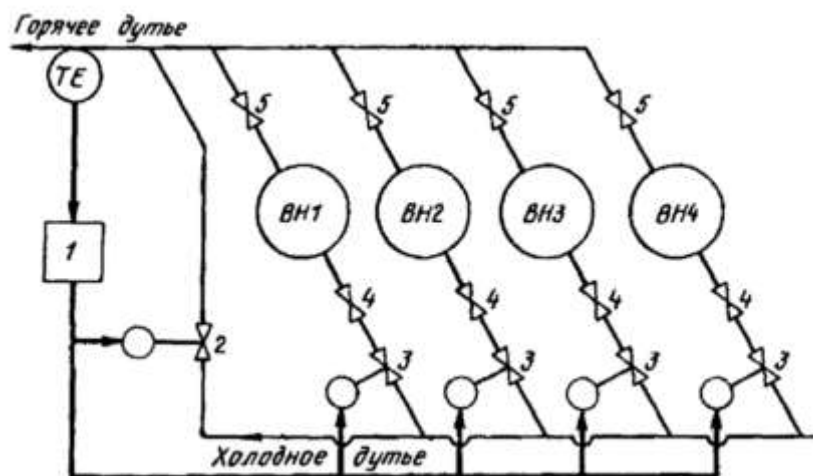
Функциональная схема автоматизации воздухонагревателя

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

1. Найти на схеме основные контуры автоматического контроля и регулирования технологического процесса

2. Найти место установки первичного датчика САР



Система стабилизации температуры горячего дутья строится различным образом в зависимости от режима включения воздухонагревателей (ВН). При последовательном режиме работы один воздухонагреватель (например, ВН1) находится на дутье (клапаны 4 и 5 - открыты), остальные на нагреве (клапаны 4 и 5 закрыты). Температура горячего дутья в этом случае поддерживается регулятором 1 путем смешения с холодным дутьем при помощи смесительного клапана 2. В начале периода работы ВН на дутье клапан 2 имеет максимальное открытие, которое уменьшается до практически полного закрытия по мере остывания ВН.

При попарно-параллельном режиме два ВН всегда находятся на дутье и два на нагреве. Переключение на дутье двух ВН происходит не одновременно, а со сдвигом во времени. Как только ВН включается на дутье, расход воздуха через него минимальный, а затем по мере охлаждения предыдущего ВН дутье между ними перераспределяется с помощью регулятора I и клапанов 3 так, чтобы поддерживать постоянную температуру. Как только расход дутья через предыдущий ВН уменьшится до нуля, он отключается и подключается последующий. При работе с перекрытием (смешанный или комбинированный режим) сначала ставятся на дутье два ВН, затем остывший полностью переключается на нагрев, а на дутье остается один, более горячий. При достаточном охлаждении второго ВН к нему параллельно подключается горячий, третий, и они работают совместно на дутье, пока второй полностью не остынет и не отключится. После этого третий ВН работает один, затем к нему параллельно подключается четвертый и т.д. При режиме работы с перекрытием температура горячего дутья поддерживается с помощью смесительного клапана 2 при открытых клапанах 3 или с помощью клапанов 3 при параллельной работе и клапана 2 при последовательной работе воздухонагревателей на дутье.

3. Обосновать взаимосвязь элементов при работе САР отдельных параметров

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомится с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.

3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

1. Ознакомиться с инструкцией по выполнению работы
2. Сформировать задачу управления процессом
3. Определить представленные на схеме автоматизированные системы контроля и регулирования
4. Выполнить структурную схему САР в общем виде
5. Обосновать назначение САР заданного параметра и объяснить ее работу

Форма представления результата:

Ответить на вопросы:

1. Задача управления технологическим процессом
2. Перечень автоматизированных систем контроля и регулирования
3. Структурная схема САР в общем виде
4. Функциональная схема САР отдельного параметра
5. Указание места установки первичного датчика
6. Назначение САР, регулирующее воздействие

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Тема 5.3 Автоматизация производства стали

Практическая работа №8. Изучение схемы автоматизации конвертера

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы: Изучить функциональную схему автоматизации кислородного конвертера

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

читать функциональную схему автоматизации кислородного конвертера

Материальное обеспечение:

Функциональная схема автоматизации кислородного конвертера
Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

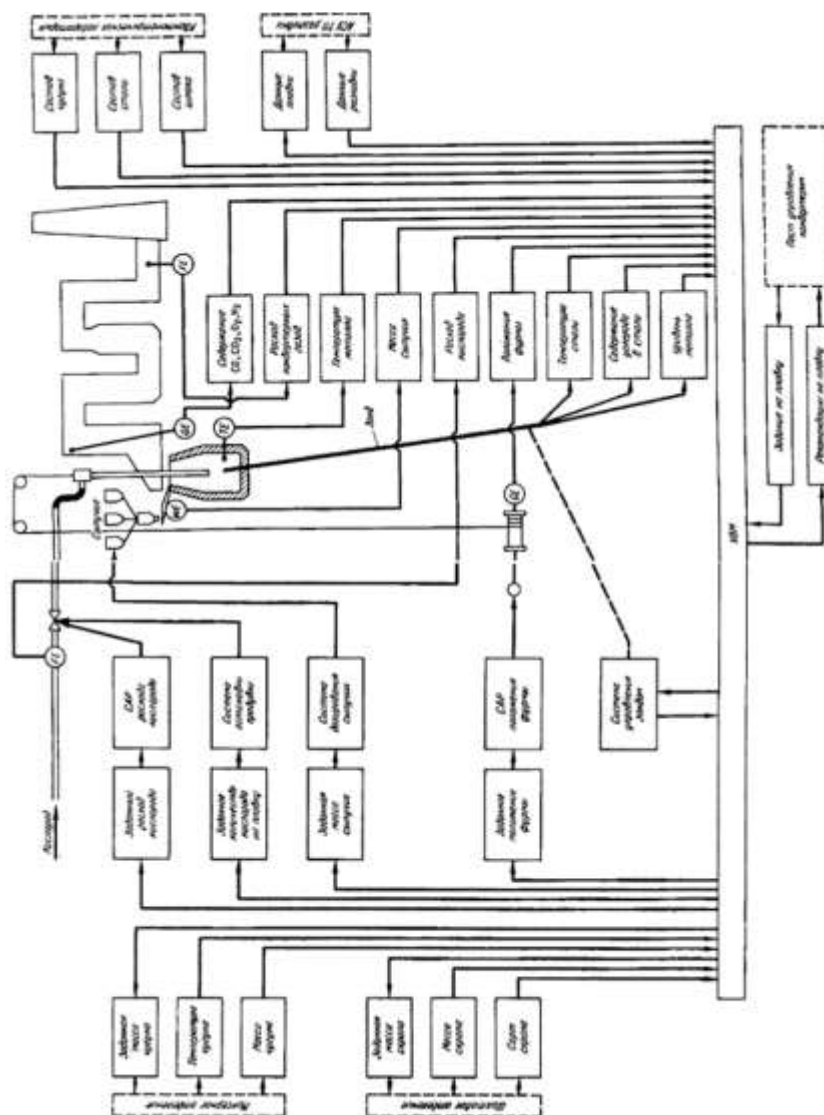
1. Найти на схеме основные контуры автоматического контроля и регулирования технологического процесса
2. Найти место установки первичного датчика САР
3. Обосновать взаимосвязь элементов при работе САР отдельных параметров

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

1. Ознакомиться с инструкцией по выполнению работы
2. Сформировать задачу управления процессом
3. Определить представленные на схеме автоматизированные системы контроля и регулирования



Для функционирования АСУ ТП предусмотрены следующие автоматизированные и автоматические системы технологического контроля, регулирования и управления (пример):

Конвертер: автоматизированного измерения температуры стали и содержания углерода в металле (зонд); автоматического непрерывного по ходу продувки измерения температуры металла в ванне конвертера; автоматического контроля положения конвертера; автоматического контроля и регулирования положения фурмы; автоматической подачи кислорода в конвертер; автоматического контроля параметров кислорода и воды для охлаждения фурмы; автоматической остановки продувки; аварийной сигнализации основных технологических параметров и автоблокировки работы оборудования; автоматического контроля времени продувки; автоматического дозирования и подачи сыпучих материалов в конвертер;

Газоочистка: автоматического регулирования давления газов на выходе из конвертера; автоматического регулирования перепада давления на I ступени труб-распылителей газоочистки; автоматического анализа конвертерных газов на CO , CO_2 ,

O₂, H₂; автоматического контроля давления, расхода и температуры воды на газоочистку; автоматического контроля температуры и разрежения по ступеням газоочистки; автоматического контроля расхода и давления азота на уплотнение газоотводящего факта; автоматического контроля и сигнализации уровня воды в бункерах газоочистки;

Охладитель конвертерных газов: автоматического регулирования питания барабана охладителя; автоматического регулирования непрерывной продувки барабана; автоматического регулирования температуры циркуляционной системы; автоматического регулирования давления в барабане; автоматического контроля работы циркуляционных насосов и насосов подкачке воды к "юбке"; автоматического контроля параметров пара, питательной воды, циркуляционной воды и воды на охлаждение "юбки".

4. Выполнить структурную схему САР в общем виде
5. Обосновать назначение САР заданного параметра и объяснить ее работу

Форма представления результата:

Ответить на вопросы:

1. Задача управления технологическим процессом
2. Перечень автоматизированных систем контроля и регулирования
3. Структурная схема САР в общем виде
4. Функциональная схема САР отдельного параметра
5. Указание места установки первичного датчика
6. Назначение САР, регулирующее воздействие

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Практическая работа №9. Изучение схемы автоматизации электродуговой печи

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы: Изучить функциональную схему автоматизации электродуговой печи

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

читать функциональную схему автоматизации электродуговой печи

Материальное обеспечение:

Функциональная схема автоматизации электродуговой печи

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

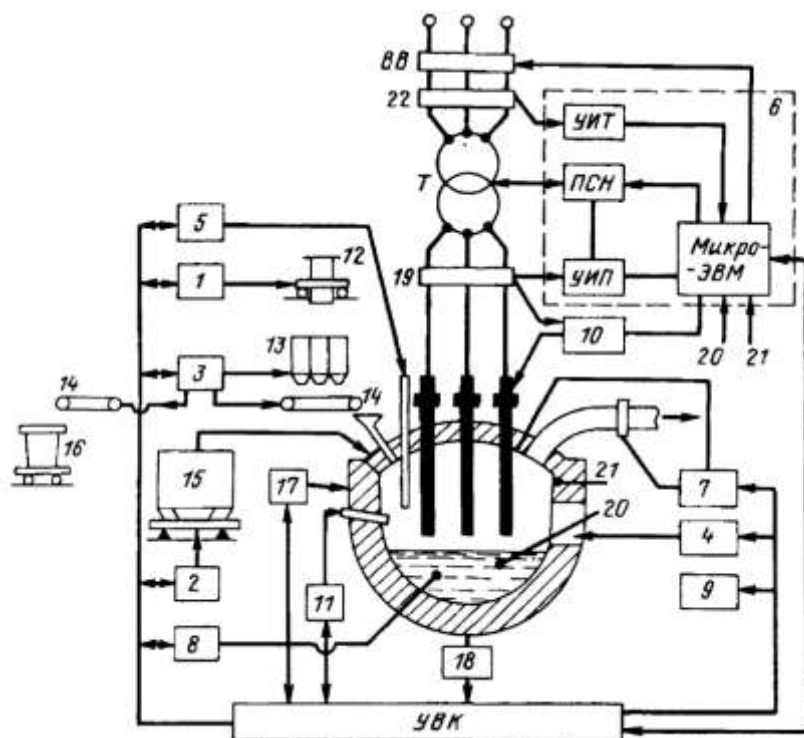
1. Найти на схеме основные контуры автоматического контроля и регулирования технологического процесса
2. Найти место установки первичного датчика САР
3. Обосновать взаимосвязь элементов при работе САР отдельных параметров

Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

Ход работы:

1. Ознакомиться с инструкцией по выполнению работы
2. Сформировать задачу управления процессом
3. Определить представленные на схеме автоматизированные системы контроля и регулирования



Структурная схема АСУ ТП выплавки стали в ДСП: 1 - система автоматического управления (САУ) загрузкой расходных бункеров; 2 - САУ взвешиванием металлошихты; 3 - САУ дозированием и подачей сыпучих материалов и ферросплавов в печь и сталеразливочный ковш; 4 - САУ дозирования заправочных материалов; 5 - САУ продувкой ванны кислородом; 6 - САУ тепловым режимом; 7 - САУ давлением в печи; 8 - автоматизированная система химического анализа; 9 - система определения периодов плавки; 10 - автоматический регулятор мощности; 11 - САУ работой газокислородных горелок; 12 - весовая тележка; 13 - бункера с дозирующими устройствами для шлакообразующих материалов и ферросплавов; 14 - конвейер; 15 - корзина для загрузки металлической шихты с весоизмерительным устройством; 16 - сталеразливочный ковш; 17 - устройство контроля расхода и температуры воды для охлаждения стен и свода печи; 18 - устройство контроля температуры подины печи; 19 - датчики тока и напряжения фаз печи; 20 - датчик температуры металла; 21 - датчик температуры футеровки печи; 22 - датчики электрических величин на высокой стороне трансформатора; Т - печной трансформатор; ПСН - переключатель ступеней напряжения; УИП - устройство измерения параметров; УВК управляющий вычислительный комплекс; ВВ - высоковольтный выключатель

4. Выполнить структурную схему САУ в общем виде

5. Обосновать назначение САУ заданного параметра и объяснить ее работу

Форма представления результата:

Ответить на вопросы:

1. Задача управления технологическим процессом

2. Перечень автоматизированных систем контроля и регулирования
3. Структурная схема САР в общем виде
4. Функциональная схема САР отдельного параметра
5. Указание места установки первичного датчика
6. Назначение САР, регулирующее воздействие

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Практическая работа №10. Изучение схемы автоматизации МНЛЗ

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы: Изучить функциональную схему автоматизации машины непрерывного литья заготовок

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

читать функциональную схему автоматизации машины непрерывного литья заготовок

Материальное обеспечение:

Функциональная схема автоматизации машины непрерывного литья заготовок

Оборудование НЕ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ

Задание:

1. Найти на схеме основные контуры автоматического контроля и регулирования технологического процесса
2. Найти место установки первичного датчика САР
3. Обосновать взаимосвязь элементов при работе САР отдельных параметров

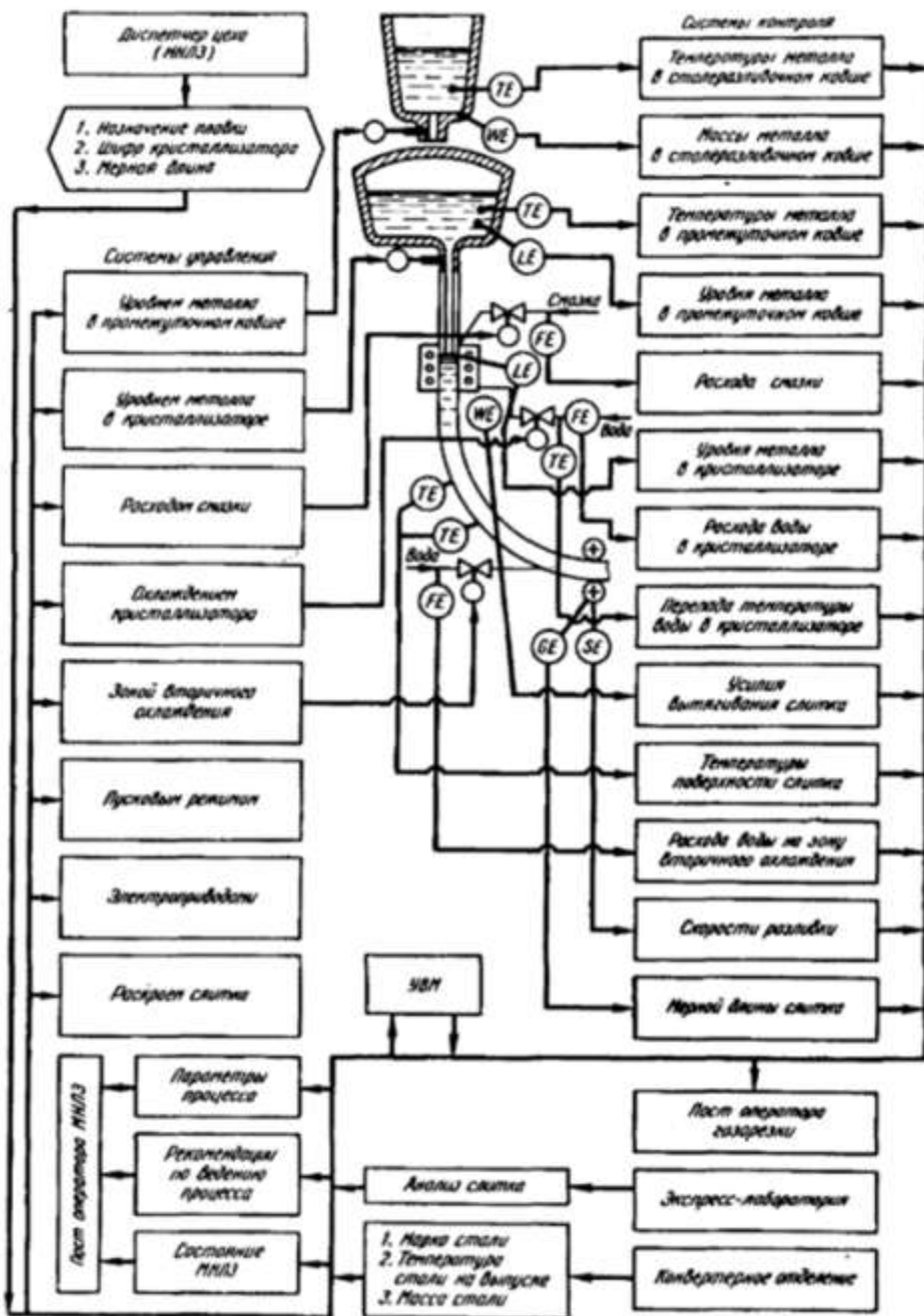
Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с методическими указаниями по практическому заданию.
2. Выполнить задание.
3. Оформить работу в тетради для практических занятий.

1.ОЗНАКОМИТЕСЬ

- ## 2. Сформировать задачу управления процессом

3. Определить представленные на схеме автоматизированные системы контроля и регулирования



YBM

Для нормального бесперебойного функционирования АСУ ТП предусмотрены следующие автоматические системы оперативного контроля и управления ; измерение температуры металла; взвешивание сталеразливочного ковша на стенде; измерение усилий в траверсе стенда сталеразливочных ковшей; измерение и регулирование уровня (массы) металла в промежуточном ковше; измерение и регулирование уровня металла в кристаллизаторе; измерение усилия вытягивания слитка из кристаллизатора; измерение температурного перепада охлаждающей воды в кристаллизаторе; контроль и управление охлаждением кристаллизатора; измерение и регулирование расхода технологической смазки; измерение скорости разливки; измерение расхода и регулирование давления воды на вторичное охлаждение; автоматическое управление зоной вторичного охлаждения; контроль состояния форсуночного охлаждения; контроль давления и расхода воды на охлаждение оборудования; автоматический контроль температуры поверхности слитка; измерения усилий на опорные ролики на участке правки слитка; автоматический контроль и оптимизация ритма разливки; автоматическое измерение размеров и оптимальный раскрой слитка.

