

Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Металлургия и литейное производство»

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу
для студентов специализации
1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2016

УДК 669.9-52(075.8)
ББК 34.5я73
А22

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 24.06.2014 г.)*

Составитель: А. В. Ткаченко

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Обработка материалов давлением»
ГГТУ им. П. О. Сухого В. Ф. Буренков

А22 Автоматизация технологических процессов : практикум по одноим. курсу для студентов специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением» днев. и заоч. форм обучения / сост.: А. В. Ткаченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 49 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16 Mb; Windows 98 и выше; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Предназначено для практической подготовки студентов дневной и заочной форм обучения по применению элементов автоматизации технологических процессов. Содержит методические указания по содержанию, выполнению и оформлению лабораторных работ.

Для студентов специализации 1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 669.9-52(075.8)
ББК 34.5я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2016

Лабораторная работа №1 Датчики температуры.

Цель работы - изучение промышленных образцов первичных приборов для измерения температуры и методики их применения.

Теоретическая часть.

Температурой называют физическую величину, характеризующую степень нагретости тела. Это понятие связано со способностью тела с более высокой температурой передавать свою теплоту телу с более низкой температурой до тех пор, пока их температуры не сравняются. Одновременно с изменением температуры тел меняются и их физические свойства.

Приборы для измерения температуры классифицируют в зависимости от того, какой метод измерения положен в основу их конструкции: контактный (метод непосредственного соприкосновения измерительного прибора с измеряемой средой) и неконтактный (метод, основанный на расположении измерительного прибора на расстоянии от измеряемой среды).

К приборам, основанным на контактном методе измерений, относят жидкостные стеклянные термометры, термометры расширения твердых тел, манометрические термометры, термоэлектрические термометры (термопары), термопреобразователи (термометры) сопротивления. Для целей автоматизации применимы только два последних вида термометров.

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

Термоэлектрический термометр, простейшая цепь которого показана на рис. 1.1, 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. 1.1, б).

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

Современные средства микроэлектроники позволяют сигналы от термопар не только усиливать до нормального уровня, но и оцифровывать.

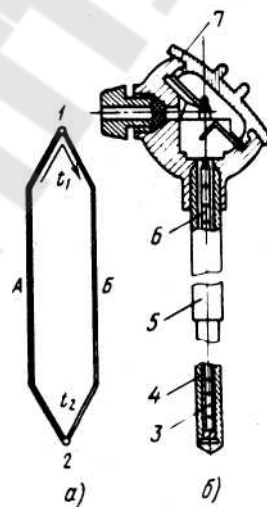


Рис. 1.1. Простейшая термоэлектрическая цепь (а) и общий вид термоэлектрического термометра (б): 1 - свободный конец; 2 - рабочий конец; 3 - термоэлемент; 4 - жароупорный наконечник; 5 - металлический чехол; 6 - фарфоровые изоляторы; 7 - головка термометра с зажимами; А, Б - проводники из разных металлов

Предусмотрено изготовление пяти типов термоэлектрических

термометров; вольфрамрений (5% рения) – вольфрамрениевые (20% рения) типа ТВР; платинородий — платиновые типа ТПП; платинородий (30% родия) — платинородиевые (6% родия) типа ТПР; хромель-алюмелевые типа ТХА; хромель-копелевые типа ТХК. Кроме того, промышленность изготавливает нестандартные вольфраммолибденовые 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. 1.2) 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°C изготавливают из медной изолированной проволоки диаметром 0,1...0,2 мм, а выводы—из медной луженой проволоки диаметром 1... 1,5 мм.

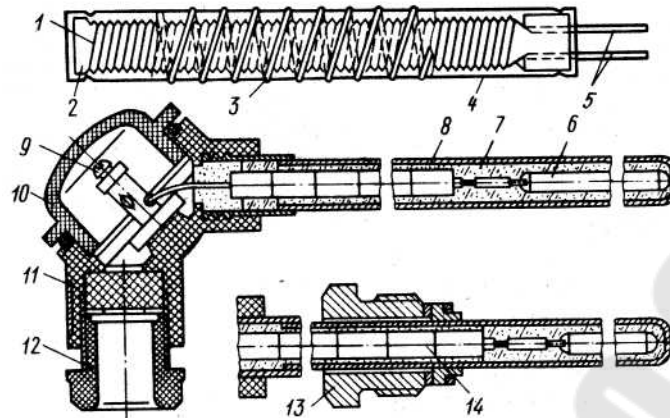


Рис. 1.2. Платиновый термопреобразователь сопротивления: 1 - платиновая проволока; 2 - каркас; 3 - серебряная лента; 4 - слюдяная пластинка; 5 - выводы; 6 - чувствительный элемент; 7 - оксид аммония; 8 - защитная арматура; 9 - зажим; 10 - крышка; 11 - головка; 12, 13 - штуцера под кабель и штуцер для крепления оправы; 14 - изоляторы

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

Пирометры излучения применяют для измерения температуры твердых и расплавленных тел в пределах от 400 до 4000°С. Интенсивность излучения накаливаемых тел зависит от температуры их нагрева. Чем выше эта температура, тем больше излучение.

Пирометры, измеряющие температуру по яркости накаливаемого тела, известны под названием пирометров частичного излучения; к ним относятся оптические и фотоэлектрические пирометры. Оптические пирометры для стационарных измерений не применяют, поэтому в данном учебнике они не рассматриваются. Для измерения мощности полного излучения накаливаемых тел, т. е. суммарного теплового и светового, служат радиационные пирометры, их называют еще пирометрами полного излучения.

Фотоэлектрические пирометры. В них использовано свойство фотоэлемента образовывать под действием ярко накаливаемого тела фотоэлектрический ток, значение которого пропорционально интенсивности падающего на фотоэлемент светового потока.