4. Выполнить структурную схему САР в общем виде

5. Обосновать назначение САР заданного параметра и объяснить ее работу

Форма представления результата:

Ответить на вопросы:

1. Задача управления технологическим процессом
2. Перечень автоматизированных систем контроля и регулирования
3. Структурная схема САР в общем виде
4. Функциональная схема САР отдельного параметра
5. Указание места установки первичного датчика
6. Назначение САР, регулирующее воздействие

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Тема 5.1 Основы техники измерения и управления технологическими процессами

Лабораторная работа №1. Поверка термопреобразователя сопротивления

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Цель работы заключается в изучении принципа действия и устройства термопреобразователей сопротивления (ТПС), предназначенных для измерения температуры в комплекте с логометрами и автоматическими мостами, и освоении операций поверки технических ТПС.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение конструкции и принципа действия ТПС,
- проведение проверки технических ТПС.

ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Измерение температуры термопреобразователями сопротивления основано на свойстве проводников и полупроводников изменять свое активное электрическое сопротивление при изменении их температуры, т.е. $R_t = f(t)$.

Согласно ГОСТ Р 6651–94 для изготовления чувствительных элементов ТПС используются чистые металлы, такие как платина (тип ТПС), медь (тип ТСМ) и никель (тип ТСН). К числу достоинств металлических ТПС следует отнести: высокую точность измерения температуры, стабильность, малую инерционность, большой технический ресурс.

Чувствительный элемент платиновых ТПС (рис. 5.1) представляет собой платиновую спираль 1, расположенную в капиллярах керамического каркаса 3. Капилляры заполнены керамическим порошком 2, который служит изолятором. К выходным концам спиралей припаяны короткие платиновые выводы 4.

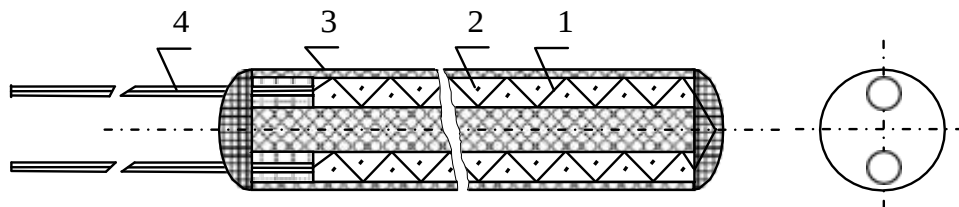


Рис. 5.1. Чувствительный элемент платиновых ТПС

Крепление платиновых спиралей и выводов в каркасе осуществляется глазурью или термоцементом. Чувствительный элемент платиновых ТПС имеет небольшие габариты и высокую механическую прочность.

Чувствительный элемент 1 медных ТПС (рис. 5.2) представляет собой многослойную безындукционную обмотку 2 из медной изолированной проводки, расположенную на цилиндрическом каркасе из пластмассы, герметизированную слоем лака 3. К концам обмотки припаяны выводы 4 из медной проволоки. Собранный чувствительный элемент помещается в металлический чехол 5, засыпается керамическим порошком и герметизируется.

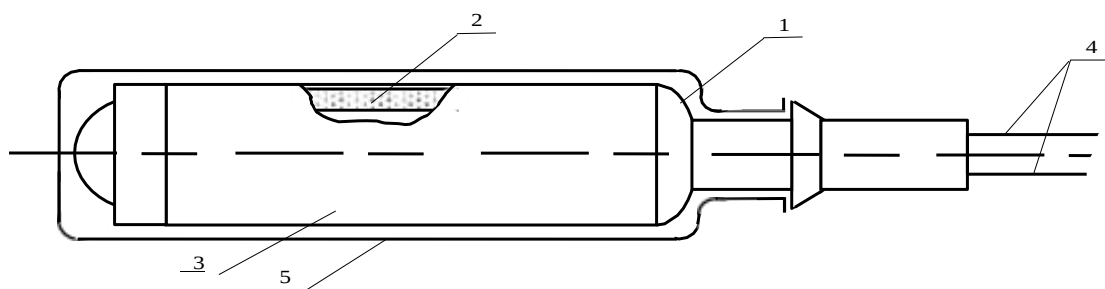


Рис. 5.2. Чувствительный элемент медных ТПС

Взаимозаменяемость технических ТПС обеспечивается тем, что они имеют практически одинаковое сопротивление при 0°C и изготавливаются из чистых металлов. Качество металла характеризуется отношением сопротивления чувствительного элемента при 100°C к сопротивлению при 0°C , т.е. величиной R_{100}/R_0 или величиной температурного коэффициента электрического сопротивления α .

Условные обозначения номинальных статических характеристик (НСХ) и технические характеристики ТПС согласно ГОСТ 6651–94 при ведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Условные обозначения НСХ и технические характеристики ТПС

Тип ТПС	Номинальное сопротивление R_{0H} при 0°C , Ом	Условные обозначения НСХ ТПС	Диапазон измеряемых температур, $^{\circ}\text{C}$
ТСП	1	1П (Pt1)	$-260 \div +850$
	10	10П (Pt10)	
	50	50П (Pt50)	
	100	100П (Pt100)	
	500	500П (Pt500)	
ТСМ	10	10М (Cu10)	$-200 \div +200$
	50	50М (Cu50)	
	100	100М (Cu100)	
ТСН	100	100Н (Ni100)	$-60 \div +180$

Для технических ТПС допускаемые отклонения (погрешности) со-
 противления чувствительного элемента при 0°C (R_0) и отношения

R_{100}/R_0 , соответствуют значениям, приведенным в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Допускаемые отклонения (погрешности) технических ТПС

Тип ТПС	Допускаемые отклонения ΔR_0 для класса допуска, %			(R_{100}/R_0) Н	Допускаемые отклонения $\Delta (R_{100}/R_0)$ для классов допуска		
	А	В	С		А	В	С
ТСП	0,005	0,1	0,2	1,385 1,391	-0,0005 -0,0004	-0,001 -0,001	-0,0015 -0,0015
ТСМ	0,05	0,1	0,2	1,426 1,428	-0,0005 -0,0005	-0,001 -0,001	-0,002 -0,002
ТСН	—	—	0,24	1,617	—	—	-0,004

Примечание. Plusовое допускаемое отклонение R_{100}/R_0 ненормируется.

УСТРОЙСТВО ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Одна из конструкций ТПС представлена на рис. 5.3. Основным узлом ТПС является чувствительный элемент 1, который для защиты от агрессивного воздействия измеряемой среды, обеспечения механической прочности и удобства монтажа помещен в металлический чехол 3.

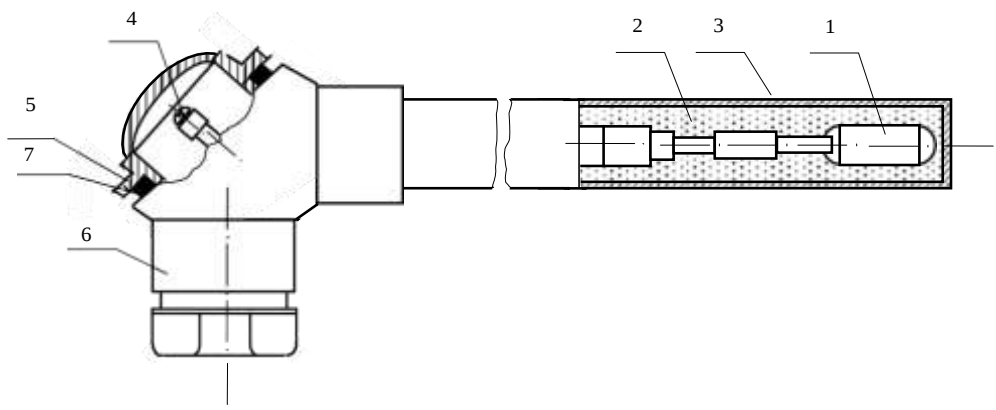


Рис. 5.3. Конструкция термопреобразователя сопротивления

Свободное пространство между чувствительным элементом и защитным чехлом заполнено порошком окиси алюминия 2 для улучшения теплопередачи. Головка ТПС состоит из корпуса, в котором находятся контактные клеммы 4, штуцер под кабель 6, крышка 5 и прокладка 7.

5.1. УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ ТПС

Поверочная установка представлена на рис. 5.4. Для поверки технических ТПС $R_{ТС}$ используются следующие эталонные средства измерения: потенциометр типа ПП-63 с классом точности 0,05; ртутные термометры типа ТЛ-4 с ценой деления $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и с пределами измерения -30 □

$+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $50 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$; эталонная катушка сопротивления $R_{\Sigma} = 100\text{ Ом}$. В качестве источника регулируемого напряжения (ИРН) можно использовать потенциометр типа ПП-63, установив соответствующий режим работы.

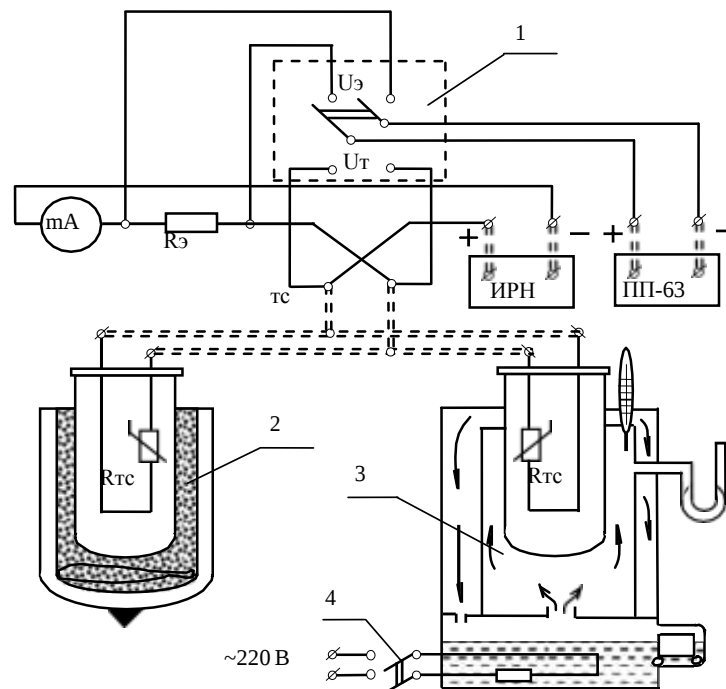


Рис. 5.4. Схема установки для поверки технических ТПС

Для охлаждения и нагрева поверяемого ТПС применяются, соответственно, нулевой 2 и паровой 3 термостаты. Двухполюсный переключатель 1 предназначен для поочередного подключения R_{Σ} и $R_{ТС}$, а миллиамперметр для измерения тока в цепи ТПС.

Поверка технических ТПС сводится к оценке сопротивления чувствительного элемента в 2-х точках температурной шкалы при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Измерение сопротивления термопреобразователя производится косвенным методом. С помощью потенциометра измеряется падение

напряжения на эталонной катушке сопротивления и падение напряжения на ТПС, а затем по формуле (5.1) рассчитывается значение сопротивления ТПС.

Для определения сопротивления ТПС при 0°C применяют нулевой термостат. Термостат засыпают мелкодробленым льдом или чистым снегом, заливают водой так, чтобы уровень ее был ниже уровня льда. Температура смеси контролируется эталонным ртутным термометром. Для определения сопротивления ТПС при температуре паров кипящей воды применяют паровой термостат. Наличие необходимого количества воды в термостате проверяется по водомерному стеклу. Вода доводится до кипения с помощью электрического нагревателя. Температура паров кипящей воды определяется по эталонному ртутному термометру.

5.2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

Поверка ТПС производится по ГОСТ 8.461–82. Для поверки ТПС необходимо определить сопротивление его чувствительного элемента при температуре 0°C и 100°C , (R_0 и R_{100}), вычислить отношение R_{100}/R_0 и сравнить полученные значения R_0 и R_{100}/R_0 с допускаемыми значениями этих величин (табл. 5.1, 5.2).

При измерении сопротивления в нулевой точке ТПС помещается в нулевой термостат. Термостат заполняется льдом (снегом) с водой так, чтобы глубина погружения ТПС превышала длину чувствительного элемента не менее чем на 10 см, а толщина льда вокруг ТПС была не менее 3 см. Смесь вокруг ТПС тщательно утрамбовывается, чтобы в ней не было пузырьков воздуха. ТПС выдерживается в термостате не менее 30 минут. Значение температуры в термостате контролируется эталонным термометром.

Собирается электрическая схема, представленная на рис. 5.4, для чего подсоединяются к соответствующим клеммам на установке два потенциометра типа ПП-63 и поверяемый ТПС. Потенциометры настраиваются соответственно на режим измерения напряжения и режим источника регулируемого напряжения (ИРН). Проверяется **уровень воды** в паровом термостате. Если уровень воды выше нулевой отметки, то вилка термостата включается в розетку, а тумблер «Сеть» в положение включено.

Переключатель 1 ставится в положение, соответствующее измерению падения напряжения на эталонном сопротивлении R_3 . Подается от источника питания ИРН такое напряжение, чтобы ток в цепи при поверке

ТПС был менее 0,5 мА, для исключения погрешности от самонагрева ТПС, и измеряется потенциометром значение падения напряжения на эталонной катушке U_3 . Результат измерения заносится в протокол, форма которого представлена ниже.

ПРОТОКОЛ

поверки технического ТПС типа _____ класса допуска _____ НСХ _____.

Эталонные средства измерения:

потенциометр типа _____ № _____, термометр типа _____ № _____,

катушка сопротивления $R_0 = 100 \text{ Ом}$.

Температура насыщенных паров в термостате $t_K =$ _____ $^{\circ}\text{C}$.

Показания потенциометра	Ед. изм	Поверяемые точки							
		0 °С				100 °С			
		1	2	3	4	1	2	3	4
На эталонной катуш- ке, U _Э	мВ								
Среднее, U _{Эср}	мВ								
На ТПС, U _Т	мВ								
Среднее, U _{Тср}	мВ								
$R_{TC} = \frac{U_{TCP}}{U_{Эср}} \cdot R_{Э}$	Ом	R ₀ =				R ₁₀₀ =			
R ₁₀₀ / R ₀									
Номинальное значе- ние R _{0н}	Ом	R _{0н} = (табл.5.1)							
Номинальное значе- ние R ₁₀₀ / R ₀	—	(R ₁₀₀ / R ₀) _н = (табл.5.2)							
Абсолютная погрешность R ₀ и R ₁₀₀ / R ₀	Ом	Δ R ₀ = R ₀ – R _{0н} =							
	—	Δ (R ₁₀₀ / R ₀) = R ₁₀₀ / R ₀ – (R ₁₀₀ / R ₀) _н =							
Допускаемые погрешности по классу допуска	Ом	Δ R _{0д} = (табл. 5.2)							
	—	Δ (R ₁₀₀ / R ₀) _д = (табл. 5.2)							

Вывод: ТПС (не)годен по классу допуска _____.

Переключатель 1 переводится в положение, соответствующее измерению падения напряжений на ТПС R_{TC} . Не изменяя значения напряжения питания, нужно измерить значение падения напряжения U_T на

ТПС. Измерение должно проводиться 4 раза при поочередном подключении R_{Σ} и R_{TC} .

Вычисляется значение сопротивления термопреобразователя R_{TC} по формуле

$$R_{TC} = \frac{U_{TC}}{P} \cdot R_{\Sigma}, \quad (5.1)$$

где U_{TC} и U_{Σ} – среднее арифметическое значение падения напряжения на ТПС и эталонной катушке сопротивления.

При измерении сопротивления ТПС при температуре 100°C , т.е. R_{100} , поверяемый ТПС помещается в паровой термостат и выдерживается в парах кипящей воды до установления стационарного режима в течение 30 минут. Изменение температуры в термостате за период замеров не должно превышать $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ в минуту.

Проводится поочередно по 4 замера падения напряжения на эталонной катушке сопротивления U_{Σ} и ТПС U_{TC} . Результаты замеров заносятся в протокол. Рассчитывается R_{TC} значение сопротивления ТПС при температуре паров кипящей воды по формуле 5.1. Если значение темпе-

ратуры паров кипящей воды менее 100°C , то сопротивление ТПС при температуре 100°C вычисляют по формуле **R_{100}**

$$R_{100} = R_{TC} + \Delta R, \text{ Ом}, \quad (5.2)$$

где ΔR – поправка, рассчитанная по таблице 5.3.

Значение этой поправки соответствует разности температур:

$$\Delta t = 100 - t_k, ^{\circ}\text{C}, \quad (5.3)$$

где t_k – температура паров кипящей воды в термостате, определяемая по показанию эталонного ртутного термометра.

Если значение температуры паров кипящей воды более 100°C , то поправка на сопротивление ТПС не вводится. Подсчитывается среднее значение R_{100} , вычисляется отношение R_{100}/R_0 и результаты заносятся в протокол.

Полученные абсолютные погрешности ΔR_0 и $\Delta (R_{100} / R_0)$ сравниваются с допускаемыми погрешностями этих величин для класса допуска, указанного в паспорте на ТПС или более низкого. Термопреобразователь сопротивления считается годным к практическому приме-

нению, если полученные значения ΔR_0 и $\Delta (R_{100} / R_0)$ меньше допускаемых значений, указанных в таблице 5.2.

Таблица 5.3

Поправки ΔR

для вычисления R_{100}

на отклонение температуры насыщенных паров кипящей воды от 100°C

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Медные ТПС. $\Delta R, \text{Ом}$	Платиновые ТПС. $\Delta R, \text{Ом}$	При $t_K = 98,6^\circ\text{C}$ сопротивление медного ТПС с НСХ 50М равно 71,2 Ом. $\Delta t = 100 - 98,6 = 1,4^\circ\text{C}$. По таблице находим: <table><tr><td>Δt</td><td>ΔR</td></tr><tr><td>1</td><td>0,214</td></tr><tr><td>+ 0,4</td><td>+ 0,085</td></tr><tr><td>1,4</td><td>0,299 $\approx$ 0,3</td></tr><tr><td></td><td>Ом</td></tr></table> Следовательно, $R_{100} = 71,2 + 0,3 = 71,5$ Ом	Δt	ΔR	1	0,214	+ 0,4	+ 0,085	1,4	0,299 $\approx$ 0,3		Ом
Δt	ΔR												
1	0,214												
+ 0,4	+ 0,085												
1,4	0,299 $\approx$ 0,3												
	Ом												
	50М	50П											
1	0,214	0,192											
2	0,428	0,384											
3	0,642	0,576											
4	0,856	0,768											
5	1,070	0,960											
6	1,284	1,152											
7	1,498	1,344											
8	1,712	1,536											
9	1,926	1,728											

Примечание: Поправки для Δt , равные десятым и сотым долям $^{\circ}\text{C}$, меньше приведенных выше значений, соответственно, в 10 и 100 раз.

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Назначение, устройство и принцип действия ТПС.
2. Описание установка для поверки ТПС.
3. Поверка ТПС, обработка результатов измерений и протокол поверки.
4. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначены технические ТПС?
2. Какие металлы используются для изготовления ТПС?
3. Какие пределы измерения имеют ТПС?
4. Как принято характеризовать качество (чистоту) платины, меди и никеля?
5. Какие измерительные приборы применяются для измерения температуры в комплекте с ТПС?
6. Почему величина тока в цепи ТПС должна быть менее 0,5 мА?
7. В чем заключается поверка технических ТПС?
8. Почему для поверки ТПС взяты температуры 0°C и 100°C ?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Лабораторная работа №2. Поверка термоэлектрического преобразователя

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

изучение принципа действия и устройства термоэлектрических преобразователей (ТЭП), предназначенных для измерения температуры в комплекте с пирометрическими милливольтметрами и автоматическими потенциометрами, и освоении операций поверки технических ТЭП.

2.1. НАЗНАЧЕНИЕ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ТЭП

ТЭП – это первичный измерительный преобразователь температуры, в котором выходная величина формируется под воздействием термоэлектрического эффекта, и представляет собой механически прочную конструкцию, удобную для монтажа.

Чувствительным элементом ТЭП является термопара. Принцип действия термопары основан на термоэлектрическом эффекте. Термоэлектрический эффект заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из 2-х или нескольких **разнородных** проводников возникает электрический ток, если хотя бы **2 места соединения (спая) проводников имеют разную температуру**. Термоэлектрический эффект объясняется наличием в металле свободных электронов, число которых в единице объема различно для различных материалов. Уравнение термопары можно записать следующим образом:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0), \quad (2.1)$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ – результирующая ТЭДС термопары, состоящей из разнородных по составу проводников А и В;

$e_{AB}(t), e_{AB}(t_0)$ – ТЭДС, обусловленная контактной разностью потенциалов и разностью температур рабочего пространства t и свободных концов t_0 термопары.

Из уравнения (2.1) следует, что ТЭДС зависит от двух температур t и t_0 . При измерении температуры термоэлектрическим преобразователем t_0 поддерживается постоянной, а t в этом случае является переменной. Тогда уравнение (2.1) можно записать таким образом:

$$E_{AB}(t, t_0) | t_0 = \text{const} = F(t). \quad (2.2)$$

Для стандартных ТЭП путем градуировки находится зависимость (2.2), которая является номинальной статической характеристикой (НСХ) ТЭП и представлена в виде таблиц (ГОСТ Р 8.585 – 2001) при $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

В эксплуатационных условиях t_0 , как правило, не равна 0°C . С изменением t_0 изменяется результирующая ТЭДС, что вызывает необходимость введения поправки на температуру свободных концов ТЭП.

Допустим $t'_0 > t_0 = 0^\circ\text{C}$, в этом случае $E_{AB}(t, t'_0) < E_{AB}(t, t_0)$. Разность этих ТЭДС и представляет собой поправку на температуру свободных концов термопары:

$$E_{AB}(t, t_0) - E_{AB}(t, t'_0) = E_{AB}(t'_0, t_0). \quad (2.3)$$

Следовательно, действительное значение ТЭДС равно:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) + E_{AB}(t'_0, t_0). \quad (2.4)$$

Конструктивное оформление ТЭП разнообразно. На рис. 2.1 представлена конструкция ТЭП, которая чаще всего используется для измерения температуры в трубопроводах и других аппаратах, находящихся под давлением.

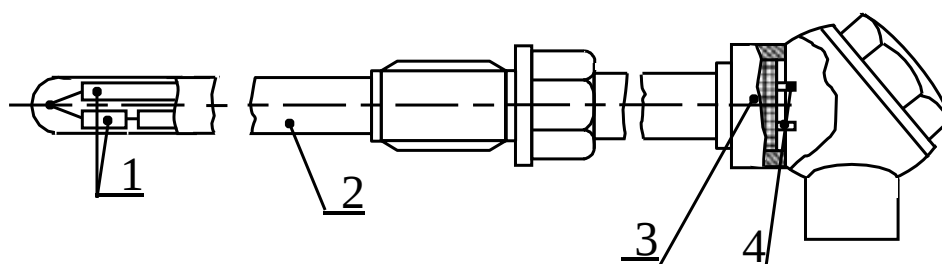


Рис. 2.1. Конструкция ТЭП

Для изоляции термоэлектродов и защиты их от вредного воздействия измеряемой среды, для обеспечения механической прочности термопары и удобства ее монтажа термопара помещается в защитную арматуру (рис. 2.1).

Арматура состоит из электроизоляции 1 (керамические бусы, трубки и т. п.), металлического защитного чехла 2 и головки 3 с зажимами 4 для присоединения компенсационных проводов, соединяющих ТЭП с измерительным прибором (ИП). Термопара, помещенная в защитную арматуру, называется ТЭП. Основные номинальные статические характеристики (НСХ) стандартных технических ТЭП наиболее часто применяемых в энергетике, и их метрологические характеристики приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Метрологические характеристики ТЭП

Тип ТЭП	НСХ	Материалы термоэлектродов	Класс допуска	Пределы измерения, °С	Допускаемая погрешность, Δt_d °С
ТПП	S (ПП)	Платинородий – платина	2 1	0 $\square$ 600 600 $\square$ 1600 0 $\square$ 1100 1100 $\square$ 1600	1,5 0,0025 $\square$ t 1,0 1+0,003(t–1100)
ТХА	K(ХА)	Хромель–алюмель	2 1	–40 $\square$ 333 333 $\square$ 1300 –40 $\square$ 375 375 $\square$ 1300	2,5 0,0075 $\square$ t 1,5 0,004 $\square$ t
ТХК	L(ХК)	Хромель–копель	2	–40 $\square$ 300 300 $\square$ 800	2,5 0,7+0,005 $\square$ t

Примечания: 1. t – значение измеряемой температуры.

2. Пределы допускаемых погрешностей ТЭДС термоэлектрических преобразователей ΔE_d в мВ определяются по формуле

$$\Delta E_d = \Delta t_d (\Delta E / \Delta t), \quad (2.5)$$

где Δt_d – предел допускаемой абсолютной погрешности, рассчитанный по данным табл. 2.1 для соответствующего

диапазона и класса допуска;

$(\Delta E / \Delta t)$ – чувствительность ТЭП, рассчитанная для измеренного значения температуры.

2.2. ПОВЕРОЧНАЯ УСТАНОВКА

На рис. 2.2 приведена схема установки для поверки технических ТЭП. Нагрев ТЭП производится в трубчатой электропечи 1. Питание электропечи включается тумблером 14. Сила тока в цепи питания электропечи измеряется амперметром 13.

Измерительная система, состоящая из милливольтметра 8 и ТЭП 3 с НСХ К (хромель–алюмель), предназначена для измерения и регулирования температуры в электропечи. Регулирование температуры в электропечи производится следующим образом: датчик милливольтметра с помощью отвертки устанавливается на отметку шкалы, соответствующую значению поверяемой температуры, при достижении температуры в электропечи заданного значения размыкается нормально замкнутый контакт 15 милливольтметра и выключается цепь питания электропечи.

Рабочие концы эталонного платинородий-платинового (S) ТЭП и поверяемого хромель-копелевого (L) ТЭП вставлены в медный блок 2, который служит для выравнивания температур рабочих концов всех ТЭП.

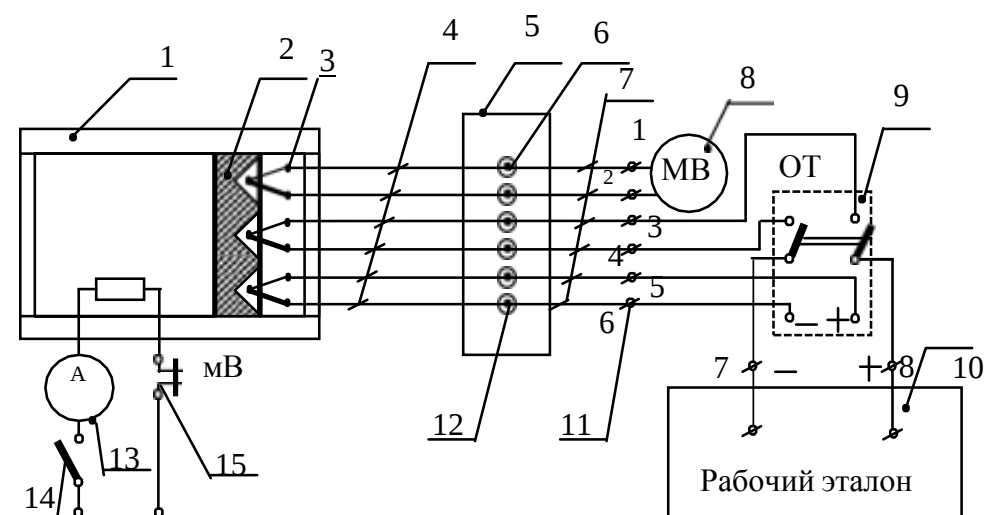


Рис. 2.2. Схема поверочной установки

К ТЭП присоединяются компенсационные провода 4, отводящие холодные концы 12 в нулевой термостат 5. Компенсационные провода скручиваются или спаиваются с медными соединительными проводами 7, погружаются в пробирки 6, заполненные трансформаторным маслом. Через клеммы 11 (3÷6) и двухполюсный переключатель 9 эталонный и поверяемый ТЭП поочередно подключаются к эталонному потенциометру 10 (типа ПП-63) класса точности 0,05 или более высокого класса точности.

2.3. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

Методика поверки технических термоэлектрических преобразователей приведена в ГОСТ 8.338 – 2002. Поверка производится методом сличения их показаний с показаниями эталонного ТЭП, т.е. определяется реальная НСХ.

Температура свободных концов ТЭП в процессе поверки должна поддерживаться $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (смесь чистого льда или снега с водой). Поверка может производиться и при иной t_0 , которая должна измеряться с погрешностью не более $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Окончательные результаты измерений ТЭДС должны быть приведены к

$$t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Измерение ТЭДС производится через $100\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ при температурах близких к целым сотням градусов, начиная со $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до верхнего температурного предела измерения поверяемого ТЭП.

На занятии должны быть сняты значения ТЭДС не менее чем в 2-х температурных точках. Значения поверяемых температурных точек задаются преподавателем.

На установке № 5 включаются тумблеры «Сеть» (загорается красная сигнальная лампочка) и «ТЭП», при этом включается амперметр 13 и напряжение подается на электропечь.

Намечаются поверяемые температурные точки, определяются по НСХ (см. приложения) соответствующие им ТЭДС для эталонного ТЭП и вносятся в протокол. Выставляется задатчик милливольтметра на первую поверяемую температурную отметку.

Проверяется наличие термометра в нулевом термостате 6, который предназначен для измерения температуры холодных концов ТЭП.

Подсоединяется к клеммам «ПП-63» (7–8), соблюдая полярность, эталонный потенциометр и настраивается для измерения напряжения. Двухполюсный переключатель 9 включается в положение ОТ (эталонный ТЭП).

2.4. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

Прогревается печь до заданной температуры. При этом регулируемый милливольтметр автоматически отключает питание печи и стрелка амперметра падает до нуля. Через 1÷2 минуты после отключения печи скорость изменения температуры достигнет допустимой, т.е.

□ 0,2÷0,4°C в минуту. Измеряется потенциометром ТЭДС эталонного ТЭП. Убедившись, что ТЭДС его близка к табличному значению, продолжая замеры, проделав их не менее четырех раз для каждого ТЭП, при поочередном подключении эталонного и поверяемого ТЭП. Измерения производятся с максимально возможной скоростью и точностью. Результаты измерения заносятся в протокол поверки.

Аналогично производятся измерения ТЭДС в последующих поверяемых точках.

2.5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Для каждой температурной точки вычисляется среднее арифметическое значение ТЭДС эталонного ТЭП $E'_{\text{эп}}$. Если $t'_0 > 0$ °C, то к $E'_{\text{эп}}$ необходимо прибавить поправку на t'_0 . Затем по НСХ эталонного ТЭП определяется значение действительной температуры в печи t_d .

Для поверяемого ТЭП по его НСХ и t_d определяется действительное значение ТЭДС $E_{\text{пт}}$. Вычисляется среднее арифметическое значение ТЭДС поверяемого ТЭП $E'_{\text{пер}}$ и прибавляется к нему поправка на t'_0 . Абсолютная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta E = \pm (E_{\text{пер}} - E_{\text{пт}}), \text{ мВ.} \quad (2.6)$$

ПРОТОКОЛ

поверки термоэлектрического преобразователя типа _____ с НСХ_.

Поверка произведена по эталонному термоэлектрическому преобразователю с НСХ _____ и эталонному потенциометру типа _____ класса точности _____.

Температура свободных концов ТЭП _____ °C.

Поправка на температуру свободных концов:

эталонного ТЭП

мВ, поверяемого ТЭП

мВ.

Поверяемый	Табличная	Эталонный ТЭП		Действительная	Табличная	Поверяемый ТЭП		Абсолютная	Допускаемая	Допускаемая
		Измеренная ТЭДС, мВ	$E'_{\text{эп}}$			Измеренная ТЭДС, мВ	$E_{\text{пт}}$			

		1	2	3	4	$\Delta E_{\text{эсг}}$				1	2	3	4	$\Delta E_{\text{псг}}$				

Вывод: _____.

Значения пределов допускаемых абсолютных погрешностей технических ТЭП Δt_d в $^{\circ}\text{C}$ приведены в табл. 2.1, а ΔE_d в мВ определяют-

ся по формуле 2.5.

Устанавливается соответствие метрологических характеристик поверяемого ТЭП для каждой поверяемой точки путем сравнения значений абсолютных погрешностей, полученных в результате поверки, с пределами допускаемых абсолютных погрешностей, выраженных в мВ. Если выполняется условие

$$\Delta E \leq \Delta E_{\text{д}}, \quad (2.7)$$

то поверяемый ТЭП «годен» для дальнейших измерений температуры. Если условие (7) хотя бы в одной поверяемой точке не соблюдается, то ТЭП «негоден» для измерений. В протоколе поверки делается соответствующая запись.

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Назначение, устройство и принцип действия ТЭП.
2. Описание поверочной установки.
3. Поверка ТЭП, обработка результатов измерений и протокол поверки (протокол выполняется на отдельной странице).
4. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Можно ли одним ТЭП измерить разность температур двух сред?
2. Можно ли проводить поверку ТЭП при температуре свободных концов не равной 0 °С?
3. Какова допустимая скорость изменения температуры в печи при поверке ТЭП?
4. Какие устройства и приборы необходимы для поверки ТЭП?
5. Для чего применяются компенсационные провода?
6. ТЭП какой градуировки развивает большую ТЭДС при 100 °С?
7. Каково назначение защитной арматуры ТЭП?
8. Изменится ли ТЭДС, если в цепь термопары включить измерительный прибор?
9. С какой целью и когда вводится поправка на температуру свободных концов ТЭП?
10. С какими измерительными приборами в комплекте работают ТЭП?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Лабораторная работа №3. Изучение и поверка логометров

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

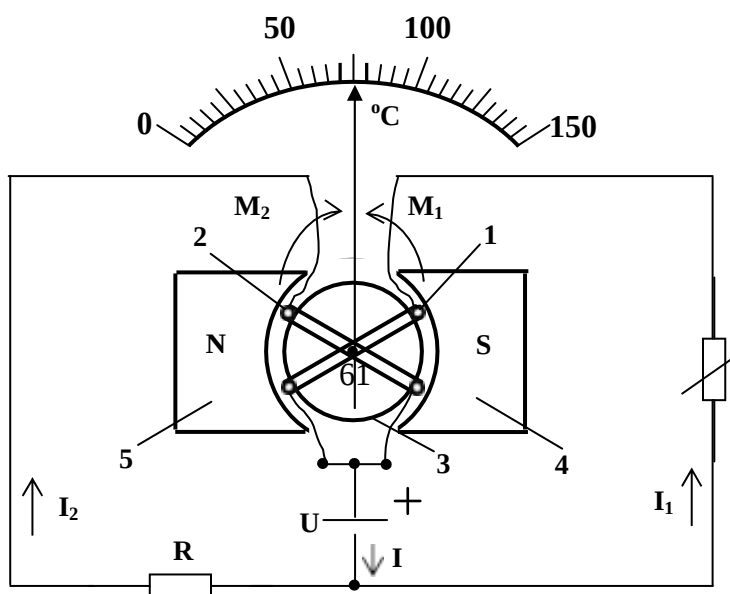
Цель работы заключается в изучении принципа действия и устройства логометров, предназначенных для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями сопротивления, и освоении операций поверки логометров.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение устройства и принципа действия логометра,
- проведение поверки логометра и определение его годности для дальнейшей эксплуатации,
- определение влияния изменения напряжения питания логометра на его показания.

6.1. ЛОГОМЕТРЫ

Логометры – приборы магнитоэлектрической системы, предназначенные для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями сопротивления (ТПС) стандартной градуировки. Упрощенная принципиальная схема логометра представлена на рис. 6.1.



R_T

*Рис. 6.1. Принципиальная схема логометра:
1,2 – рамки; 3 – сердечник; 4,5 – полюса постоянного магнита;
R – постоянный резистор; R_T – ТПС*

Подвижная система логометра состоит из двух рамок 1 и 2 с сопротивлениями R_{P1} и R_{P2} , жестко скрепленных друг с другом и со стрелкой прибора. Рамки охватывают неподвижный сердечник 3 и находятся в поле постоянного магнита. Магнитная система логометра создает переменную по углу поворота рамок магнитную индукцию. Выточки полюсных наконечников постоянного магнита сделаны так, что воздушный зазор убывает от краев полюсных наконечников к центру, а магнитная индукция возрастает по квадратичному закону от краев к центру полюсных наконечников.

Для подвода тока к рамкам применяют безмоментные вводы. Обе рамки питаются от общего источника постоянного напряжения. Последовательно с рамкой 1 включен ТПС с сопротивлением R_T , а с рамкой 2

– постоянный резистор R . Рамки логометра включены таким образом, что при протекании по ним токов I_1 и I_2 создаются магнитные поля, в результате взаимодействия которых с полем постоянного магнита возникают вращающие моменты M_1 и M_2 , направленные навстречу друг другу.

Если $R + R_{P2} = R_T + R_{P1}$, то $I_1 = I_2$ и при симметричном расположении рамок 1 и 2, относительно полюсных наконечников, вращающие моменты M_1 и M_2 будут равны (рамки занимают положение, показанное на рис. 6.1).

Если сопротивление R_T вследствие увеличения измеряемой температуры, а следовательно, нагрева ТПС, возрастет, то ток I_1 уменьшится. Вращающий момент рамки 1 будет меньше момента рамки 2, т.к. I_1 меньше I_2 . Подвижная система начнет поворачиваться в направлении большего момента, т.е. в сторону увеличения показания температуры.

При этом рамка 1 с меньшим вращающим моментом попадет в более сильное магнитное поле и её момент увеличивается, а рамка 2, наоборот, попадет в более слабое магнитное поле и её момент уменьшается.

При определенном угле поворота вращающие моменты сравняются. Подвижная система остановится. Это произойдет при условии, если $M_1 = M_2$, или

$$(6.1) \quad K_1 \cdot B_1 \cdot I_1 = K_2 \cdot B_2 \cdot I_2,$$

где K_1 и K_2 – постоянные коэффициенты, определяемые геометрическими размерами рамок и числом витков в них;

B_1 и B_2 – магнитные индукции в местах расположения рамок.

Из уравнения (6.1) следует, что

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{K_2 B_2}{K_1 B_1} . \quad (6.2)$$

Учитывая, что отношение $\frac{B_2}{B_1}$ является функцией угла α отклонения подвижной системы, можно записать, что

$$\frac{B_2}{B_1} = F(\alpha) \frac{I_1}{I_2} . \quad (6.3)$$

В соответствии с законом Ома токи будут равны:

$$I_1 = \frac{U}{R_{P1} + R_T} ; \quad I_2 = \frac{U}{R_{P2} + R} . \quad (6.4)$$

Подставив значения токов (6.4) в уравнение (6.3), получим:

$$F(\alpha) = \frac{R_{P2} + R}{R_{P1} + R_T} . \quad (6.5)$$

Так как R_{P1} , R_{P2} и R являются постоянными величинами, то

$$F(\alpha) = R_T , \quad (6.6)$$

т.е. угол отклонения подвижной системы и стрелки логометра является функцией измеряемого сопротивления ТПС. Из уравнения (6.5) видно, что напряжение питания теоретически не влияет на угол поворота рамок. Практически изменение напряжения питания логометра становится заметным лишь при отклонениях, которые больше $\pm 20\%$ от номинального значения, равного 4 В.

Для повышения чувствительности логометра рамки включаются в диагональ неуравновешенного моста (рис. 6.2).

Наименования и назначение резисторов, входящих в измерительную схему логометра, следующие: R_2 , R_3 , R_6 – постоянные сопротивления, плечи моста; R_5 – медный резистор для компенсации температурной погрешности, возникающей при изменении температуры окружающей среды; R_1 , R_4 – резисторы, предназначенные для настройки логометра на заданный предел измерения; R_{P1} и R_{P2} – сопротивления рамок; R_T – сопротивление ТПС; R_K – контрольный резистор, предназначенный для замены термопреобразователя при подгонке сопротивления линии; R_L – резистор для подгонки сопротивления линии до заданного значения.