Фотоэлектрический пирометр (рис. 1.3, а) состоит из визирной

головки б, силового блока 2, стабилизатора напряжения 1, электронного потенциометра 14 и разделительного трансформатора 15. В визирной головке, являющейся первичным прибором пирометра, помещен фотоэлемент 12. Для измерения температуры визирную головку устанавливают так, что световой поток от излучателя 5 направляется через линзу 4 объектива на фотоэлемент. Правильная наводка визирной головки на излучатель производится с помощью окуляра 11 и зеркального отражателя 7. Перед кассетой установлен электромагнитный вибратор 8, заслонка которого вибрирует с частотой электрического тока 50 Гц и попеременно открывает отверстия кассеты Р, пропуская на фотоэлемент световой поток то от излучателя, то от лампы накаливания 3, являющейся эталоном.

Под влиянием световых потоков от излучателя и лампы накаливания на фотоэлементе образуется переменный фотоэлектрический ток, сила которого зависит от разности световых потоков. Переменное напряжение фотоэлектрического тока вначале усиливается электронным усилителем Д, расположенным в визирной головке, а затем в силовом блоке.

Лампа накаливания подключена к выходному каскаду силового блока. Если световые потоки от излучателя и лампы накаливания одинаковы, то одинаковы и электрические импульсы, посылаемые фотоэлементом в измерительную цепь. Если температура излучателя увеличится, то импульсы, посылаемые фотоэлементом, будут также увеличиваться, вследствие чего ток в лампе накаливания возрастет до восстановления равновесия. Таким образом, схема, реагируя на неравновесие (разбаланс) импульсов фотоэлемента, будет непрерывно изменять значения тока, протекающего через лампу, обеспечивая равенство потоков лампы накаливания и излучателя. Измеряя силу тока, протекающего через лампу накаливания, можно определять температуру излучателя.

Для измерения силы тока использован самопишущий электронный потенциометр 14, подключенный к шунту, который находится в цепи лампы накаливания.

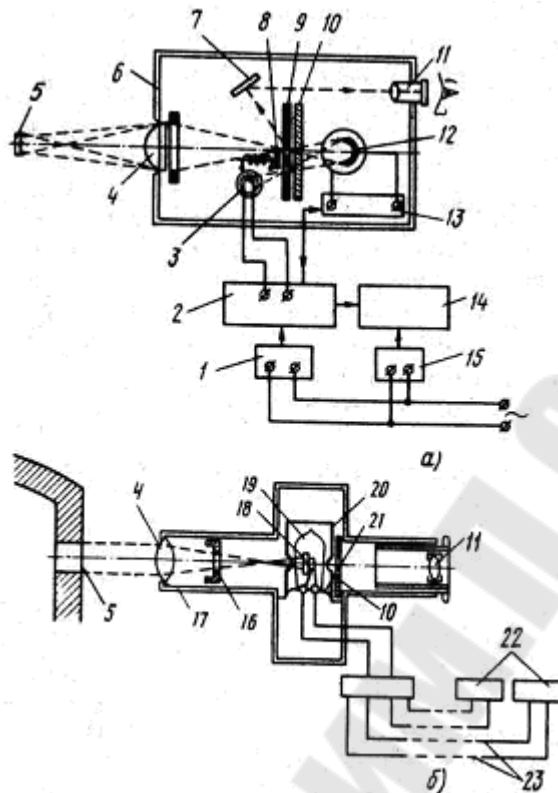


Рис. 1.3. Фотоэлектрический (а) и радиационный (б) пирометры излучения:

1 - стабилизатор напряжения; 2 - силовой блок; 3 - лампа накаливания; 4 - линза; 5 - излучатель; 6 - визирная головка; 7 - зеркальный отражатель; 8 - электромагнитный вибратор; 9 - кассета; 10 - светофильтр; 11 - окуляр; 12 - фотоэлемент; 13 - электронный усилитель; 14 - электронный потенциометр; 15 - разделительный трансформатор; 16 - диафрагма; 17 - объектив телескопа; 18 - термоприемник; 19 - стеклянная колба; 20 - медный кожух; 21 - цоколь; 22 - вторичный прибор; 23 - медные провода

Фотоэлектрические пирометры применяют для автоматического контроля так называемой яркостной температуры в пределах от 600 до 4000° С (например, прокатываемого металла).

Радиационные пирометры состоят из следующих основных частей: телескоп вторичного измерительного прибора и панели с катушками сопротивления. В зависимости от конструктивного выполнения телескопы, являющиеся первичным прибором (преобразователем), разделяются на рефлекторные и рефракторные. В пирометрах с рефлекторным телескопом поток излучения концентрируется на чувствительном элементе с помощью

сферического зеркала-рефлектора, а в пирометрах с рефракторным телескопом—с помощью двояковыпуклой стеклянной линзы объектива.

Рассмотрим принципиальную схему радиационного пирометра с рефракторным телескопом (рис. 1.3, б), получившего наиболее широкое применение. Объектив 17 телескопа направляют (визируют) на излучатель 5 (в данном случае — отверстия в кладке печи) так, чтобы поток лучей от него проходил через линзу 4 объектива и концентрировался на термодатчике 18 — чувствительном элементе телескопа. Термодатчик представляет собой термобатарейку, состоящую из десяти миниатюрных термоэлектрических термометров, соединенных последовательно для увеличения термо-ЭДС.

Линза окуляра 11 предназначена для правильной наводки (визирования) телескопа на нагретое тело, защитное стекло — для предохранения глаз наблюдателя, а диафрагма 16 — для подгонки напряжения на зажимах телескопа при его градуировке.

Телескоп применяют для измерения температуры нагретых тел в пределах от 400 до 2500°С. Оптическая система (линзы объектива и окуляра), чувствительный элемент (термобатарейка), диафрагма и защитное стекло помещены в литой цилиндрический корпус, снабженный штуцером для крепления телескопа.

Наиболее распространенным радиационным пирометром является пирометр РАПИР, основным элементом которого является телескоп ТЭРА-50 с термобатарейкой, преобразующей тепловое излучение нагретого тела в термо-ЭДС, измеряемую вторичным прибором (рис.1.4).

Кроме телескопа ТЭРА-50 в комплект пирометра РАПИР входят панель с катушками сопротивлений, защитная арматура ЗАРТ-53, один или два вторичных прибора (милливольтметры или потенциометры) и соединительные медные провода. Арматура ЗАРТ-53 защищает телескоп от возможных механических повреждений, загрязнений и главным образом от высокой температуры окружающей среды.