Номинальное значение сопротивления линий, соединяющих лого- метр с ТПС, указывается на шкале логометра и равно 5 Ом. Заданное значение сопротивления линии обеспечивается с помощью двух подго- ночных катушек с сопротивлением $R_{\text{л}}$ $\square$ 2,5 Ом .

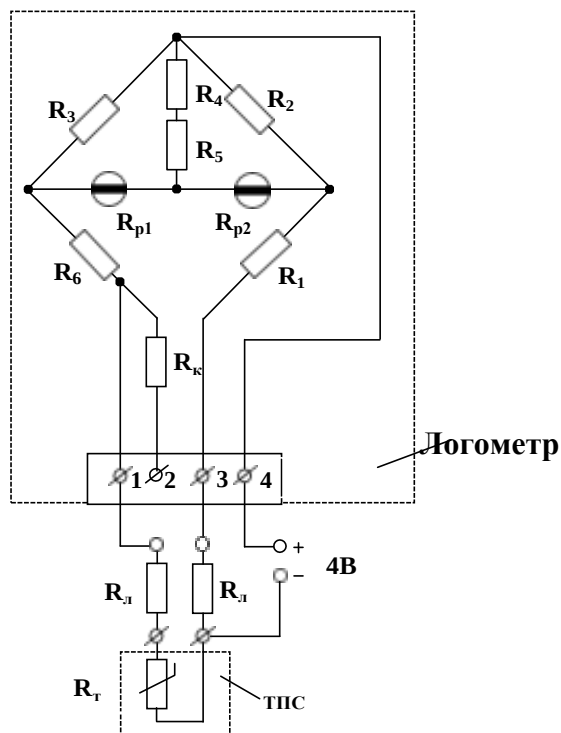


Рис. 6.2. Принципиальная схема логометра с ТПС, включенным по трехпроводной схеме

6.2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЕРКИ ЛОГОМЕТРА

Поверка логометров проводится на установке, схема которой представлена на рис. 6.3.

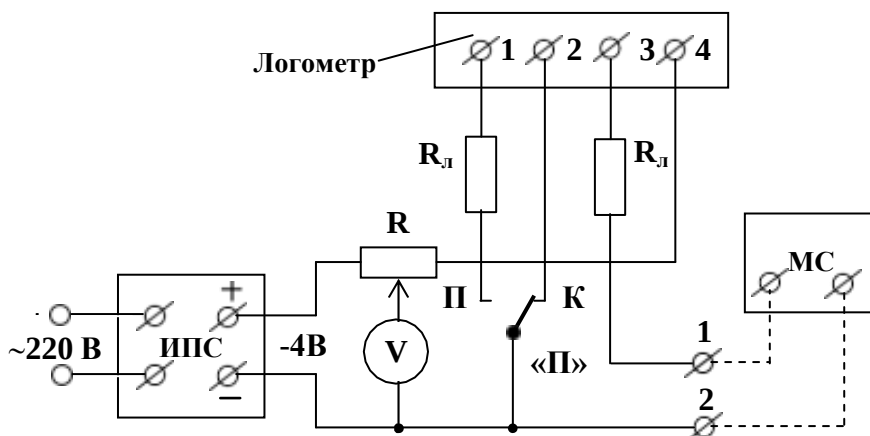


Рис. 6.3. Схема установки для поверки логометра

В состав установки входят: поверяемый логометр; эталонный магазин сопротивлений МС, предназначенный для имитации ТПС; вольтметр V, предназначенный для измерения напряжения питания логометра; переменный резистор R для регулирования напряжения питания логометра; переключатель «П» для установки логометра в режим контроль К или поверка П; источник питания стабилизированный ИПС с постоянным напряжением питания, равным 4 В.

6.3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ ЛОГОМЕТРА

6.4.1. Определение основной погрешности и вариации показаний Поверка

показаний логометра производится с помощью эталонного магазина сопротивлений. Класс точности эталонного магазина сопротивлений должен быть минимум в 3 раза выше класса точности поверяемого логометра.

Включают питание установки. Тумблер «Питание 220 В» переводят в положение «Вкл.». При этом загорается зеленое сигнальное табло. Подключают к клеммам 1 и 2 поверяемый логометр (номер поверяемого логометра указывает преподаватель), поставив щеточный переключатель в положение, соответствующее номеру логометра. Переключатель «П» устанавливают в нейтральное (среднее) положение. Включают питание поверяемого логометра тумблером, расположенным рядом с ним. К клеммам 1–2 (рис. 6.3) подсоединяют эталонный магазин сопротивлений МС.

Перед поверкой показаний логометра типа Ш69000 производят контроль его работы. Для этого все декады МС устанавливают в положение «0», а переключатель «П» ставят в положение К – «Контроль». При этом стрелка вольтметра V (рис. 6.3) должна показывать значение напряжения, равное 4 В. Если напряжение не равно 4 В, то с помощью переменного сопротивления R стрелку вольтметра устанавливают на отметку 4 В. Причем стрелка логометра должна установиться на красную контрольную отметку шкалы. Отклонение стрелки от контрольной отметки не должно превышать $\pm 1,5\%$ от диапазона показаний. Для других логометров, установленных на стенде, контроль работы не производится. Логометр необходимо выдержать во включенном состоянии не менее 10 мин.

Для проведения операций поверки переключатель «П» устанавливают в нейтральное (среднее) положение, на МС набирают значение сопротивления, соответствующее первой поверяемой отметке шкалы логометра. Как правило, это нулевая отметка. Значение сопротивления определяется по номинальной статической характеристике (см. приложения Г, Д, Е или Ж), указанной на шкале логометра. Переключатель «П» устанавливают в положение П – «Поверка».

Поверка показаний логометра сводится к определению основной погрешности и вариации. Перед поверкой необходимо подготовить протокол, форма которого представлена ниже. Протокол выполняется на отдельном листе отчета по лабораторной работе.

ПРОТОКОЛ

поверки логометра типа _____ № _____ НСХ _____
с пределами измерения от _____ до _____ °С класса _____.

Поверка производилась по эталонному магазину сопротивлений
типа _____ № _____ класса _____ точности _____.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ ПОКАЗАНИЙ

Повер- яемые отмет- ки	Сопро- тивления по	Показания эталонного прибора	Основная абсолютная погрешность и вариация поверяемого логометра
---------------------------------	--------------------------	---------------------------------	--

шкалы	НСХ R_0	Прямой ход R_1	Обрат- ный ход R_2	Прямой ход $\square_1$	Обратный ход $\square_2$	Вари- ация V
$\square$ С	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом

Предел основной допускаемой погрешности логометра _____ Ом.

Максимальная погрешность логометра _____ Ом.

Предел допускаемой вариации логометра _____ Ом.

Максимальная вариация логометра _____ Ом.

Вывод _____.

В первый столбец протокола заносят значения температур, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы логометра. Во второй столбец – соответствующие значения сопротивлений ТПС согласно номинальной статической характеристике (приложения Г, Д, Е или Ж).

Изменяя сопротивление МС, устанавливают стрелку прибора на оцифрованную отметку шкалы, соответствующую нижнему пределу измерения логометра. Увеличивая сопротивление МС (прямой ход), последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы. Значения сопротивлений МС, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы, заносят в протокол поверки.

Увеличивая сопротивление МС, выводят стрелку за верхний предел измерений логометра. Затем, уменьшая сопротивление МС (обратный ход), вновь последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы логометра. Значения сопротивлений МС, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы при обратном ходе, заносят в протокол поверки.

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний логометра для каждой оцифрованной отметки шкалы при прямом $\square_1$ и обратном $\square_2$ ходе и вариацию V показаний по формулам

$$\begin{aligned}
 \square_1 &= R_{nx} - R_0, \\
 \square_2 &= \frac{R_{ox}}{R_0}, \\
 V &= \square R_{nx} - R_{ox} \square,
 \end{aligned}
 \tag{6.7}$$

где R_0 — значение сопротивления ТПС, определяемое по номиналь-

ной статической характеристике, соответствующее оцифрованной отметке шкалы, Ом;

R_{nx} и R_{ox} – значения сопротивлений МС, соответствующие оцифрованной отметке шкалы при прямом и обратном ходе, Ом.

Предел основной допускаемой приведенной погрешности численно равен классу точности логометра, указанному на шкале прибора ($\delta_{don} \% = K$). Определяют пределы основной допускаемой абсолютной погрешности и вариации показаний логометра по формулам:

$$\begin{aligned} \delta_{don} &= \delta_{don} (R_{en} - R_{nn}) / 100, \\ V_{don} &= \delta_{don} (R_{en} - R_{nn}) / 100, \end{aligned} \quad (6.8)$$

(6.9)

где R_{en} , R_{nn} – значения сопротивлений, соответствующие верхнему и нижнему пределам измерений логометра, Ом;

δ_{don} – предел допускаемой основной приведенной погрешности логометра, %.

Устанавливают соответствие метрологических характеристик логометра его паспортным данным, сравнивая максимальные значения основной абсолютной погрешности и вариации показаний логометра с пределами допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации показаний. Если выполняются условия

$$|\phi_{max}| \leq \delta_{don}, \quad (6.10)$$

$$V_{max} \leq V_{don}, \quad (6.11)$$

то метрологические характеристики логометра соответствуют его паспортным данным и в протоколе поверки делают запись «Годен для измерений». Если хотя бы одно из условий (6.10, 6.11) не соблюдается, то

метрологические характеристики логометра не соответствуют его паспортным данным и в протоколе поверки делают запись «Негоден для измерений».

6.4.2. Определение влияния изменения напряжения питания на показания логометров

Определение влияния изменения напряжения питания логометра типа Ш69000 на его показания производится в трёх числовых отметках

шкалы (начальной, средней и конечной). С помощью переменного резистора R устанавливают на вольтметре V напряжение питания логометра

на 20 % меньше номинального, а стрелку логометра устанавливают поочередно на заданные отметки шкалы (прямой ход). Результаты измерения

записывают в таблицу 6.1. Затем повторяют измерения на тех же отметках при напряжении питания на 20 % больше номинального.

Таблица 6.1

Оценка погрешности от изменения напряжения питания

Поверяемые отметки		Показания эталонного магазина сопротивления		Дополнительная погрешность от изменения напряжения питания	
t	R ₁	U _{пит} = – 20%U _н	U _{пит} = +20%U _н	U _{пит} = –20%U _н	U _{пит} = +20%U _н
		R ₁ [□]	R ₁ ^{□ □}	□ ₁	□ ₁ ^{□ □}
□ С	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом

Вывод: _____.

Дополнительные погрешности от изменения напряжения при питании прямом ходе определяются по формулам

$$(6.12) \quad \begin{aligned} \square_1^{\square} &= R_1^{\square} - R_1, \\ \square_1^{\square \square} &= R_1^{\square \square} - R_1, \end{aligned}$$

где R_1 – отсчёт сопротивлений по МС для начальной, средней и конечной отметки при номинальном напряжении питания;

$R_1^{\square}$ и $R_1^{\square\square}$ – отсчёт по магазину сопротивлений для начальной, средней и конечной отметки при напряжении питания логометра меньшим на 20 % и большим на 20 % номинального.

Оценка дополнительной абсолютной погрешности производится понаибольшей из разностей $\square_1^{\square}$ и $\square_1^{\square\square}$.

На основании данных табл. 6.1 делают вывод, каким образом влияет изменение напряжения питания на показания логометра.

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Описание устройства и принципа действия логометра.
2. Описание установки для поверки логометров.
3. Поверка логометра и протокол поверки.
4. Влияние напряжения питания на показания логометра.
5. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для измерения какого параметра предназначен логометр?
2. К какой системе приборов относится логометр?
3. Какие элементы включает подвижная система логометра?
 - Почему магнитная индукция по ходу движения рамок непостоянна?
- 4.
5. Какие величины определяют значение вращающего момента рамки логометра?
 6. За счет чего происходит уравнивание вращающих моментов рамок при изменении температуры?
 7. Как осуществляется температурная компенсация в логометрах?
 8. Влияет ли небольшое изменение напряжения питания логометра на его показания?
 9. Какие величины должны быть указаны на шкале логометра?
 10. С каким первичным преобразователем работает логометр?
 11. Как осуществляется контроль работы логометра?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Лабораторная работа № 4. Поверка пирометрических милливольтметров**Формируемая компетенция:**

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Цель работы заключается в изучении принципа действия и устройства пирометрических милливольтметров, предназначенных для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями, и освоении операций поверки пирометрических милливольтметров.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение устройства и принципа действия милливольтметра,
- проведение поверки милливольтметра компенсационным методом и определение его годности для дальнейшей эксплуатации,
- определение внутреннего сопротивления милливольтметра методом замещения,
- определение влияния величины внешнего сопротивления на показания милливольтметра.

3.1.**ПИРОМЕТРИЧЕСКИЕ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРЫ**

Пирометрические милливольтметры (МВ) предназначены для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями (ТЭП) стандартной градуировки. Это прибор магнитоэлектрической системы.

Принцип действия МВ основан на взаимодействии магнитного поля неподвижного постоянного магнита и постоянного тока, протекающего через обмотку подвижной рамки.

Проводник в форме прямоугольной рамки 1 (рис. 3.1) помещается в радиальное поле постоянного магнита 2. Для создания радиального магнитного поля, т.е. поля с постоянной магнитной индукцией B , круглый магнит и рамка помещаются в кольцо 3, выполненное из магнито- мягкой стали. При прохождении тока I через рамку появляется магнит- ное поле перпендикулярное полю постоянного магнита. В результате взаимодействия этих магнитных полей образуется вращающий момент M_{BP}

$$M_{BP} = k b l B I \quad (3.1)$$

где k – число витков в рамке;

b, l – ширина и активная длина рамки;

B – магнитная индукция;

I – ток, протекающий по рамке;

Φ – потокосцепление рамки.

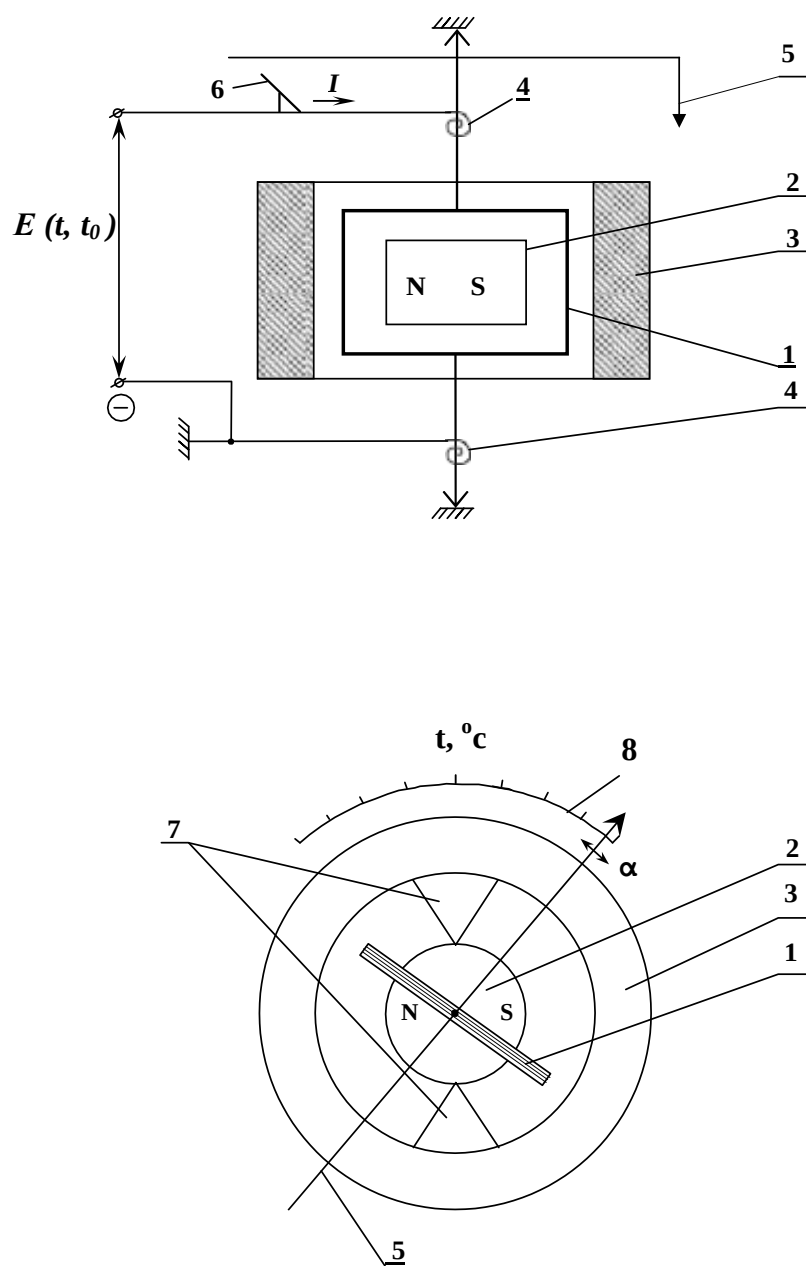


Рис. 3.1. Схема пирометрического милливольтметра:

1 – рамка; 2 – постоянный магнит; 3 – неподвижное кольцо; 4 – противодействующие пружины; 5 – стрелка;
6 – корректор; 7 – держатели; 8 – шкала

При протекании тока через обмотку рамки подвижная часть будет находиться в равновесии, если вращающий момент будет равен противодействующему моменту, который создается противодействующими пружинами 4.

$$M_{BP} = M_{ПР} \quad \text{или} \quad \alpha = I = k \alpha,$$

где k – удельный противодействующий момент;

α – угол перемещения подвижной части механизма.

Из этого условия найдем зависимость между углом поворота подвижной части и током, протекающим через обмотку рамки:

$$\alpha = \frac{1}{k} I = S_I I, \quad (3.2)$$

где $S = \frac{1}{k}$ – чувствительность измерительного механизма к току.

Из уравнения (3.2) следует, что угол перемещения подвижной части прямо пропорционален величине тока I , и чем больше чувствительность S_I , тем меньший ток нужен для равного перемещения подвижной части.