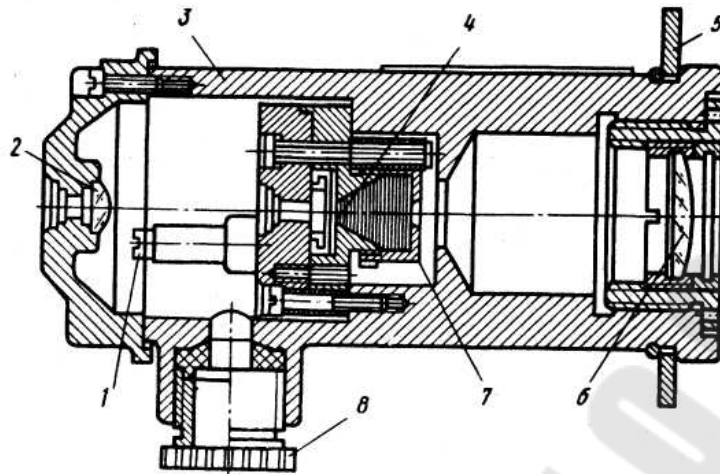


Рис. 1.4. Общий вид телескопа ТЭРА-50:

1 - зажимы для подключения измерительного прибора; 2 - линза окуляра; 3 - корпус телескопа; 4 - термобатарея; 5 - фланец; 6 - линза объектива; 7 - диафрагма; 8 - штуцер

При измерении радиационным пирометром температуры расплавленного металла применяют так называемые калильные трубы (защитные огнеупорные чехлы).

Агрегатный комплект стационарных пирометров АПИР-С (ГСП) относится к пирометрам полного и частичного излучения и предназначен для бесконтактного измерения и контроля радиационной температуры поверхностей от 100 до 2500°С.

Преобразователи этих пирометров работают в комплекте с вторичными измерительными преобразователями ПВ-0.

В комплект АПИР-С входит несколько первичных преобразователей, предназначенных для измерения различных температур.

Рассмотрим устройство и принцип действия одного из наиболее распространенных первичных преобразователей ППТ-121 (рис. 1.5) для измерения температуры полного излучения.

Он состоит из двух основных узлов: объектива, предназначенного для передачи энергии излучения от объекта измерения в приемное устройство, и приемного устройства, преобразующего энергию излучения в электрический сигнал термо-ЭДС. Объектив собран на кронштейне 1 и состоит из завальцованной в металлической втулке линзы 7 объектива, полевой диафрагмы 5, апертурной диафрагмы 6 и конденсора 3.

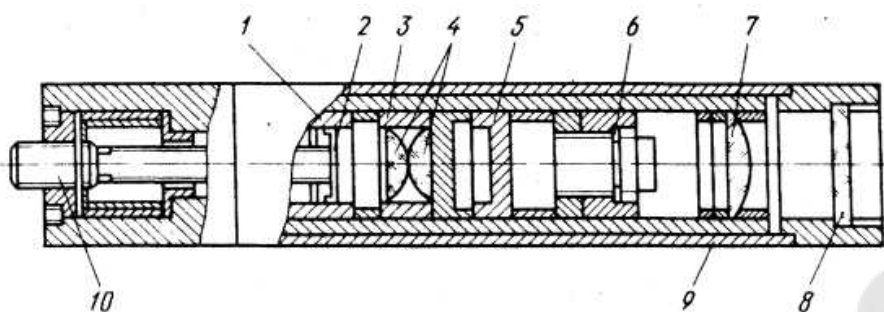


Рис. 1.5. Пирометрический преобразователь ППТ-121:

1 - кронштейн; 2 - приемный элемент (термобатарея); 3 - конденсор; 4 - конденсорные линзы; 5 - полевая диафрагма; 6 - апертурная диафрагма; 7 - линза объектива; 8 - защитное стекло; 9 - наружная труба; 10 - разъем

Линза служит для получения изображения объекта в плоскости полевой диафрагмы, которая укреплена на кронштейне с помощью винта. Конденсор, состоящий из втулки и двух одинаковых конденсорных линз 4, передает изображение от полевой диафрагмы в плоскость приемного элемента 2 приемного устройства.

Приемный элемент представляет собой термобатарею из миниатюрных фольговых хромель-копелевых термоэлектрических термометров (термопар), соединенных последовательно для увеличения термо-ЭДС.

Термо-ЭДС, развиваемая термобатареей, зависит от разности температур горячих спаев, нагреваемых сфокусированным излучением, и холодных спаев, имеющих хороший тепловой контакт через медную шайбу с корпусом преобразователя. Температура холодных спаев зависит от температуры окружающей среды и, в частности, от температуры корпуса преобразователя, в котором находится термобатарея.

Для настройки стандартной градуировочной характеристики термобатареи используют апертурную диафрагму 6, которую перемещают до подгонки градуировочной характеристики преобразователя до номинальной.

Наружную трубу 9 пирометра надевают на объектив и закрепляют крышкой со стеклом 8, предохраняющим объектив от загрязнения. Подключают преобразователь ППТ-121 в измерительную схему с помощью разъема 10.

Вторичный измерительный преобразователь ПВ-0 предназначен для усиления и преобразования в выходной сигнал ГСП напряжения

низкого уровня, поступающего от первичного пирометрического преобразователя полного излучения ППТ-121.

Сигнал низкого уровня, пропорциональный измеряемой температуре объекта, от первичного пирометрического преобразователя полного излучения ППТ поступает на вход преобразователя ПВ-0, где он преобразуется и усиливается до напряжения 0...2 В.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с датчиками и приборами стенда и внести в протокол их паспортные данные. Тип датчика указывается на головке датчика. В работе используются термометры сопротивления с $W100 = 1,3910$ и $W100 = 1,428$

2. Измерить с помощью термометра сопротивления (ТС) температуру окружающего воздуха. Рассчитать погрешность измерения температуры с учетом погрешности ТС и цифрового мультиметра (ЦМ).

3. Поместить ТС в термостат, включить нагрев и провести ряд измерений температуры. Рассчитать погрешность измерения температуры.