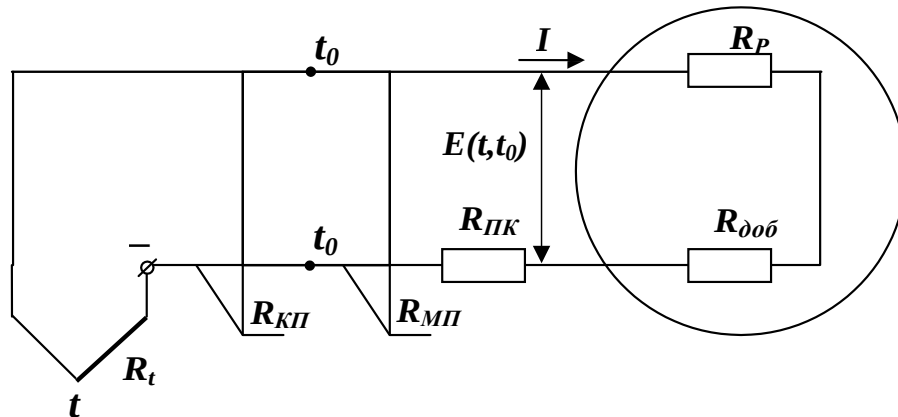


Рис. 3.2. Схема измерения ТЭДС термопары милливольтметром

Величина тока (рис. 3.2), протекающего через рамку, равна:

$$I = \frac{E(t, t_0)}{R_t + R_{КП} + R_{МП} + R_{ПК} + R_M}, \quad (3.3)$$

где $E(t, t_0)$ – ТЭДС термопары, подаваемая на вход МВ;

R_t – сопротивление термопары (рис. 3.2);

R_{KP} – сопротивление компенсационных проводов;

R_{MP} – сопротивление медных проводов;

$R_{ПК}$ – сопротивление подгоночной катушки;

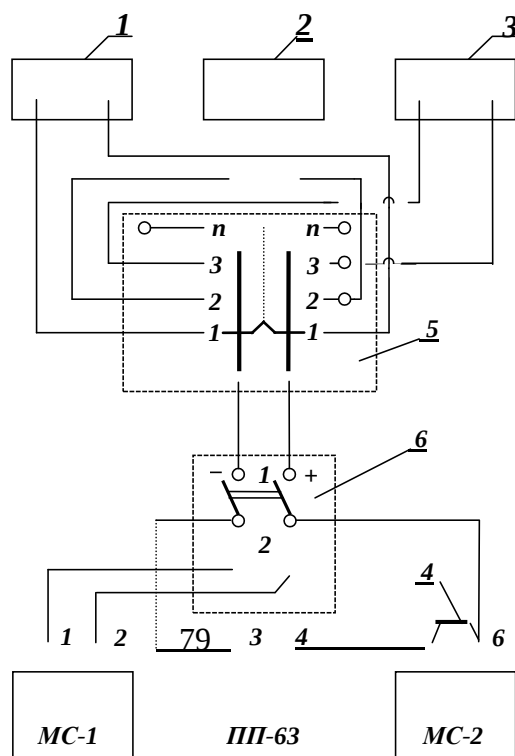
$R_M = R_P + R_{доб}$ – внутреннее сопротивление МВ, состоящее из сопротивления рамки и добавочного сопротивления.

Милливольтметры имеют арретир и корректор. Арретир служит для предохранения подвижной системы прибора от повреждений при его транспортировке. Корректор предназначен для установки стрелки в нулевое положение или на отметку шкалы в диапазоне возможных колебаний температуры свободных концов ТЭП.

Пирометрические МВ градуируются на определенное внешнее сопротивление цепи $R_{ВН}$, значение которого указывается на шкале прибора. Чаще всего $R_{ВН} = 5$ Ом. На шкале указываются также: тип, НСХ тер-моэлектрического преобразователя, класс точности, система прибора (магнитоэлектрический, электромагнитный и т.п.), рабочее положение прибора для вертикальной или горизонтальной установки, заводской номер, год выпуска и марка завода-изготовителя.

3.2. УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ

Поверка МВ проводится на установке, схема которой представлена на рис. 3.3.





*Рис. 3.3. Схема установки для поверки МВ:
1,2,3 – милливольтметры; 4 – перемычка; 5 – щеточный
переключатель; 6 – двухполюсный переключатель*

В состав установки входят: поверяемые МВ 1, 2 и 3; эталонный потенциометр типа ПП-63; магазины сопротивлений МС-1 и МС-2 типа Р33, применяемые, соответственно, для измерения внутреннего сопротивления МВ и проверки влияния внешнего сопротивления на показания МВ; щеточный переключатель 5, предназначенный для поочередного подключения поверяемых МВ; двухполюсный переключатель 6, с помощью которого подключаются к ПП-63 либо МС-1, либо МВ, при определении внутреннего сопротивления МВ; клеммы 1–6, предназначенные для подключения эталонных приборов.

3.3. ПОВЕРКА МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ

3.4.1. Определение основной погрешности и вариации показаний

Поверка показаний МВ компенсационным методом производится с помощью эталонного потенциометра постоянного тока. Поверка МВ производится при температуре окружающей среды равной $+(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, значение которой устанавливают корректором на шкале МВ.

Подключают поверяемый МВ, поставив щеточный переключатель 5 в соответствующее положение 1, 2 или 3.

Собирают схему поверки МВ, для чего к клеммам 1–2 подсоединяют магазин сопротивлений МС-1, а к клеммам 3–4 – эталонный потенциометр ПП-63, клеммы 5–6 закорачивают перемычкой 4.

Подготавливают ПП-63 к проведению поверки МВ, т.е. устанавливают рабочий ток, переключатель «Род работы» – в положение «Поверка», переключатель сопротивлений линий – в положение «0». Двухполюсный переключатель 6 устанавливают в положение 1.

На отдельном листе готовят протокол поверки МВ, форма которого представлена ниже. В первый столбец протокола заносят значения температур, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы МВ. Во второй столбец заносят значения ТЭДС, соответствующие этим значениям температур и найденные по номинальной статической характеристике ТЭП (см. приложения).

Поверка пирометрического МВ производится в следующем порядке. Ручкой "Напряжение" эталонного потенциометра ПП-63 устанавливают стрелку МВ на первую поверяемую отметку, соответствующую нижнему пределу измерения МВ. Компенсируют заданную ЭДС с помощью рукояток секционированного переключателя и реохорда при нажатой кнопке «Точно» эталонного потенциометра.

ПРОТОКОЛ

поверки милливольтметра типа _____, № _____ класса точности _____, НСХ _____ с диапазоном измерения от _____ до _____ °С.

Поверка проведена по эталонному потенциометру типа _____, № _____, класса точности _____.

Температура поверяемого прибора _____ °С.

Внешнее сопротивление _____ Ом.

Результаты поверки

Внутреннее сопротивление _____ Ом.

Отметка шкалы поверяе- мого прибора		Отсчет по эталонному прибору		Погрешность поверяемого прибора		Вариация показаний прибора □ <i>e</i> □
		При увеличении показаний <i>e</i> ₁	При уменьшении показаний <i>e</i> ₂	При увеличении показаний □ <i>e</i> ₁	При уменьшении показаний □ <i>e</i> ₂	
° С	мВ	мВ				

Предел допускаемой основной
погрешности $\square e_{don} = \rule{1cm}{0.4pt}$ мВ.

Предел допускаемой

Максимальная абсолютная
погрешность $\rule{1cm}{0.4pt}$ мВ.

Максимальная вариация

вариации

$$\Delta e_{v, \text{дон}} = \text{_____ мВ.} \quad \text{_____ мВ.}$$

Вывод _____.

Показания потенциометра записывают в протокол поверки. Затем стрелку устанавливают на последующие оцифрованные отметки МВ, увеличивая задаваемую ЭДС (прямой ход), компенсируя ее с помощью эталонного потенциометра и занося результаты в протокол поверки.

Увеличивая значение входного сигнала, выводят стрелку за верхний предел измерения прибора. Затем, уменьшая значение входного сигнала (обратный ход), вновь последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы прибора. Значения входного сигнала при обратном ходе, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы, заносят в протокол поверки.

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний прибора для каждой оцифрованной отметки шкалы при прямом Δe_1 и обратном Δe_2 ходе и вариацию показаний Δe прибора по формулам

$$\begin{aligned} \Delta e_1 &= e_1 - e_{zp}, \\ \Delta e_2 &= e_2 - e_{zp}, \\ \Delta e &= \frac{\Delta e_1 + \Delta e_2}{2}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

где e_1 – показания эталонного потенциометра, соответствующие данной отметке шкалы при увеличении измеряемой величины, мВ;

e_2 – показания эталонного потенциометра, соответствующие данной отметке шкалы при уменьшении измеряемой величины, мВ;

e_{zp} – действительное значение ТЭДС для оцифрованной отметки шкалы, найденное по номинальной статической характеристике ТЭП, мВ.

Определяют предел допускаемой основной абсолютной погрешности и допускаемой вариации показаний МВ по формуле

$$\Delta e_{\text{дон}} = \frac{\Delta e_{\text{осн}} + \Delta e_{\text{вар}}}{100}, \quad (3.5)$$

где $\Delta e_{\text{дон}}$ – предел допускаемой основной абсолютной погрешности, мВ;

$\Delta e_{\square}, \text{доп}$

e_k

— допускаемая вариация показаний МВ, мВ;

— верхний предел измерения поверяемого МВ, мВ; Δ — предел допускаемой основной приведенной погрешности поверяемого МВ, %.

По результатам поверки определяют годность МВ к эксплуатации

или соответствие погрешностей $\Delta e_1, \Delta e_2$ и вариации $\Delta e_{\square}$, рассчитанных для каждой поверяемой отметки шкалы, допускаемым значениям:

$$\Delta e_1 \leq \Delta e_{\text{доп}}; \Delta e_2 \leq \Delta e_{\text{доп}}; \Delta e_{\square} \leq \Delta e_{\square, \text{доп}}. \quad (3.6)$$

Если данные условия выполняются, то МВ годен к дальнейшей эксплуатации и подлежит клеймению, если же хотя бы одно из условий не выполняется, то МВ негоден к дальнейшей эксплуатации.

3.4.2. Определение внутреннего сопротивления МВ методом замещения

Для определения внутреннего сопротивления МВ ручкой «На-пряжение» эталонного потенциометра ПП-63 устанавливают стрелку МВ на одно из средних оцифрованных делений шкалы. Компенсируют заданную ЭДС с помощью рукояток секционированного переключателя и реохорда при нажатой кнопке «Точно» эталонного потенциометра. На МС-1 устанавливают значение сопротивления, равное 200 Ом.

Двухполюсный переключатель 6 устанавливают в положение 2. При этом к эталонному потенциометру ПП-63 подключается магазин сопротивлений МС-1, а поверяемый МВ отключается от эталонного потенциометра.

Изменяют сопротивление на магазине МС-1 до тех пор, пока значение падения напряжения не будет равно падению напряжения, измеренного эталонным потенциометром на МВ. При этом стрелка гальванометра на эталонном потенциометре должна установиться на ноль. Значение внутреннего сопротивления МВ будет равно сопротивлению, установленному на магазине сопротивлений МС-1, которое записывают в протокол поверки.

3.4.3. Влияние величины внешнего сопротивления на показания МВ

Снимают

перемычку 4 и к клеммам 5–6 подключают МС-2. При этом магазин сопротивлений МС-2 включается в линию связи МВ и эталонного потенциометра ПП-63. Двухполюсный переключатель 6 устанавливают в положение 1.

На магазине сопротивлений МС-2 выставляют значение внешнего

сопротивления, увеличенное на ΔR_{BH} . Величина ΔR_B указывает-

ся преподавателем. Следовательно, $R_{BH}^{\text{изм}} = R_{BH} + \Delta R_{BH}$. Производят проверку показаний МВ в трех точках шкалы (начальной, средней и конечной). Данные заносят в таблицу 3.1.

Рассчитывают абсолютные погрешности по формулам (3.4) и сравнивают их с погрешностями, полученными при $R_{BH} = 5 \text{ Ом}$. Делают вывод о влиянии R_B на показания МВ.

По данным протокола и таблицы 3.1 строят график абсолютных погрешностей МВ при $R_{BH} = 5 \text{ Ом}$, $R_B^{\text{изм}}$ и основной допускаемой абсо-

лютной погрешности в координатах $\Delta e [\text{мВ}] - t [^\circ\text{C}]$: по оси абсцисс откладывают значения температуры, а по оси ординат – значения абсолютных погрешностей.

Таблица 3.1

Влияние R_B на показания МВ

Отметка шкалы поверяемого прибора		Отсчет по эталонному потенциометру		Погрешности поверяемого МВ	
		При увеличении показаний e ☐ 1	При уменьшении показаний e_2 ☐	При увеличении показаний ☐ e ☐ 1	При уменьшении показаний ☐ e_2 ☐
θ_C	мВ	мВ			

Вывод: _____.

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Описание принципа действия и устройства МВ.
2. Описание установки для поверки пирометрических МВ.
3. Поверка пирометрического милливольтметра.
4. Протокол поверки (выполняется на отдельной странице).
5. Влияние изменения значения внешнего сопротивления на показания пирометрического милливольтметра.
6. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите источники погрешностей при измерении ТЭДС милливольтметром.
2. Как учитывается влияние температуры окружающей среды на показания МВ?
3. Назначение корректора и арретира.
4. С какими первичными преобразователями работают МВ?
5. Для чего применяются компенсационные провода?
6. Какими метрологическими показателями определяется годность МВ эксплуатации?
7. Для чего предназначены противодействующие пружины в МВ?
8. Как определяется предел допускаемой вариации показаний МВ?
9. При какой температуре окружающей среды можно производить поверку?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Лабораторная работа №5. Изучение и поверка технических манометров**Формируемая компетенция:**

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Цель работы заключается в изучении эталонных средств измерения давления и освоении методики поверки технических манометров.

В качестве эталонных средств измерения давления в работе используются грузопоршневые и деформационные манометры.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение эталонных и технических средств измерения давления,
- ознакомление с методикой поверки технических манометров,
- выполнение операций поверки технического манометра и обработка результатов поверки.

8.1. ГРУЗОПОРШНЕВЫЕ МАНОМЕТРЫ

Грузопоршневые манометры (ГПМ), имеющие классы точности 0,02 и 0,05, предназначены для поверки и калибровки деформационных манометров и преобразователей давления более низких классов точно-

сти. Они являются рабочими эталонами, воспроизводящими с высокой точностью единицы давления кгс/см² или МПа.

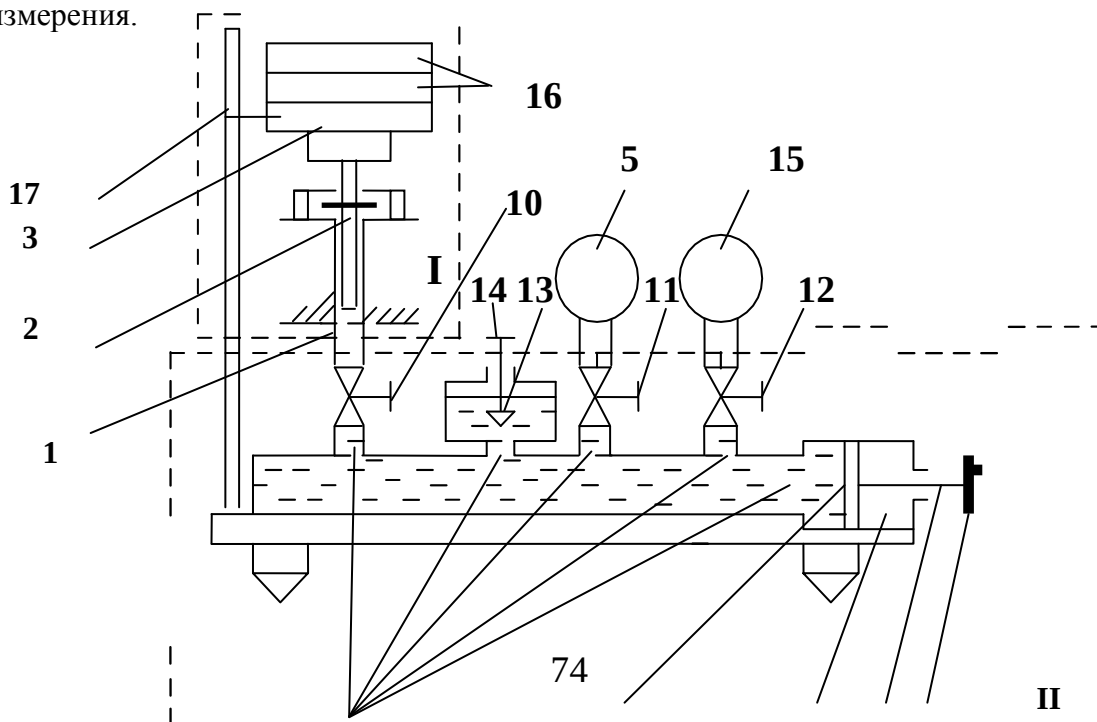
Мерой, характеризующей измеряемое давление, служит действующая на поршень сила, создаваемая массой калиброванных грузов. Значение давления, создаваемого массой каждого калиброванного груза и грузоприемной тарелки, нанесены на их поверхности.

Принцип действия грузопоршневых манометров основан на уравновешивании давления измеряемой среды на свободно перемещающийся в цилиндре поршень силой, создаваемой калиброванным грузом.

Между поршнем, представляющим собой стержень правильной цилиндрической формы, и стенками цилиндра имеется зазор в $1 \div 5$ мкм, заполненный рабочей жидкостью. В зависимости от верхнего предела измерения в качестве рабочей жидкости используются трансформаторное и касторовое масло или керосин.

В момент измерения поршень находится во взвешенном состоянии и оказывает на жидкость давление, величина которого обусловлена массой поршня и грузов, размещаемых на грузоприемной тарелке, соединенной с поршнем. Цилиндр с находящимся в нем поршнем образуют так называемую колонку, которая является чувствительным элементом ГПМ.

На рис. 8.1 показана схема ГПМ типа МП-60 с диапазоном измерения $1 \div 60$ кгс/см² (6 МПа). ГПМ включает колонку I и гидравлический винтовой пресс II, конструктивно объединенные в одном корпусе. В состав ГПМ входит набор калиброванных грузов, который обеспечивает давление равное верхнему пределу измерения.



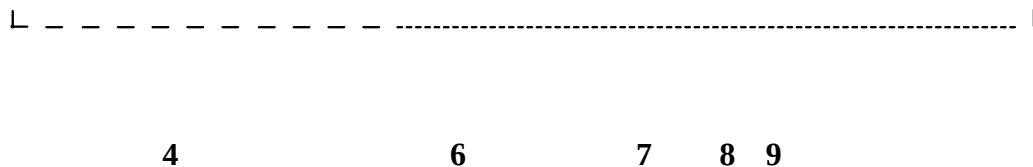


Рис. 8.1. Схема грузопоршневого манометра

Грузовая колонка содержит полый цилиндр 1, заполненный рабочей жидкостью. Внутри цилиндра находится поршень 2 с грузоприем-

ной тарелкой 3. Внутренняя полость цилиндра соединена каналами 4 с поверяемым прибором 5 и гидравлическим прессом. Гидравлический пресс содержит уплотненный манжетами поршень 6 в цилиндре 7 и винт 8 с рукояткой 9, при вращении которой поршень перемещается в цилиндре. Каналы 4 могут перекрываться вентилями 10–12. Для заполнения гидравлической системы ГПМ рабочей жидкостью предусмотрена емкость 13 с игольчатым вентилем 14. К грузопоршневому манометру можно подключить поверяемый манометр 5 и эталонный деформационный манометр 15, либо одновременно два поверяемых манометра.

При измерении давления, создаваемого гидравлическим прессом при вращении рукоятки, на грузоприемную тарелку помещают грузы 16 в таком количестве, которое обеспечивает состояние равновесия поршня грузопоршневого манометра. О достижении положения равновесия судят по совпадению рисок на стойке 17 и на ребре грузоприемной тарелки 3.

В состоянии равновесия для ГПМ справедливо равенство

$$P = \frac{m_1 + m_2}{V} g \quad (8.1)$$

(8.1)

$$F_n \quad \rho_z$$

где P – измеряемое давление,

m_1 – масса поршня,

m_2 – масса грузов,

ρ_v – плотность воздуха,

ρ_z – плотность материала грузов,

F_n – приведенная площадь поршня,

g – ускорение свободного падения.

Приведенная площадь поршня является основным метрологическим параметром ГПМ, который определяется экспериментальным путем. У МП-60 приведенная площадь поршня $F_n = 0,5 \text{ см}^2$.

Приведенное выше соотношение имеет место при отсутствии сил сухого трения. Во время измерения для обеспечения этого условия вращают грузоприемную тарелку.

8.2. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МАНОМЕТРЫ

Принцип действия деформационных манометров заключается в уравнивании измеряемого давления упругой деформацией чувствительного элемента или развиваемой им силой. В качестве чувствительных элементов в деформационных манометрах используются трубчатые пружины, сильфоны и мембраны.

Рассмотрим конструкцию чувствительного элемента манометра, выполненную в виде трубчатой пружины (рис. 8.2а).

Трубчатая пружина представляет собой изогнутую в виде дуги окружности полную трубку плоскоовального или эллиптического сечения. Один конец такой трубки неподвижно закреплен, а другой запаян и имеет возможность свободно перемещаться в пространстве.

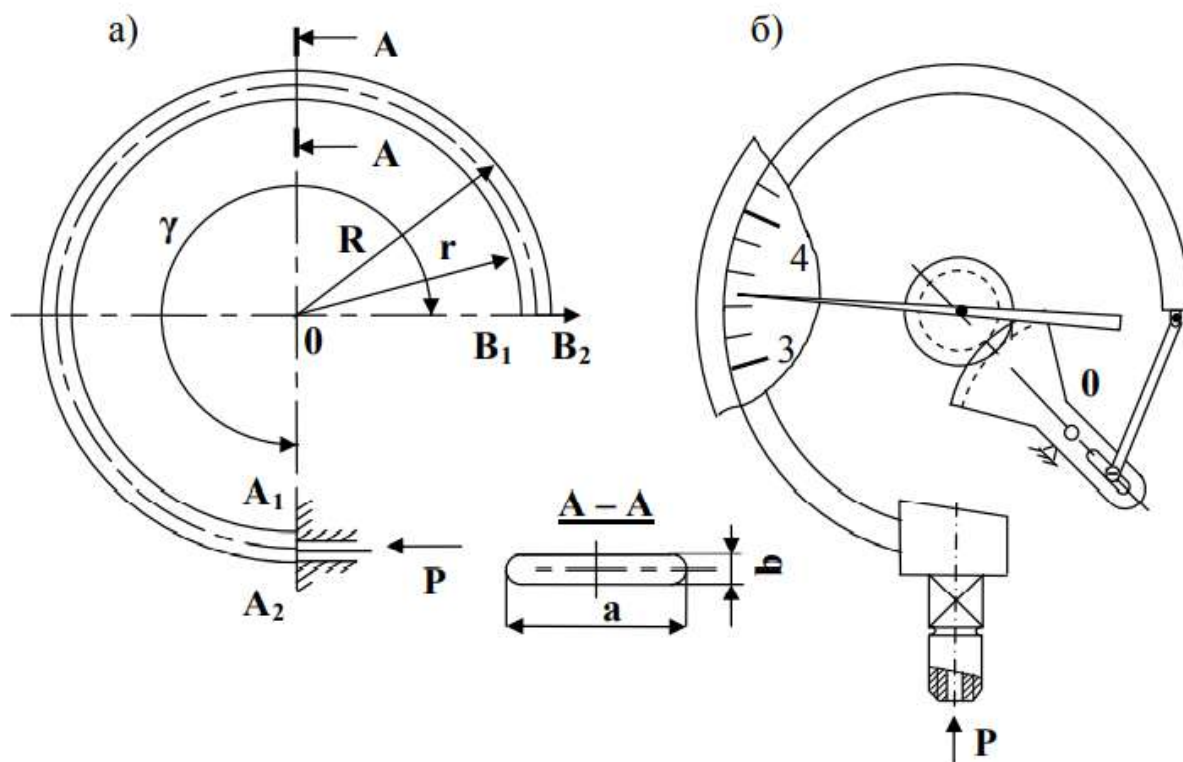


Рис. 8.2. Схема деформационного манометра с трубочатой пружиной

Измеряемое давление подается во внутреннюю полость пружины, при этом ее свободный конец перемещается. При измерении избыточно-го давления пружина раскручивается, а при измерении разрежения – скручивается. Направление перемещения свободного конца трубки обусловлено увеличением малой оси сечения трубки под влиянием избы- точного давления и уменьшением при воздействии разрежения. Приэтом длина трубки остается практически постоянной.

Трубка согнута по кругу под углом $\varphi \approx 270^\circ$. При возрастании дав- ления, действующего изнутри трубки, малая ось эллипса увеличивается, тогда как длины дуг A_1B_1 и A_2B_2 остаются практически постоянными.

Если r – радиус OB_1 , R – радиус OB_2 , b – малая ось эллипса труб- ки, φ – угол закручивания трубки – размеры трубки до деформации дав- лением и соответственно r' , R' , b' и φ' – те же размеры после деформа- ции, то будем иметь:

$$r \varphi \approx r' \varphi' \quad \text{и} \quad R \varphi \approx R' \varphi' \quad (8.2)$$

Вычитая из второго выражения первое, получим:

$$(R - r) \varphi \approx (R' - r') \varphi' \quad (8.3)$$

Так как $R - r = b$ и $R' - r' = b'$, то уравнение (3) примет вид

$$b_{\text{н}} - b_{\text{п}} \quad (8.4)$$

После деформации трубки $b_{\text{н}} - b_{\text{п}}$, поэтому Δl , т.е. под воздействием измеряемого давления трубчатая пружина манометра уменьшает свою кривизну, раскручиваясь в определенном направлении.

На рис. 8.2б приведена схема деформационного манометра с трубчатой пружиной. Перемещение стрелки осуществляется с помощью передаточного механизма, соединенного со свободным концом чувствительного элемента. Зазоры в зубчато-секторной паре выбираются за счет спиральной пружины (на схеме не показана).

Особенностью конструкций эталонных деформационных манометров является наличие корректора нуля и арретира. Шкала прибора имеет 100, 200 или 250 делений.

При проведении измерений эталонным деформационным манометром необходимо использовать свидетельство, в котором приведена реальная статическая характеристика (РСХ) данного эталонного манометра. Классы точности эталонных деформационных манометров – 0,15; 0,2; 0,4.

8.3. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКОГО МАНОМЕТРА

Поверкой технических манометров называют совокупность операций, выполняемых с целью оценки их погрешностей и вариации. Перед поверкой производят внешний осмотр манометра, чтобы убедиться в отсутствии неисправностей, препятствующих применению поверяемого манометра. Стрелка манометра в рабочем положении и при отсутствии давления не должна отклоняться от нулевой отметки более чем на 0,5 деления шкалы.

Технические манометры поверяют путем сравнения их показаний с показаниями приборов более высокого класса точности. Верхний предел измерения эталонного манометра должен быть на 1/3 больше верхнего предела измерения поверяемого манометра, а значение допускаемой погрешности эталонного манометра – в 4 раза меньше значения допускаемой погрешности поверяемого манометра. Количество поверяемых отметок должно составлять: для манометров классов точности 1,5 и 2,5 – не менее пяти; для манометров класса точности ниже 2,5 – не менее трех. В лабораторной работе количество поверяемых отметок соответствует оцифрованным делениям шкалы поверяемого манометра.

8.4. ПОРЯДОК ПОВЕРКИ ПО ГРУЗОПОРШНЕВОМУ МАНОМЕТРУ

Подготовить гидросистему к проведению поверки. Для отклю-

ния образцового деформационного манометра закрыть вентиль 12. Открыть вентиль грузопоршневой колонки 10, вентиль емкости с рабочей жидкостью 14 и вентиль поверяемого манометра 11, при этом давление в гидросистеме становится равным атмосферному. Для удаления воздуха из гидросистемы ввести поршень 6 в цилиндр 7 до упора вращением

рукоятки 9 по часовой стрелке. Заполнить гидросистему рабочей жидкостью вращением рукоятки 9 против часовой стрелки до упора. Закрыть вентиль 14.

На грузоприемную тарелку 3 положить такое количество грузов 16, давление которых вместе с давлением грузоприемной тарелки численно равно значению давления первой поверяемой отметки (значения давлений, создаваемых массой грузов и массой грузоприемной тарелки, нанесены на их поверхности).

Создать в гидросистеме давление, соответствующее давлению первой поверяемой отметки. Для этого, вращая рукоятку 9 гидравлического пресса по часовой стрелке, добиться подъема поршня 2 с грузами 16 до совпадения рисок, нанесенных на стойке 17 и на ребре грузоприемной тарелки 3.

ПРОТОКОЛ

поверки манометра типа _____ № _____ конечное значение шкалы _____ кгс/см² (МПа), цена деления шкалы _____ кгс/см² (МПа) класс точности _____.

Поверка произведена по эталонному манометру типа _____

№ _____ класс точности _____.

Показания эталонного манометра, кгс/см ² (МПа)	Показания поверяемого манометра, кгс/см ² (МПа)		Основная абсолютная погрешность кгс/см ² (МПа)		Основная приведенная погрешность %		Вариация, кгс/см ² (МПа)	Приведенная вариация, %
	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход		

Допускаемая приведенная погрешность поверяемого манометра _____%.

Допускаемая приведенная вариация _____%.

Максимальная приведенная погрешность поверяемого манометра _____%.

Максимальная приведенная вариация _____%.

Вывод: манометр годен (негоден) для измерений.

Для уменьшения погрешности от влияния сухого трения в колонке и люфтов в передаточном механизме поверяемого манометра перед отсчетом привести грузоприемную тарелку с грузами во вращение и произвести легкое постукивание по корпусу поверяемого манометра. Произвести отсчет показаний поверяемого манометра с округлением до 0,1 цены деления шкалы. Результаты поверки занести в протокол, форма которого представлена выше.

Для других поверяемых отметок при увеличении давления (прямой ход) произвести операции поверки, накладывая количество грузов, соответствующее последующей поверяемой отметке, и создавая прессом соответствующее давление. Выдержать поверяемый манометр под давлением, равным верхнему пределу измерения, в течение 5 минут для проверки его герметичности.

Произвести операции поверки для всех поверяемых отметок при уменьшении давления (обратный ход). Для устранения вероятности поломки ГПМ при обратном ходе на каждой поверяемой отметке вначале немного уменьшают давление, затем снимают необходимое количество грузов.

После поверки ГПМ привести в исходное состояние: снизить давление до нуля, вращая рукоятку 9 гидравлического пресса против часо-

вой стрелки; открыть вентиль 14 емкости для рабочей жидкости 13; вращая рукоятку 9 по часовой стрелке до упора, вытеснить рабочую жидкость в емкость 13.

8.5. ПОРЯДОК ПОВЕРКИ ПО ЭТАЛОННОМУ ДЕФОРМАЦИОННОМУ МАНОМЕТРУ

Для отключения колонки ГПМ закрыть вентиль 10. Открыть вентиль 14 емкости с рабочей жидкостью. Подключить к гидросистеме эталонный деформационный манометр 15, открыв вентиль 12.

Подготовить гидросистему к проведению поверки. Создать в гидравлической системе давление, соответствующее первой поверяемой отметке. Значение действительного давления контролировать с помощью эталонного деформационного манометра по его реальной статической характеристике, указанной в свидетельстве.

Произвести отсчет показаний поверяемого манометра. Для уменьшения погрешности от влияния люфтов в передаточном механизме поверяемого манометра перед отсчетом произвести легкое постукивание по корпусу поверяемого манометра.

Произвести методом сличения поверку всех оцифрованных отметок шкалы поверяемого манометра при прямом и обратном ходе. Полученные экспериментальные данные занести в протокол поверки.

После поверки ГПМ привести в исходное состояние.

8.6. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Основную абсолютную погрешность вычисляют для каждой поверяемой отметки как разность показаний поверяемого и эталонного манометров:

$$\begin{aligned} & \Delta P_{\text{пр}} - P_{\text{пр}} - P_0, \\ & \Delta P_{\text{об}} - P_{\text{об}} - P_0, \end{aligned} \quad (8.5)$$

где $\Delta P_{\text{пр}}$, $\Delta P_{\text{об}}$ – основная абсолютная погрешность поверяемого манометра при прямом и обратном ходе, кгс/см² (МПа);

$P_{\text{пр}}$, $P_{\text{об}}$ – показания поверяемого манометра при прямом и обратном ходе, кгс/см² (МПа);

P_0 – показания эталонного манометра, кгс/см² (МПа).

Основную приведенную погрешность вычисляют для каждой поверяемой отметки как частное от деления основной абсолютной погрешности на диапазон измерений поверяемого манометра:

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{\delta_{\text{абс}}}{P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}}} \cdot 100, \quad (8.6)$$

где $\delta_{\text{абс}}$, %
 $\delta_{\text{доп}}$ – основная приведенная погрешность поверяемого манометра при прямом и обратном ходе, %;

$$\delta_{\text{абс}} = \frac{P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}}}{P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}}} \cdot 100, P_{\text{кон}}, P_{\text{нач}}$$

$P_{\text{кон}}, P_{\text{нач}}$ – конечное и начальное значения шкалы поверяемого манометра, кгс/см² (МПа).

Вариацию вычисляют как разность показаний манометра, соответствующих одной и той же поверяемой отметке, при прямом и обратном ходе:

$$V = P_{\text{пр}} - P_{\text{об}}. \quad (8.7)$$

Приведенную вариацию вычисляют как частное от деления значения вариации на диапазон показаний поверяемого манометра:

$$W = \frac{V}{P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}}} \cdot 100. \quad (8.8)$$

Допускаемые значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации численно равны классу точности поверяемого манометра. Например, если класс точности манометра равен 1,5, то допускаемые значения основной приведенной погрешности и вариации равны:

$$\delta_{\text{доп}} = W_{\text{доп}} = 1,5 \, \%.$$

Допускаемые значения основной абсолютной погрешности и вариации вычисляют по формулам:

$$\delta_{\text{абс}} = \frac{\delta_{\text{доп}} \cdot (P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}})}{100}, \quad (8.9)$$

$$V_{\text{доп}} = \frac{W_{\text{доп}} \cdot (P_{\text{кон}} - P_{\text{нач}})}{100}$$

Вывод о годности поверяемого технического манометра делают на основании сравнения максимальной абсолютной погрешности и вариации манометра с их основными допускаемыми значениями. Вместо максимальной абсолютной погрешности и вариации можно использовать основную максимальную приведенную погрешность и приведенную вариацию.

Если выполняются условия

$$\frac{\Delta_{max}}{V_{max}} \leq \frac{\Delta_{дон}}{V_{дон}}, \quad (8.10)$$

где Δ_{max} , V_{max} — максимальные значения основной абсолютной погрешности и вариации, полученные в результате поверки, кгс/см² (МПа);
 $\Delta_{дон}$, $V_{дон}$ — допускаемые значения основной абсолютной погрешности и вариации поверяемого манометра, кгс/см² (МПа);

или условия:

$$\frac{\Delta_{max}}{W_{max}} \leq \frac{\Delta_{дон}}{W_{дон}}, \quad (8.11)$$

где Δ_{max} , W_{max} — максимальные значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации, %;
 $\Delta_{дон}$, $W_{дон}$ — допускаемые значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации, %;

то поверяемый манометр годен к эксплуатации, о чем в протокол поверки заносится соответствующая запись. Если условия (8.10) или (8.11) не выполняются, то поверяемый манометр негоден к эксплуатации. Результаты расчетов заносят в протокол поверки.

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Описание принципа действия и устройства манометра.
2. Схему ГПМ и краткое описание принципа действия.
3. Основные расчетные соотношения.
4. Протокол поверки (оформляется на отдельной странице).
5. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким требованиям должен удовлетворять эталонный манометр?
2. Какой метод измерения реализован в грузопоршневом манометре?
3. Почему колонку считают чувствительным элементом грузопоршневого манометра?
4. С какой целью во время измерения давления приводят во вращение грузоприемную тарелку?
5. В чем заключается назначение гидравлического пресса в поверочной установке?
6. Почему поперечное сечение манометрической пружины имеет форму эллипса или овала?
7. В чем заключается причина перемещения свободного конца манометрической пружины при изменении давления?
8. От чего зависит величина изменения угла закручивания трубчатой пружины манометра под действием давления?
9. По каким внешним признакам можно отличить образцовый деформационный манометр от технического?
10. Чем можно объяснить неоднозначность показаний технического манометра при прямом и обратном ходе на одной и той же поверяемой отметке?
11. Для определения каких метрологических характеристик используют класс точности поверяемого манометра?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Лабораторная работа №6. Изучение и поверка автоматических потенциометров

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Цель работы заключается в изучении автоматических приборов для измерения температуры, работающих в комплекте со стандартными термоэлектрическими преобразователями, изучении образцовых средств, применяемых для поверки автоматических потенциометров (АП), приобретении навыков работы с образцовыми средствами и освоении поверки автоматических приборов для измерения температуры.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение принципа действия и устройства автоматических приборов для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями стандартных номинальных статических характеристик;
- выполнение операций поверки АП;
- обработка результатов поверки АП.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

Автоматические потенциометры предназначены для измерения температуры в комплекте с термоэлектрическими преобразователями (ТЭП) стандартных номинальных статических характеристик. В автоматических потенциометрах используется измерительная схема, реализующая компенсационный метод измерения значения термоЭДС термоэлектрических преобразователей. Простейшая измерительная схема потенциометра изображена на рис. 4.1.

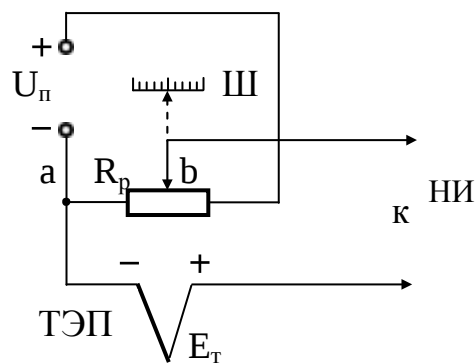


Рис. 4.1. Измерительная схема потенциометра

Термоэлектрический преобразователь ТЭП (рис.4.1) подключен к делителю напряжения (реохорду) R_p таким образом, что падение напряжения U_{ab} между точками **a** и **b** на части делителя напряжения R_p подключено навстречу термоЭДС E_T термоэлектрического преобразователя ТЭП. Перемещая движок реохорда R_p , можно найти такое поло-

Структурная схема автоматического потенциометра приведена на рис. 4.2.

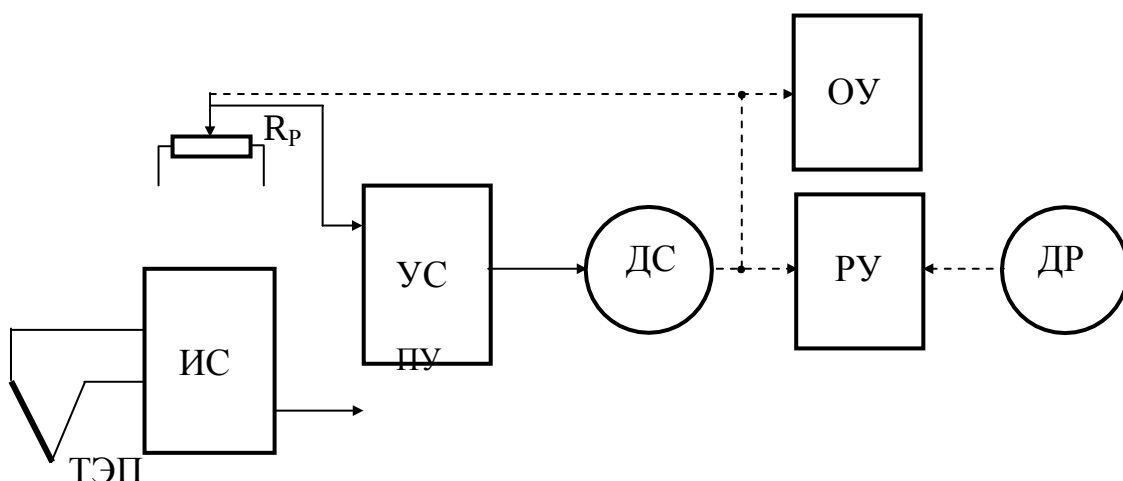


Рис. 4.2. Структурная схема автоматического потенциометра:
 ИС – измерительная схема; УС – усилитель следящей системы;
 ДС – электродвигатель следящей системы; ОУ – отсчетное устрой-ство; РУ –
 регистрирующее устройство; ДР – электродвигатель регистрирующего
 устройства

R_M – резистор для введения поправки на температуру свободных концов ТЭП;

R_0 – резистор, используемый при поверке прибора;

R_{Π} – резистор для ограничения тока источника питания ИП.