4. Поместить в нагретый термостат термопару (ТП), дождаться установившегося режима и провести измерение температуры. Выключить термостат и в течение его остывания провести ряд измерений температуры. Найти результаты с поправкой на температуру соединительного спая. Рассчитать погрешность измерения температуры с учетом погрешности ТП, погрешности измерения температуры соединительного спая ТП и погрешности ЦМ.

Таблица 1.1. – НСХ преобразователи типа ТХА. Температура соединительного спая – 0 °С

$t, ^\circ\text{C}$	$E_m, \text{мВ}$	$t, ^\circ\text{C}$	$E_m, \text{мВ}$	$t, ^\circ\text{C}$	$E_m, \text{мВ}$
0	0	50	2,022	100	4,095
5	0,198	55	2,229	105	4,302
10	0,397	60	2,436	110	4,508
15	0,597	65	2,643	115	4,714
20	0,798	70	2,850	120	4,919

25	1,000	75	3,058	125	5,124
30	1,203	80	3,266	130	5,327
35	1,407	85	3,473	135	5,531
40	1,611	90	3,681	140	5,733
45	1,817	95	3,888	145	5,936

Таблица 1.2. – НСХ преобразователя типа ТХК. Температура свободных концов – 0 °С

$t, ^\circ C$	$E_m, мВ$	$t, ^\circ C$	$E_m, мВ$	$t, ^\circ C$	$E_m, мВ$
0	0	50	3,299	100	6,842
5	0,318	55	3,643	105	7,208
10	0,638	60	3,989	110	7,576
15	0,961	65	4,338	115	7,946
20	1,287	70	4,689	120	8,318
25	1,616	75	5,042	125	8,693
30	1,947	80	5,398	130	9,069
35	2,282	85	5,756	135	9,446
40	2,618	90	6,116	140	9,826
45	2,957	95	6,478	145	10,208
50	3,299	100	6,842	150	10,591

Таблица 1.3.– НСХ преобразователя типа ТСМ

$t, ^\circ C$	W_t	$t, ^\circ C$	W_t	$t, ^\circ C$	W_t
0	1,0000	50	1,2140	100	1,4280
5	1,0214	55	1,2354	105	1,4922
10	1,0428	60	1,2568	110	1,4708
15	1,0642	65	1,2782	115	1,4922
20	1,0856	70	1,2996	120	1,5136
25	1,1070	75	1,3210	125	1,5350
30	1,1284	80	1,3424	130	1,5564
35	1,1498	85	1,3638	135	1,5777
40	1,1712	90	1,3852	140	1,5991
45	1,1926	95	1,4066	145	1,6205
50	1,2140	100	1,4280	150	1,6419

Таблица 1.4. – Отношения сопротивлений W_t для платиновых ТС с $W_{100} = 1,3910$

$t, ^\circ\text{C}$	W_t	$t, ^\circ\text{C}$	W_t
0	1,0000	80	1,3139
5	1,0198	85	1,3332
10	1,0396	90	1,3526
15	1,0594	95	1,3719
20	1,0792	100	1,3910
25	1,0989	105	1,4104
30	1,1186	110	1,4296
35	1,1343	115	1,4488
40	1,1579	120	1,4679
45	1,1775	125	1,4870
50	1,1971	130	1,5061
55	1,2166	135	1,5252
60	1,2361	140	1,5442
65	1,2556	145	1,5632
70	1,2751	150	1,5822
75	1,2945		

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Назовите принципы измерения температуры.
2. Какие из них применяются для автоматизации процесса измерения?
3. Что характеризует температура? Каковы основные принципы термометрии?
4. Опишите устройство жидкостных термометров? Каковы их достоинства и недостатки?
5. Каков принцип действия твердотельных термометров?
6. Как использовать термопары и терморезисторы для измерения температуры?
7. Принцип действия радиационного пирометра.
8. Необходимость применения бесконтактных методов измерения температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аббасов А.К. Устройство для измерения температуры // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика = 2002. - N5.-С.51.
2. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / под ред. А. А. Сазонова. - Москва : Изд-во стандартов, 1987. - 327 с.
3. Автоматизация литейного производства : учеб. пособие для вузов / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одиночко. - Минск : Новое знание, 2008. - 240с. : ил.
4. Теплотехнические измерения : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов / Г. А. Мурин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1979. - 424с.
5. Чистяков В.С. Справочник по теплотехническим измерениям. М. :Энергоатомиздат, 1990.- 320 с.

Лабораторная работа №2 Датчики расхода материала.

Цель работы: ознакомление с устройством и работой приборов и их применением в промышленных условиях.

Теоретическая часть.

В промышленности учет расхода жидкостей, пара и газа ведут с помощью двух групп приборов: расходомеров, измеряющих расход вещества, т. е. его количество, протекающее по трубопроводу в единицу времени, и счетчиков количества, измеряющих суммарный объем или массу вещества, протекающего по трубопроводу.

Часть расходомеров оборудована счетными устройствами, служащими как для измерения расхода, так и для определения суммарного расхода за определенный промежуток времени. Наиболее широко применяют расходомеры переменного и постоянного перепада. Расход вязких жидкостей, например мазута, измеряют ультразвуковыми расходомерами. Однако они сложны и дороги, поэтому их применяют сравнительно редко (в данной книге они не рассматриваются). Расходомеры, основанные на других принципах действия, пока еще не получили широкого распространения.

1. Расходомеры переменного перепада.

Принцип действия расходомеров переменного перепада основан на измерении давления по перепаду, который создается в трубопроводе установленным внутри него сужающим устройством. В суженном сечении увеличиваются скорость, а следовательно, и кинетическая энергия потока, что вызывает уменьшения его потенциальной энергии. Соответственно статическое давление потока после сужающего устройства будет меньше, чем перед ним. Разность между статическими давлениями потока, взятыми на некоторых расстояниях до и после сужающего устройства, называют *перепадом давления*.

Простейшая схема измерения расхода по методу переменного перепада давления (рис. 2.1) включает в себя сужающее устройство (диафрагму) 2, установленное в трубопроводе 1, соединительные трубки 3 для отбора давления до сужающего устройства и после него и передачи этого давления к U-образному манометру 4.

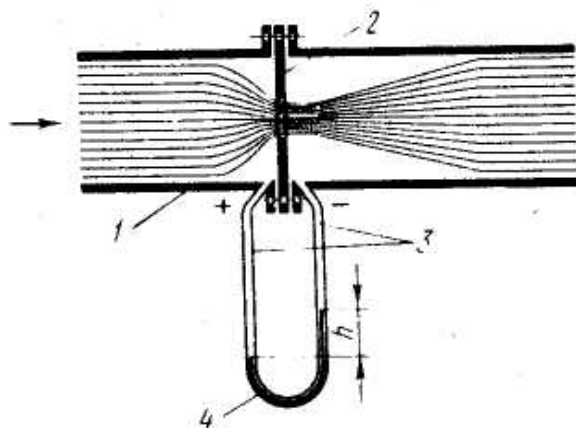


Рис. 2.1. Принципиальная схема измерения расхода по методу переменного перепада давления: 1 - трубопровод; 2 - сужающее устройство (диафрагма); 3 - соединительные трубки; 4 - U-образный манометр

Перепад давления p будет тем больше, чем больше скорость потока, т. е. чем больше расход. Следовательно, перепад давления на сужающем устройстве является мерой расхода жидкости, газа или пара, протекающих через трубопровод.

К достоинствам расходомеров переменного перепада относится возможность использования их при различных температурах и давлениях измеряемой среды, а к недостаткам — потеря давления потока и относительная трудность промышленного применения расходомеров при малых расходах.

Для измерения расхода по методу переменного перепада давления в качестве сужающих устройств применяют стандартные диафрагмы и сопла, изготовленные в соответствии с требованиями специальных правил.

В качестве стандартных сужающих устройств используются:

- трубки Вентури;
- трубки Пито;
- расходомерные сопла;
- диафрагмы.

Наиболее часто в качестве сужающего устройства используются диафрагмы.

Расходомерная диафрагма представляет собой диск с отверстием. Диафрагмы бывают бескамерные и камерные. *Бескамерная диафрагма 2* (ГОСТ 26969—86) представляет собой

стальной диск, имеющий концентрическое (симметричное оси) отверстие с острой кромкой со стороны входа потока и коническую часть со стороны выхода. Толщина диска не должна превышать 0,05 внутреннего диаметра трубопровода. Бескамерные диафрагмы применяют в трубопроводах диаметром более 400 мм. Отбор давления производится непосредственно перед диафрагмой и после нее по ходу потока в трубопроводе. При этом отборное устройство, установленное перед диафрагмой, обозначают знаком «+», а расположенное за диафрагмой — знаком «—».

Камерная диафрагма (рис. 2.2) состоит из диска 1 и двух кольцевых камер 2 и 3 для отбора давления до диафрагмы и после нее. Камеры соединяются с внутренним пространством трубопровода через кольцеобразные щели А и Б, расположенные непосредственно у торцевой поверхности диафрагмы. Таким образом, отбор давления в камерных диафрагмах производится по периметру трубопровода для измерения среднего давления в трубопроводе. К камерам присоединяют трубки 5 и 6, передающие перепад давления от диафрагм к дифманометру.

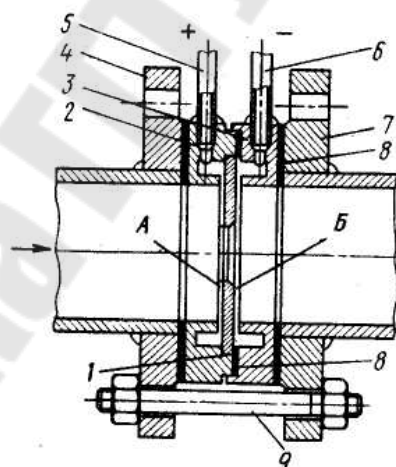


Рис. 2.2. Камерная диафрагма: 1 - диск; 2, 3 - кольцевые камеры; 4, 7 - фланцы; 5, 6 - соединительные трубки; 8 - прокладки; 9 - болты

Камерные диафрагмы применяют в трубопроводах с внутренним диаметром от 50 до 400 мм. Диафрагму и кольцевые камеры изготовляют из материалов, устойчивых к длительным воздействиям измеряемой среды. Чаще всего диск делают из нержавеющей, а камеры—из углеродистой стали. К качеству механической обработки поверхностей камерных диафрагм и других

сужающих устройств предъявляют повышенные требования. Отверстие диска со стороны входа потока цилиндрическое на длине по оси не более $0,02$ внутреннего диаметра трубопровода, а далее расточено на конус под углом 45° у выхода потока. Кромка отверстия диска у входа потока острая, без закруглений, вмятин и заусенцев. Угол между торцевой поверхностью диафрагмы и цилиндрической частью отверстия 90° .

Камерные диафрагмы устанавливают на прямолинейных участках трубопроводов между двумя фланцами 4 и 7, стягиваемыми болтами 9. Для уплотнения соединения между фланцами и кольцевыми камерами, а также между камерами и диском ставят прокладки 8. Материал для прокладок выбирают в зависимости от химических свойств и давления измеряемой среды.

Расходомерное сопло (рис. 2.3) состоит из плавно сужающейся части на входе и цилиндрической — на выходе.

Кромка цилиндрической части острая, без фасок, закруглений и заусенцев. Очертание профильного отверстия сопла подобно очертанию струи при входе ее в сужающее устройство, поэтому в нем образуется значительно меньше завихрений, приводящих к безвозвратной потере давления потока, чем в диафрагме. Кроме того, сопла более стойки к истиранию и менее подвержены загрязнению. Но из-за сложности изготовления их применяют редко.

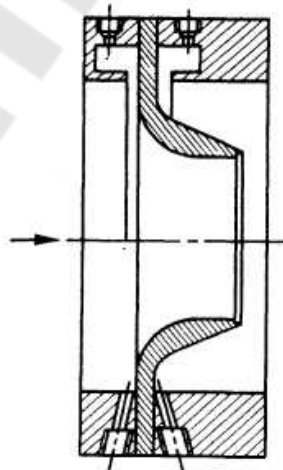


Рис. 2.3. Расходомерное сопло

Давление отбирают до начала сужения потока и в начале цилиндрической части сопла. На рисунке показаны два варианта отбора давления через кольцевые камеры (вверху) и через отдельные отверстия непосредственно у сужающего устройства (внизу).