Рабочая ветвь измерительной схемы содержит резисторы R_1 , R_{Π} , R_B , R_{Π} и сопротивление реохорда R_p . Вспомогательная ветвь измерительной схемы содержит резистор R_2 и, в зависимости от положения переключателя Π , резистор R_M или резистор R_0 .

Резистор R_M представляет собой катушку, намотанную медным проводом и размещенную в непосредственной близости от места подключения в измерительную схему свободных концов термоэлектрического преобразователя ТЭП.

Следящая система автоматического потенциометра состоит из усилителя УС и электродвигателя ДС, механически связанного с движком реохорда R_p . Регистрирующее устройство включает пишущий узел лентопротяжный механизм или устройство перемещения диаграммного диска ДД, связанные с электродвигателем ДР. На схеме (рис. 4.3) механические связи показаны пунктирными линиями.

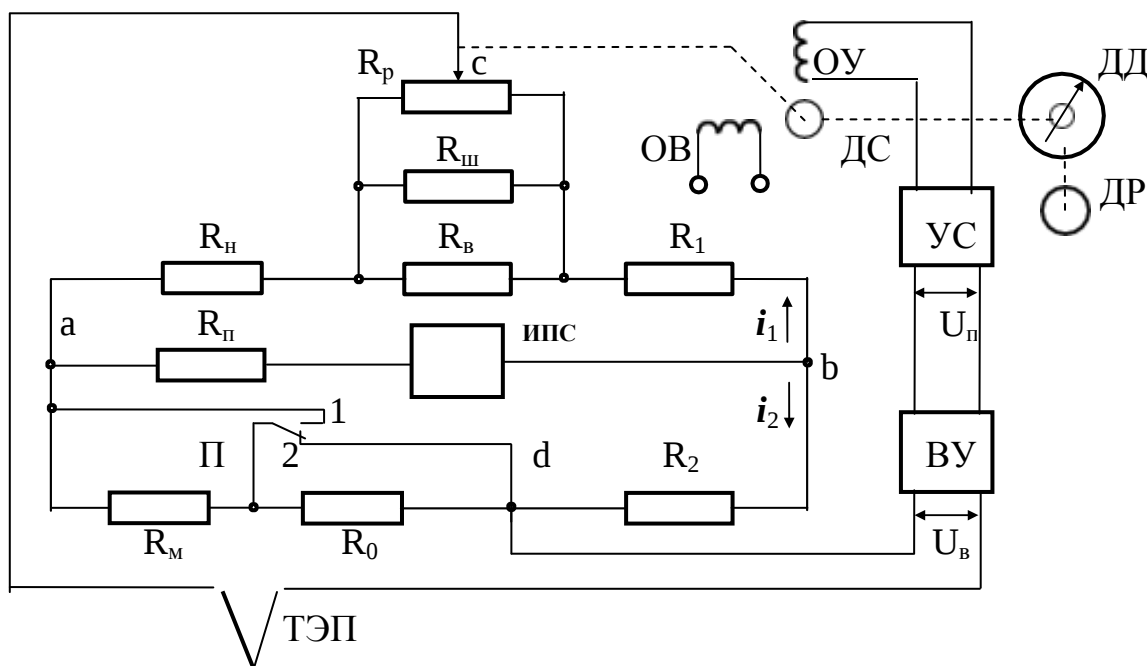


Рис. 4.3. Измерительная схема автоматического потенциометра

Напряжение U_B на входе входного устройства ВУ равно разности измеряемой термоЭДС E_m термоэлектрического преобразователя ТЭП и падения напряжения при прохождении тока i_1 по части m эквивалентного сопротивления R_{Σ} реохорда, состоящего из трех параллельно включенных сопротивлений R_p , R_{Π} , R_B , сопротивлению R_{Π} , а также паде-

ния напряжения при прохождении тока i_2 по резистору R_m или (при контроле работоспособности прибора) по резистору R_0 :

$$U_6 = E_m - i_1(mR_{\Sigma} + R_n) - i_2R_m. \quad (4.1)$$

Если

$$E_m = i_1(mR_{\Sigma} + R_n) - i_2R_m, \quad (4.2)$$

то напряжение $U_b = 0$, напряжение на обмотке управления ОУ электродвигателя ДС отсутствует и движок реохорда неподвижен. Стрелка прибора показывает измеряемое значение температуры.

Если значение измеряемой температуры равно нижнему пределу измерений автоматического потенциометра, то его измерительная схема с подключенным термоэлектрическим преобразователем находятся в состоянии равновесия и на входе входного устройства ВУ напряжение U_b отсутствует. Движок реохорда R_p находится в крайнем положении, а стрелка прибора – на отметке шкалы, соответствующей нижнему пределу измерений автоматического потенциометра.

Если измеряемая температура увеличивается, то значение термо- ЭДС ТЭП увеличивается и равновесие измерительной схемы с подключенным ТЭП нарушается. На входе входного устройства ВУ появляется напряжение U_b . Напряжение с выхода усилителя УС поступает на обмотку управления ОУ реверсивного электродвигателя ДС. Напряжение питания обмотки возбуждения ОВ электродвигателя ДС составляет 127 В переменного тока. Когда напряжение на обмотке управления ОУ достигает значения напряжения трогания, реверсивный электродвигатель ДС начинает работать. С помощью механической связи электродвигатель ДС перемещает движок реохорда R_p в направлении равновесия измерительной схемы с подключенным ТЭП. В момент равновесия $U_n = 0$ и электродвигатель ДС отключается. Стрелка прибора устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре.

Если измеряемая температура уменьшается, то значение термоЭДС ТЭП уменьшается и равновесие измерительной схемы с подключенным ТЭП вновь нарушается. На входе входного устройства ВУ появляется напряжение U_n , полярность которого противоположна полярности напряжения U_n при увеличении измеряемой температуры. Реверсивный электродвигатель ДС перемещает движок реохорда R_p в направлении, противоположном направлению перемещения движка реохорда при уве-

пределу измерения прибора. Таким образом, с выхода УВ на вход усилителя следящей системы УС подается значение напряжения, нормализованное по нижнему и верхнему пределам измерений автоматического прибора.

На входе усилителя следящей системы УС из значения напряжения, поступающего с выхода УВ, вычитается усиленное усилителем сигнала реохорда УР значение падения напряжения на части реохорда R_p . Разность значения напряжения, поступающего на вход УС с выхода УВ, и значения напряжения, поступающего на вход УС с выхода УР, усиливается и подается на обмотку управления электродвигателя ДВ следящей системы. Когда напряжение на обмотке управления электродвигателя ДВ следящей системы достигает значения напряжения трогания, реверсивный электродвигатель ДВ начинает работать. С помощью механической связи электродвигатель ДВ перемещает движок реохорда R_p в таком направлении, при котором значение напряжения на обмотке управления электродвигателя ДВ уменьшается. В момент равенства нулю разности значения напряжения, поступающего на вход УС с выхода УВ, и значения напряжения, поступающего на вход УС с выхода УР, электродвигатель ДВ отключается. Стрелка прибора, связанная с движком реохорда, устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре. При изменении измеряемой температуры изменяется термоЭДС термоэлектрического преобразователя и электродвигатель ДВ вновь начинает работать, перемещая движок реохорда в положение, соответствующее измеряемой температуре. Стрелка прибора вновь устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре. Таким образом, каждому значению измеряемой темпера-

туры соответствует определенное положение движка реохорда и связанной с ним стрелки прибора.

Напряжение с выхода ПУ подается на вход устройства преобразования ПР, предназначенного для преобразования выходного напряжения ПР в унифицированный сигнал 0 – 5 мА или 0 – 20 мА. Напряжение с выхода УВ подается на входы выходных устройств В2, предназначенных для выполнения дополнительных функций прибора.

4.1. ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИОМЕТРОВ

4.3.1. Схема подключений автоматических потенциометров

Схема подключений для поверки автоматического потенциометра типа ДИСК-250 представлена на рис. 4.5. Схема включает автоматический потенциометр АП, рабочий эталон – лабораторный потенциометр

ЛП постоянного тока, нулевой термостат НТ, ртутный термометр Т, магазин сопротивлений МС и панель переключателей В. Выходной сигнал лабораторного потенциометра постоянного тока типа ПП-63 класса точности 0,05 является мерой входного сигнала автоматического потенциометра, т. е. мерой термоЭДС. Нулевой термостат предназначен для поддержания температуры соединений медных проводов с компенсационными проводами в диапазоне от 0 °С до 4 °С. Цена деления ртутного термометра составляет 0,1 °С.

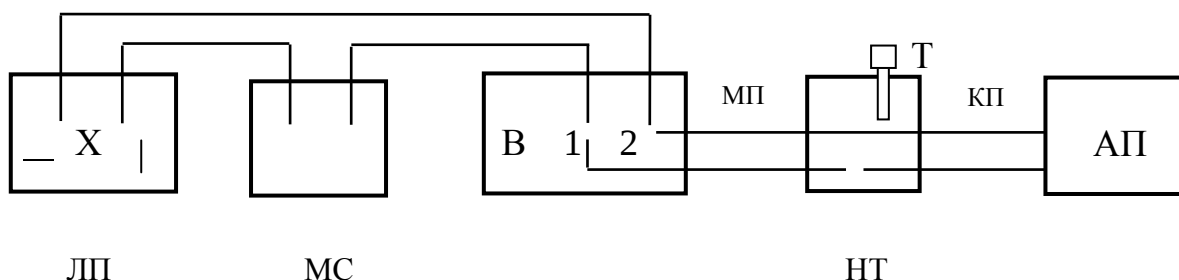


Рис. 4.5. Схема подключений для поверки автоматических потенциометров: ЛП – лабораторный потенциометр; МС – магазин сопротивлений; НТ – нулевой термостат; В – панель переключателей; МП – медные провода; Т – термометр; КП – компенсационные провода; АП – автоматический потенциометр

4.3.2. Подготовка к поверке лабораторной установки и автоматического потенциометра

Нулевой термостат необходимо заполнить смесью воды со льдом. В отверстия на крышке нулевого термостата следует установить ртутный термометр и пробирки с трансформаторным маслом. Внутри пробирок помещают соединения МП с КП.

Перед поверкой автоматического потенциометра необходимо собрать схему подключений в соответствии с рис. 4.5. Монтаж схемы производится при отключенном питании лабораторной установки (тумблер «Сеть» – в отключенном положении).

С помощью переключателя ПЗ входные клеммы автоматического потенциометра соединяют с клеммами 1, 2 панели переключателей В. Для поверки автоматического потенциометра типа ДИСК-250, НСХ ХА (К) (прибор № 4) переключатель ПЗ устанавливают в положение 1, а с НСХ ХК (L) (прибор № 5) – в положение 3.

Клемму 2 панели переключателей В соединяют с минусовой клеммой «Х» лабораторного потенциометра ЛП. Клемму 1 панели переключателей В соединяют с нулевой клеммой магазина сопротивлений МС.

Плюсовую клемму «Х» лабораторного потенциометра ЛП соединяют с клеммой 9 магазина сопротивлений МС. С помощью магазина сопротивлений МС устанавливают значение сопротивления линии равным стандартному значению 160–200 Ом.

Включают питание лабораторной установки и питание поверяемого автоматического потенциометра с помощью соответствующих тумблеров (тумблеры «Сеть» и «Диск-250» перевести в положение «Питание

□ 220В включено»). Поверка автоматического потенциометра производится через 30 минут после включения питания.

4.3.3. Поверка автоматического потенциометра

Целью поверки автоматических потенциометров (АП) является установление соответствия его метрологических характеристик паспортным данным. Установление этого соответствия производится путем сравнения максимальных значений основной абсолютной погрешности и вариации поверяемого АП с пределами допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации показаний АП.

Основную погрешность поверяемого АП определяют для всех оцифрованных отметок шкалы. Основную погрешность АП вычисляют как разность значения термоЭДС, соответствующего оцифрованной отметке шкалы и определяемой по номинальной статической характеристике ТЭП, и значения напряжения на выходе лабораторного потенциометра, соответствующего расположению стрелки на той же оцифрованной отметке шкалы.

Перед поверкой автоматического потенциометра необходимо подготовить протокол поверки, форма которого приведена ниже. Протокол поверки выполняется на отдельном листе отчета по лабораторной работе.

В первый столбец протокола поверки заносят значения температур, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы поверяемого прибора. Во второй столбец протокола поверки заносят значения термоЭДС, соответствующие этим значениям температур по номинальной статической характеристике ТЭП. Номинальные статические характеристики (НСХ) преобразования, т. е. зависимость термоЭДС термопар от температуры рабочих спаев при нулевой температуре свободных концов термопар, приведены в приложении.

ПРОТОКОЛ

поверки прибора типа _____, № _____, НСХ _____,
предел измерения _____ °С, класса точности _____.

Поверка проводилась по эталонному потенциометру типа _____,
№ _____, класса точности _____.

Время прохождения стрелкой прибора всей шкалы _____ с.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

Оцифрованные отметки шкалы	Значение ТЭДС по НСХ	Отсчет по рабочему эталону		Абсолютная погрешность прибора		Вариация
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	
	E_0	$E_{пх}$	$E_{ох}$	Δ_1	Δ_2	V
t_C	мВ					

Предел допускаемой основной погрешности прибора _____ мВ. Максимальная погрешность прибора _____ мВ.

Предел допускаемой вариации прибора _____ мВ. Максимальная вариация прибора _____ мВ.

Вывод _____

Вычисляют пределы допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации показаний прибора по формулам

$$\Delta_{дон} = \Delta \Delta (E_{вн} - E_{нн}) / 100, \quad (4.3)$$

$$V_{дон} = 0,5 \Delta \Delta (E_{вн} - E_{нн}) / 100, \quad (4.4)$$

где $E_{\text{вн}}$, $E_{\text{ин}}$ – значения термоЭДС, соответствующие верхнему и нижнему пределам измерений прибора, мВ;

- – предел допускаемой основной приведенной погрешности прибора, □.

Перед поверкой АП необходимо:

- включить питание лабораторного потенциометра;
- установить рабочий ток эталонного потенциометра;
- перевести переключатель «Род работы» эталонного потенциометра в положение «Потенциометр»;
- перевести переключатель сопротивления линии в положение «0».

Поверка автоматического потенциометра производится в следующем порядке.

Устанавливают стрелку прибора на оцифрованную отметку шкалы, соответствующую нижнему пределу измерений прибора. Изменение значения входного сигнала прибора осуществляют с помощью секционированного переключателя и реохорда при нажатой кнопке «Точно» лабораторного потенциометра. Увеличивая значение входного сигнала (прямой ход), последовательно устанавливают стрелку прибора на все оцифрованные отметки шкалы. Значения входного сигнала, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы, заносят в протокол поверки.

Увеличивая значение входного сигнала, выводят стрелку за верхний предел измерений прибора. Затем, уменьшая значение входного сигнала (обратный ход), вновь последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы прибора. Значения входного сигнала при обратном ходе, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы, заносят в протокол поверки.

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний прибора для каждой оцифрованной отметки шкалы при прямом $\square_1$ и обратном $\square_2$ ходе и вариацию V прибора по формулам

$$\begin{aligned} \square_1 &= E_{\text{нх}} - E_0 - E_m, \\ \square_2 &= E_{\text{ох}} - E_0 - E_m, \\ V &= \square E_{\text{нх}} - E_{\text{ох}} \square, \end{aligned} \quad (4.5)$$

где E_0 – значение термоЭДС ТЭП по таблице номинальной статической характеристики, соответствующее оцифрованной отметке шкалы, мВ;

E_m – значение термоЭДС по таблице номинальной статической характеристики ТЭП, соответствующее значению температуры в термостате, мВ;

E_{nx} и E_{ox} – значения входного сигнала, соответствующие оцифрованной отметке шкалы при прямом и обратном ходе, мВ.

Устанавливают соответствие метрологических характеристик поверяемого прибора его паспортным данным, сравнивая максимальные значения основной абсолютной погрешности и вариации прибора с пределами допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации.

Если выполняются условия:

$$\Delta E_{max} \leq \Delta E_{don}, \quad (4.6)$$

$$V_{max} \leq V_{don}, \quad (4.7)$$

то метрологические характеристики прибора соответствуют его паспортным данным и в протоколе поверки делают запись «Прибор годен для измерений». Если одно из условий не соблюдается, то метрологические характеристики прибора не соответствуют его паспортным данным и в протоколе делают запись «Прибор негоден для измерений».

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Описание принципа действия и устройства АП.
2. Схема подключений для поверки АП.
3. Поверка автоматического потенциометра.
4. Протокол поверки.
5. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. С какой целью используют автоматические потенциометры?
2. В чем заключается преимущество автоматических приборов с компенсационной измерительной схемой?
3. Что включает структура системы для измерения температуры?
4. Какие соотношения соответствуют компенсации термоЭДС термоэлектрического преобразователя напряжением измерительной схемы автоматического потенциометра при крайних положениях движка реохорда?
5. Каким образом в автоматических потенциометрах вводится поправка на температуру свободных концов ТЭП?
6. Какое соотношение отвечает условию равновесия измерительной схемы автоматического потенциометра при температуре свободных концов ТЭП, отличающейся от нормальной?

7. Какие элементы
содержат следящие
системы автоматических

приборов?

8. В чем заключается назначение следящей системы автоматического потенциометра?
9. В чем заключается отличие лабораторного потенциометра от автоматического потенциометра?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.

Лабораторная работа №7. Изучение и поверка мембранных тягонапомеров

Формируемая компетенция:

ПК 1.2. Использовать системы автоматического управления технологическим процессом

Цель работы:

Целью работы является изучение устройства и принципа действия мембранных тягомеров, напоромеров, тягонапомеров и освоение методики их поверки, а также изучение эталонных средств измерения разрежений и малых давлений.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение эталонных и технических средств измерения разрежений и малых давлений;
- ознакомление с методикой поверки мембранных тягомеров, напоромеров, тягонапомеров;
- проведение поверки технического тягомера, напоромера или тягонапоромера и обработка результатов измерений.

9.1. МЕМБРАННЫЕ ТЯГОНАПОРОМЕРЫ

Мембранные тягомеры, напоромеры и тягонапомеры предназначены для измерения небольших избыточных и вакуумметрических давлений газов, не превышающих 4000 кгс/м^2 (0,04 МПа). Например, в котельных установках напоромерами измеряют избыточное давление воздуха, тягомерами – разрежение в газоходах, а тягонапомерами измеряют в топках разрежение – давление.

В качестве упругих чувствительных элементов в данных приборах применяют мембранные коробки и неметаллические мембраны с жестким центром.

Мембранные напоромеры, тягомеры и тягонапомеры – это показывающие приборы с профильной или концентрической (круго-

вой) шкалой. На рис. 9.1 представлена схема мембранного тягомера с профильной шкалой типа ТМП. В качестве упругого чувствительного элемента используется мембранная коробка 6, состоящая из двух гофрированных мембран, спаянных между собой припоем или сваренных роликовой сваркой. Мембраны изготовлены из бериллиевой бронзы.

Измеряемая среда подается через штуцер 1 и соединительную трубку в мембранную коробку 6. Измеряемое разрежение газа вызывает перемещение жесткого центра 5 верхней мембраны. Из-за чего поводок

7 поворачивает рычаг 8, который с помощью механизма 9 перемещает стрелку 2 вдоль шкалы 3. Установка стрелки на нулевую отметку производится корректором нуля 4.

Напоромеры типа НМП и тягонапоромеры типа ТНМП по своему устройству аналогичны рассмотренному тягомеру типа ТМП.