Достоинства метода переменного перепада давления

1. Универсальность. Данный метод применяется для измерения расход практически любых сред: жидкостей, газа, пара. Для вязких жидкостей применяются сужающие устройства специальной формы.
2. Низкая первоначальная стоимость. Стоимость расходомера, основанного на методе переменного перепада давления, складывается, исходя из стоимости сужающего устройства, импульсных линий и датчика дифференциального давления.
3. Беспроливная методика поверки. Для периодической поверки расходомеров на СУ требуется измерить геометрические размеры сужающего устройства и поверить датчик дифференциального давления.
4. Отсутствие движущихся частей.
5. Измерение расхода в условиях высокого давления. Давление в трубопроводе может достигать 40МПа.
6. Измерение расхода в условиях высоких и низких температур. Диапазон температуры измеряемой среды лежит в пределах от -200 до +1000°С.
7. Широкий диапазон типоразмеров. Метод переменного перепада давления используется как на трубопроводах с малым диаметром условного прохода ($D_u = 15$ мм), так и на больших трубопроводах ($D_u = 2000$ мм).

Недостатки метода переменного перепада давления

1. Узкий динамический диапазон. Стандартный динамический диапазон сужающих устройств приблизительно 1:3. Такое ограничение связано, в первую очередь, с квадратичной зависимостью между расходом и перепадом давления на СУ. Использование высокоточных датчиков дифференциального давления позволяет увеличить динамический диапазон.
2. Высокая стоимость эксплуатации. Расходомеры на сужающих устройствах требуют периодического обслуживания: измерение геометрических размеров сужающего устройства, прочистка импульсных линий, прогрев импульсных линий, установка нуля на датчике дифференциального давления.
3. Небольшой межповерочный интервал. Стандартный межповерочный интервал расходомера на СУ составляет – 1 год.
4. Низкая точность измерений. Погрешность измерений обычно менее 3,0-3,5 %.

2. Вихревые расходомеры.

При определенных условиях движения потока среды, часть кинетической энергии потока может преобразовываться в пульсации (завихрения). Частота следования этих пульсаций пропорциональна скорости потока.

Общие характеристики для большей части вихревых расходомеров:

1. Стандартный выходной частотный сигнал.
2. Широкий динамический диапазон (от 1:10 до 1:40).
3. Достаточно высокая точность измерений.
4. Независимость точности измерения расхода от изменений температуры, давления и плотности измеряемой среды.
5. Высокая повторяемость и стабильность показаний.
6. Простота конструкции, легкость в монтаже, низкая стоимость обслуживания.
7. Универсальность принципа – измерение жидкостей, газа и пара.

Существует несколько основных типов вихревых расходомеров, отличающихся по способу образования вихрей. Наиболее распространенный тип, у которого поперек потока измеряемой среды установлено плохообтекаемое тело (тело обтекания, вихревое тело, вихреобразователь), за которым поочередно с разных сторон образуются вихри.

Принцип действия. При обтекания потоком неподвижного препятствия (тела обтекания) образуются вихри. Образование вихрей и их отрыв от тела обтекания происходит поочередно с разных его сторон.

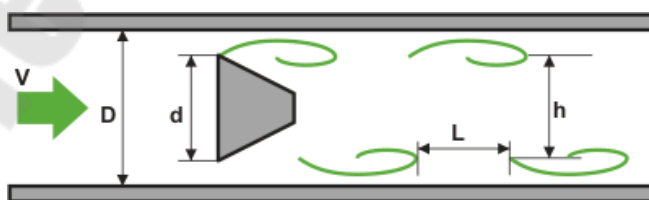


Рис. 2.4. Принцип работы вихревых расходомеров

Развитие вихря с одной стороны препятствует его образованию с противоположной стороны. За телом обтекания образуется двойная дорожка из вихрей, называемая «дорожкой Кармана».

Частота вихреобразования (частота отрыва вихрей) пропорциональна скорости потока, а значит и расходу. Зависимость между частотой вихреобразования и скоростью (расходом) определяется критерием Струхала:

$$St = \frac{f \cdot d}{W}$$

где f – частота вихреобразования, d – характерный размер тела обтекания, W – средняя скорость потока.

Конструкция вихревых расходомеров. В общем виде, вихревой расходомер состоит из двух частей: первичного преобразователя и вторичного преобразователя (электронного блока или конвертера).

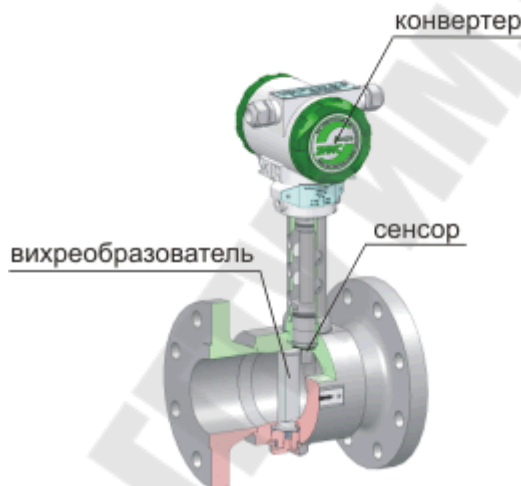


Рис.2.5. Общие элементы конструкции вихревых расходомеров

Первичный преобразователь включает в себя вихреобразователь (тело обтекания) и устройство детектирования вихрей (сенсор). Электронный блок состоит из фильтра, усилителя, АЦП и схемы выходных сигналов. С развитием микропроцессорной электроники появились интеллектуальные вихревые расходомеры, в которых сигнал с АЦП проходит обработку. Помимо улучшения точности измерения и сведения к минимуму влияний факторов температуры, давления, нелинейности К-фактора, неравномерности потока и др., появилась возможность использования цифровой коммуникации и добавления дополнительной функциональности (например, функции вычислителя-счетчика) в расходомере.

Вихреобразователь или вихревое тело – это один из главных компонентов первичного преобразователя, во многом определяющий метрологические характеристики расходомера (линейность и

повторяемость, пределы измерения) и потери давления. В целом, при выборе оптимального вихреобразователя, производители расходомеров руководствуются следующими требованиями:

1. вихри не должны пересекаться для их однозначного детектирования;
2. генерация вихрей должна быть стабильна (постоянство числа Струхале) в широком диапазоне чисел Рейнольдса;
3. вихри должны быть достаточно сильными для детектирования, должно быть высокое соотношение сигнал-шум;
4. форма и структура тела обтекания должна быть достаточно простой и технологичной;
5. геометрия и материал исполнения тела обтекания должны исключать влияние коррозии и температуры на метрологические характеристики прибора;
6. спектр частот вихрей как жидкостей так и газов не должен перекрываться со спектром естественных и промышленных частот (вибрация трубопровода, частота самовозбуждения сенсора и др.).

Существует достаточно большое число разновидностей вихреобразователей, которые можно разделить на две группы: состоящие из одной части и состоящие из двух и более частей.

Наиболее распространенными являются вихревые тела, состоящие из одной части, такие, как цилиндрическое, прямоугольное, треугольное и трапециевидное тела.

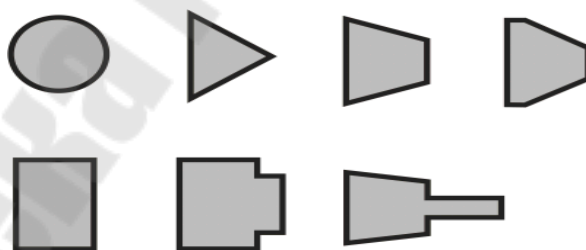


Рис.2.6. Простые тела обтекания

Некоторые производители используют более сложные многосоставные тела обтекания.

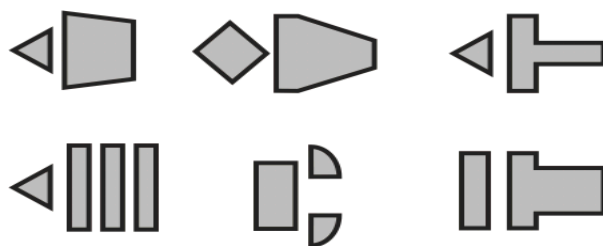


Рис.2.7. Сложные составные тела обтекания

Методы детектирования вихрей, получивших наибольшее распространение:

1. Детектирование пульсации вихрей (вихревые расходомеры пульсаций давления и вихревые расходомеры изгибных напряжений).

2. Детектирование вихрей с помощью изменения электрической емкости чувствительного элемента (вихревые емкостные расходомеры).

3. Детектирование вихрей с помощью ультразвуковых волн (вихреакустические расходомеры).

4. Терморезистивный и термоанемометрический метод детектирования (термальные вихревые расходомеры).

5. Электромагнитное детектирование вихрей (вихревые электромагнитные расходомеры).

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Лабораторная установка (рис. 2.8) состоит из крыльчатого счетчика 1, ротаметра РС-3 с утяжеленным поплавком 2, трубки Вентури 3 соединенной с жидкостным дифманометром 4. Расходомеры установлены на стальной трубе 7, которая присоединена к питателю воды 6. На трубе имеются вентили 8 и 12 для регулирования расхода воды. Количество прошедшей через расходомеры воды, определяется с помощью мерного бака 5. Время необходимое для нахождения расхода определяется секундомером.

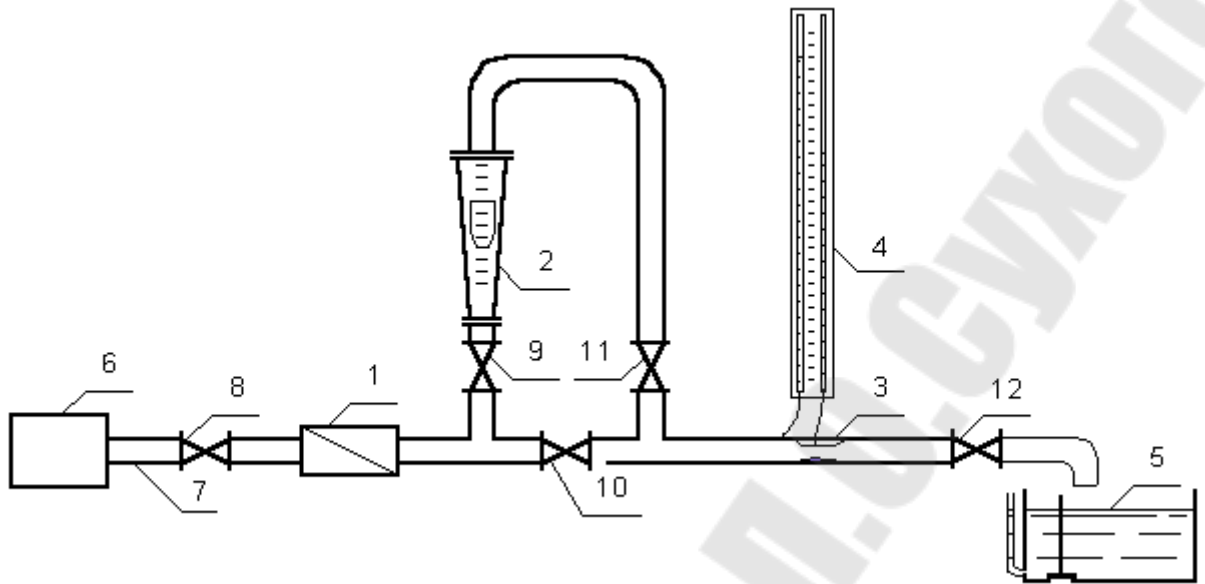


Рис. 2.8. – Схема лабораторной установки

1. Открыть вентили 8, 9 и с помощью вентиля 11, 12 установить расход, при котором наблюдается медленное, непрерывное вращение звездочки крыльчатого счетчика 1 и обеспечивается минимальный (до 2 мм) перепад уровней в пьезометрах жидкостного дифманометра 4.