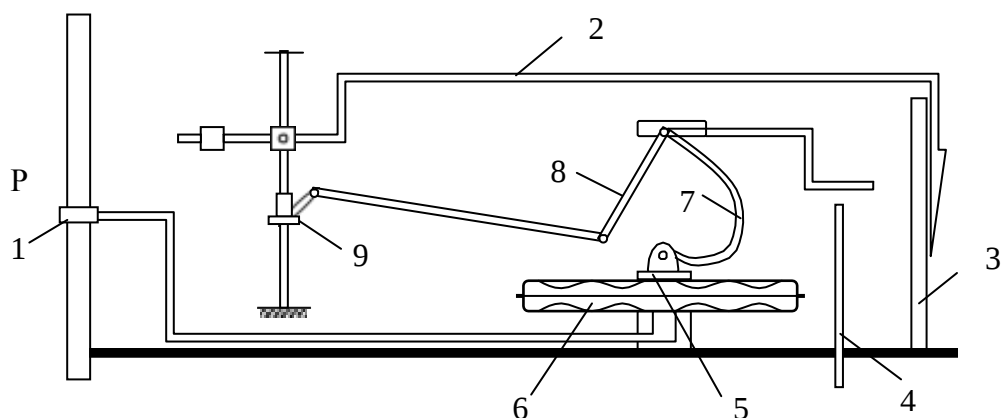


Рис. 9.1. Мембранный тягомер типа ТМП

Верхние пределы измерений напоромеров и тягомеров лежат в интервале от 16 до 4000 кгс/м² ($0,016 \cdot 10^{-2}$ – 0,04 МПа), а тягонапоромеров – от □ 8 до □ 2000 кгс/м² ($0,008 \cdot 10^{-2}$ – 0,02 МПа), а их классы точно-

сти составляют 1,5 и 2,5.

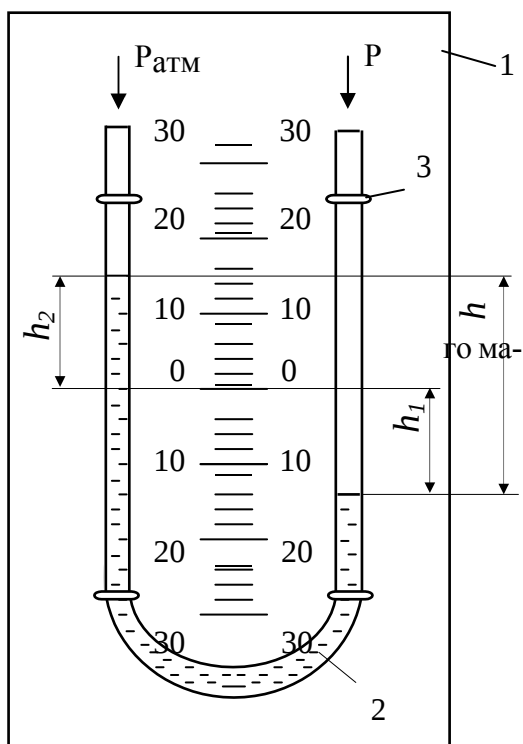
9.2. U-ОБРАЗНЫЙ МАНОВАКУУМЕТР МВ-1200

U-образные мановакууметры относятся к группе жидкостных приборов с видимым уровнем. Они используются для измерения следующих величин:

- избыточного давления воздуха и неагрессивных газов до 1500 мм вод. ст. и 735 мм рт. ст.;
- разрежения газовых сред до 700 мм вод. ст. и 760 мм рт. ст.;
- разности давлений неагрессивных сред;

U-образные мановакууметры применяются в качестве технических приборов или рабочих эталонов. На рис. 9.2 приведена схема U-образного (двухтрубного) мановакууметра. Он состоит из U-образной стеклянной трубки 2, заполненной рабочей жидкостью. В качестве рабочей жидкости применяется вода или ртуть. Трубка закреплена на основании 1 скобами 3.

Шкала, нанесенная на основании, позволяет производить отсчет уровней в обеих трубках. Измеряемое давление, разрежение или разность давлений уравнивается и измеряется столбом рабочей жидкости h . Он определяется как сумма столбов h_1 и h_2 в обеих трубках. При этом устраняется погрешность из-за некоторого возможного различия сечений обоих колен U-образной трубки. Внутренний диаметр стеклянной трубки U-образного манометра должен быть не менее 8–10 мм и по возможности одинаков по всей ее длине. При малом диаметре трубки капиллярные свойства воды не позволяют применять ее в качестве рабочей жидкости, и рекомендуется применять спирт.



U-образный мановакууметр должен

1 быть установлен строго вертикально. При измерении одно колено трубки прибора соединяется с объектом измерения, а другое остается открытым (т.е. сообщенным с атмосферой).

На лабораторном стенде установлен мановакууметр типа МВ-1200,

заполненный водой. Результат измерения h выражается в миллиметрах водяного столба (1 мм вод. ст. = 1 кгс/м²). Диапазон измерения U-образного мановакууметра равен ± 600 мм вод.

Рис. 9.2. U-образный мановакууметр

ст., предел допускаемой абсолютной погрешности $\Delta_{\text{доп}} = \pm 2$ мм вод. ст., а основная допускаемая приведенная погрешность $\Delta_{\text{пр}} = \pm 1,6 \%$.

При необходимости его можно перевести в Паскали по формуле

$$P = h \rho g (\rho_c), \quad (9.1)$$

где g – местное ускорение свободного падения, м/с²;

h – разность уровней рабочей жидкости, м;

ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³ ($\rho_B = 1000$ кг/м³);

ρ_c – плотность среды над рабочей жидкостью, кг/м³.

Так как $\rho_c = \rho$, то уравнение (9.1) примет вид

$$P = h \rho g \quad (9.2)$$

9.3. МИКРОМАНОМЕТР С НАКЛОННОЙ ТРУБКОЙ ТИПА ММН

Для поверки технических мембранных приборов в качестве рабоче-го эталона может применяться чашечный однострубный микроманометр с наклонной трубкой типа ММН, схема которого представлена на рис. 9.3.

Применение наклонной измерительной трубки позволяет уменьшить погрешность измерения. В качестве жидкости, уравнивающей измеряемое давление, применяют этиловый спирт, который заливают в широкий сосуд 7, чтобы уровень его в наклонной трубке 1 находился против нулевой отметки шкалы.

При измерении избыточного давления $+P$ измеряемая среда подается в сосуд, а в наклонную трубку атмосферное давление $P_{\text{атм}}$. При измерении разрежения $-P$ – наоборот. В случае измерения разности давлений большее давление подается в сосуд, а меньшее – в измерительную трубку. Переключение осуществляется краном-переключателем 8.

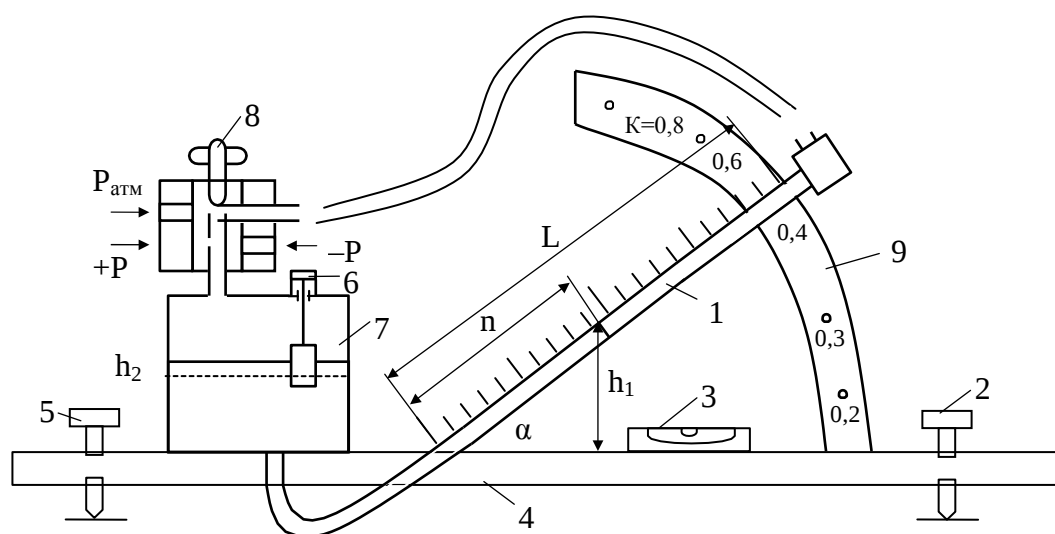


Рис. 9.3. Микроманометр с наклонной трубкой типа ММН

Под действием измеряемого давления, уровень жидкости в трубке, наклоненной на угол α к горизонтальной плоскости, поднимается по вертикали на высоту h_1 , а в широком сосуде опускается на h_2 . Разность высот рабочей жидкости, уравнивающей измеряемую величину, равна:

$$h = h_1 + h_2, \quad (9.3)$$

$$h_1 = n \sin \alpha, \quad (9.4)$$

где n – длина столба жидкости в наклонной трубке, мм.

Если F_1 и F_2 – площади сечения наклонной трубки и сосуда, то

$$n \sin \alpha F_1 = h_2 F_2. \quad (9.5)$$

Решая уравнения (9.3), (9.4) и (9.5), получим:

$$h = n \sin \alpha \left(1 + \frac{F_1}{F_2} \right). \quad (9.6)$$

Значение измеряемого давления будет равно:

$$P = h \rho g = n \rho g \sin \alpha \left(1 + \frac{F_1}{F_2} \right), \text{ Па}, \quad (9.7)$$

или

$$P = 0,102 n \rho g \sin \alpha \left(1 + \frac{F_1}{F_2} \right) \text{ кгс/м}^2 (\text{мм вод. ст.}), \quad (9.8)$$

Поскольку $0,102 \rho g = 0,102 \cdot 9,81 = 1$, то

$$P = n \sin \alpha \left(1 + \frac{F_1}{F_2} \right) = n k \quad (9.9)$$

где n – отсчет по шкале прибора, кгс/м²;

$$\rho - \text{плотность спирта, при температуре } +20^{\circ}\text{C} (\rho = 0,8095 \text{ г/см}^3); \quad (9.10)$$

k – постоянная прибора, нанесенная на установочной дуге, значение которой вычисляется по формуле

$$k = \frac{1}{\sin \alpha} \frac{F_1}{F_2}.$$

Так как $F_1 / F_2 = 1/400$, то значение постоянной прибора можно опре-

делить без учета поправки на отношение яемое F_1 / F_2 . В этом случае изменение давления будет равно:

$$P = n \sin \alpha \quad (9.11)$$

где $k_1 = \frac{1}{\sin \alpha}$ – постоянная прибора.

Если фактическая плотность спирта ρ_1 отличается от указанной на приборе, то значения постоянных прибора должны быть умножены на поправочный множитель:

$$k = k \frac{\rho_1}{\rho} \quad \text{и} \quad k_1 = \frac{k_1}{\rho_1} \quad (9.12)$$

Изменяя наклон измерительной трубки, можно получить несколько диапазонов измерения микроманометра. Для этого трубку 1 закрепляют на установочной дуге 9, на которой нанесены значения постоянных прибора: $k = 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8$. Соответственно, микро-

метр имеет пять диапазонов измерения 0–50, 0–75, 0–100, 0–150 и 0–200 кгс/м². Микроманометр устанавливают в горизонтальной плоскости по уровню 3 с помощью винтов 2 и 5. Для установки в измерительной трубке уровня жидкости против нулевой отметки шкалы предназначен корректор нуля 6. Классы точности микроманометров 0,5 и 1.

ПОВЕРОЧНАЯ УСТАНОВКА

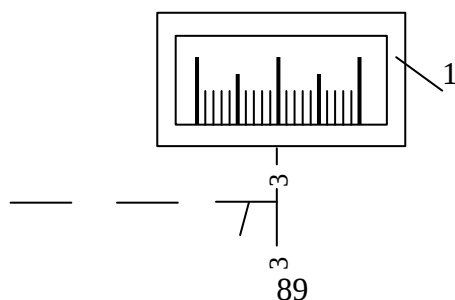
Лабораторная установка предназначена для поверки приборов, расположенных на передней панели. Таких как:

- напоромеры типа НМП-52 (№ 3), НМП-100 (№ 2, 4) и НМП-52-М1-У3 (№ 7);
- тягонапоромер типа ТНМП-52 (№ 6);
- тягомеры типа ТмМП-52-М2-У3 (№ 5), ТмМП-52 (№ 1);
- комплект тягомера, состоящий из преобразователя давления с компенсацией магнитных потоков типа ДСЭТ-МИ и измерительного прибора типа А100-2125 (№ 8).

В качестве рабочего эталона может быть использован U-образный мановакууметр типа МВ-1200 или микроманометр с наклонной трубкой 3 типа ММН. Выбор рабочего эталона зависит от предела измерения поверяемого прибора.

Для получения плавно регулируемого давления или разрежения используется сильфонный пресс 2.

Подключение поверяемого прибора к рабочему эталону производится с помощью двух кранов-переключателей, имеющих по шесть точек подключения.



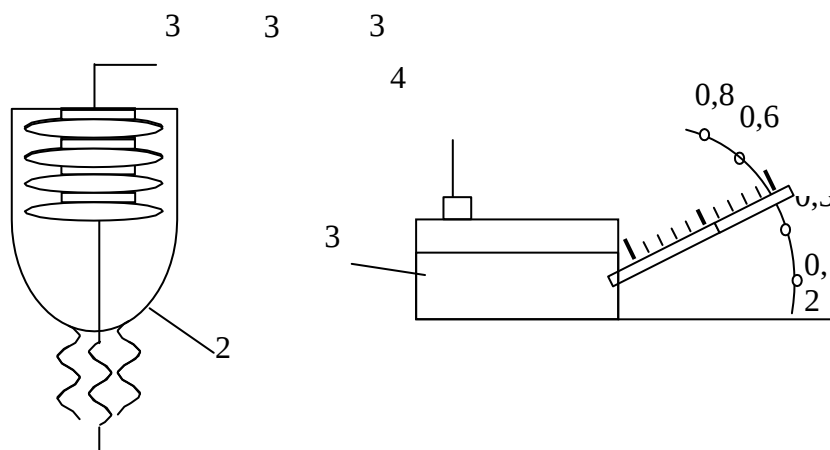


Рис.4. Схема поверочной установки
 1 –веряемый прибор, 2 –ильфонный пресс, 3 – микроманометрс
 наклонной трубкой, 4 – пневматическая система

9.6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

Подготовить протокол, в который вписать технические данные поверяемого и эталонного приборов и оцифрованные отметки шкалы поверяемого прибора. При помощи крана-переключателя подключить указанный преподавателем поверяемый прибор к пневматической системе. Сильфонный пресс выкрутить до упора при поверке напорометров и вкрутить при поверке тягомеров.

ПРОТОКОЛ

поверки _____, типа _____, № _____
 Предел измерения _____. Класс _____.
 Поверка производилась по _____
 Предел измерения _____. Тип _____, № _____
 Класс _____.

Поверяемая отметка	Действительное значение давления по	Абсолютная погрешность	Вариация
-----------------------	--	---------------------------	----------

шкалы P_{II} кгс/м ²	показаниям эталонного прибора $P_{Э}$ кгс/м ²		поверяемого прибора P_{II} , кгс/м ²		V , кгс/м ²
	Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	

Предел допускаемой абсолютной
погрешности _____ кгс/м².
Предел допускаемой
вариации _____ кгс/м².
Вывод _____.

Максимальная погрешность
прибора _____ кгс/м².
Максимальная вариация
прибора _____ кгс/м².

При поверке комплекта тягомера (измерительного преобразователя типа ДСЭТ-МИ и измерительного прибора типа А 100-2125) включить тумблер питания "Сеть" и тумблеры включения питания соответствующих приборов.

Резиновым шлангом подключить эталонный прибор к пневматической системе. Если в качестве эталонного прибора используется микроманометр, то его необходимо установить строго по уровню. Плавное изменение давления сильфонным прессом подвести, стрелку поверяемого прибора к первой (не считая нуля) поверяемой отметке, показания эталонного прибора записать в протокол. Показания микроманометра пересчитывают по уравнению (9.11). Плавное увеличение давления, подвести стрелку поверяемого прибора ко второй и последующим поверяемым отметкам (прямой ход).

Закончив поверку показаний при возрастающем давлении (разрежении), выдержать поверяемый прибор пять минут на предельном показании (не допуская перегрузки). После этого повторить поверку показаний прибора по всем оцифрованным отметкам в обратном порядке (обратный ход).

9.7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

Для всех оцифрованных отметок шкалы вычислить абсолютную погрешность поверяемого прибора при прямом и обратном ходе и вариацию по формулам:

$$\Delta P_{II} = (P_{II} - P_{Э}), \quad (9.13)$$

где P – показание поверяемого прибора, кгс/м²,
 $P_{\text{э}}^{\text{п}}$ – показание эталонного прибора, кгс/м²,

$$V = \left| \frac{P_{\text{э}}^{\text{п}} - P}{P_{\text{обр.х}}} \right|, \quad (9.14)$$

где $P_{\text{хэ}}^{\text{пр.}}$ – показание эталонного прибора при прямом ходе, кгс/м²,
 $P_{\text{обр.хэ}}$ – показание эталонного прибора при обратном ходе, кгс/м².

Определить пределы основной абсолютной допускаемой погрешности и вариации поверяемого прибора:

$$\Delta_{\text{доп}} = \frac{\Delta}{100} (P_{\text{В}} - P_{\text{Н}}), \quad (9.15)$$

где Δ – предел основной допускаемой приведенной погрешности поверяемого прибора численно равный классу точности, %,

$P_{\text{В}}, P_{\text{Н}}$ – верхний и нижний пределы измерения поверяемого прибора, кгс/м²,

$$V_{\Delta_{\text{доп}}} = \frac{\Delta_{\text{доп}}}{2} \quad (9.16)$$

Вывод о годности поверяемого прибора делают на основании сравнения максимальной абсолютной погрешности и вариации с их основными допускаемыми значениями.

Если выполняются условия

$$\Delta_{\text{max}} \leq \Delta_{\text{доп}}, \quad V_{\text{max}} \leq V_{\Delta_{\text{доп}}}, \quad (9.17)$$

где $\Delta_{\text{max}}, V_{\text{max}}$ – соответственно, максимальные значения абсолютной погрешности и вариации, полученные в результате поверки;

$\Delta_{\text{доп}}, V_{\Delta_{\text{доп}}}$ – соответственно, допускаемые значения основной абсолютной погрешности и вариации поверяемого прибора,

то поверяемый прибор годен к эксплуатации, о чем в протокол поверки заносится соответствующая запись. Если хотя бы одно из условий (9.17) не выполняется, то поверяемый прибор негоден к эксплуатации. Результаты расчетов заносят в протокол поверки.

Форма представления результата:

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Описание устройства и принципа действия поверяемого прибора и рабочего эталона.
2. Описание поверочной установки.
3. Обработка результатов поверки.
4. Протокол поверки (оформляется на отдельной странице).
5. Ответы на контрольные вопросы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для измерения давления каких сред и в каких пределах используются напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры?
2. Какой упругий чувствительный элемент используется в напоромерах?
3. Назовите единицы измерения давления, если оно измеряется U-образным мановакууметром.
4. Чему равен предел допускаемой абсолютной погрешности U-образного мановакууметра и почему?
5. Чему равен класс точности U-образного мановакууметра, если его диапазон измерения равен 1000 мм вод. ст.?
6. Изменится ли погрешность измерения давления, если уровень рабочей жидкости в U-образном мановакууметре не на нуле?
7. С какой целью в жидкостных микроманометрах применяется наклонная трубка?
8. Каким образом можно изменить пределы измерения микроманометра с наклонной трубкой?

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется, если задание выполнено верно и даны полные ответы на вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если ход выполнения задания верный, но была допущена одна или две ошибки, либо в ответах на вопросы допущена неточность.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если приведено неполное выполнение задания (упущены важные технические характеристики), либо в ответах на вопросы допущены грубые ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если задание не выполнено.