2. Определить объем воды $W_{\text{МБ}}$, поступившей в мерный бак 5 за время опыта T . Время проведения опыта не менее одной минуты.

3. Определить объем воды $W_{\text{С}}$, прошедшей через счетчик за время проведения опыта T .

4. Определить показания пьезометров Π_1 и Π_2

5. По верхней кромке поплавка определить среднее показание ротаметра 2 за время проведения опыта.

6. С помощью вентиля 11 и 12 изменить расход воды и измерения повторить

Обработка результатов

1. Определить расход воды в трубопроводе по показанию мерного бака

$$Q_{\text{МБ}} = W_{\text{МБ}}/T$$

2. Определить расход воды проходящей через счетчик, по показанию счетчика

$$Q_{\text{С}} = W_{\text{С}}/T$$

3. Определить относительную погрешность измерения расхода скоростным счетчиком

$$\delta = \frac{Q_{\text{МБ}} - Q_{\text{С}}}{Q_{\text{МБ}}} \cdot 100 (\%)$$

4. Определить потери пьезометрического напора на трубке Вентури

$$\Delta h = P_1 - P_2$$

5. Вычислить значение коэффициента расхода А для каждого расхода

$$A = \frac{Q_{\text{МБ}}}{\sqrt{\Delta h}}$$

6. Определить среднее значение коэффициента расхода

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{i=N} A_i}{N}$$

7. Найти значения расхода для построения тарировочного графика

$$Q_{\text{T}} = A_{\text{ср}} \cdot \sqrt{\Delta h}$$

8. Экспериментальные данные и полученные результаты обработки занести в табл. 2/1.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные и результаты обработки

№	Мерный бак				Скоростной счетчик				Трубка Вентури					Ротаметр	
	Δh , см	W, л	T, с	$Q_{\text{МБ}}$, л/с	$W_{\text{С}}$, л	T, с	$Q_{\text{С}}$, л/с	d, %	P_1 , см	P_2 , см	Δh , см	A	$A_{\text{ср}}$	Q_{T} , л/с	n
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1															
:															
N															

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите принципы измерения давления, перепада и вакуума.
2. Как измеряют расход и количество?

3. Назовите принципы измерения уровня.
4. Каков принцип действия расходомера переменного перепада давления на сужающем устройстве?
5. Покажите распределение статического давления при установке в трубопроводе диафрагмы, сопла и сопла Вентури.
6. Каковы назначения, устройство и принцип действия автоматического потенциометра (любого)?
7. Приведите принципиальную схему потенциометра.
8. Классификация приборов для измерения расхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович, Р. Ч. Приборы учета расхода и количества жидкости. Требования законодательства к установке и эксплуатации водосчетчиков / Р. Ч. Абрамович // Энергосбережение. Практикум. - 2013. — № 2. — С. 11—18.
2. Андронов И.В. Измерение расхода жидкостей и газов. - М. : Энергоиздат, 1981. - 85с.
3. Башутин Ю.П. Новая эра в измерении расхода по перепаду давления // Приборы и системы управления = 1998 . - N5.-С.54-56.
4. Белодворский Ю.М. Практическое пособие по учету расхода газа. - 2-е изд.,испр.. - М. : Стройиздат, 1971. - 256с.
5. Ганевский, Г. М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении : учебник / Г. М. Ганевский, И. И. Гольдин. - Изд. 3-е, стер.. - Москва : Высшая школа : Академия, 1998. - 288 с.
6. Киясбейли А.Ш. Первичные преобразователи систем измерения расхода и количества жидкостей / А. Ш. Киясбейли, Л. М. Лифшин. - Москва : Энергия, 1980. – 381 с.

Лабораторная работа №3 Датчики давления газов и жидкостей.

Цель работы: ознакомление с устройством и работой приборов и их применением в промышленных условиях.

Теоретическая часть.

Все тела, находящиеся на земной поверхности, испытывают со всех сторон одинаковое давление атмосферы, окружающей земной шар. Это давление называется атмосферным. Кроме того, различают абсолютное $p_{\text{абс}}$, избыточное $p_{\text{изб}}$ давления и вакуум $p_{\text{вак}}$. *Абсолютным* называют полное давление с учетом давления атмосферы, отсчитываемое от абсолютного нуля. Избыточным называют давление сверх атмосферного, равное разности между абсолютным и атмосферным давлением $p_{\text{изб}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{от}}$. Избыточное давление отсчитывается от условного нуля, за который принимается атмосферное давление.

Если из закрытого сосуда откачать часть воздуха, то абсолютное давление внутри сосуда понизится и станет меньшим, чем атмосферное. Такое давление внутри сосуда называют вакуумом. Вакуум равен разности между атмосферным и абсолютным давлениями.

Для измерения избыточного давления газа, пара и жидкости применяют манометры; небольших давлений и вакуума — напоромеры и тягомеры; вакуума — вакуумметры; давления и вакуума — тягонапоромеры и мановакуумметры.

Манометры, вакуумметры и мановакуумметры изготовляют по ГОСТ 2405—J8, а напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры — по техническим условиям предприятий-изготовителей.

Манометры. По принципу действия их подразделяют на жидкостные (трубные), пружинные, мембранные, сильфонные, пьезоэлектрические, поршневые и проволочные (тензоманометры).

1. Жидкостные манометры

Принцип действия жидкостных манометров основан на уравнивании измеряемой величины высотой столба рабочей жидкости. В качестве рабочей жидкости, в зависимости от величины

измеряемого избыточного давления или разряжения, а также от химических свойств измеряемого вещества, применяются: вода, спирт, ртуть, минеральные масла небольшой вязкости

Простота конструкции и надежность гидростатического метода, лежащего в основе работы этих приборов, а также достаточно высокая точность – причины их широкого применения, как для лабораторных, так и для технических измерений небольших избыточных давлений, разрежений, разности двух давлений, атмосферного давления. Образцовые жидкостные приборы служат для поверки некоторых типов манометров, вакуумметров, тягомеров, напорометров, барометров, дифференциальных манометров.

В жидкостных манометрах измеряемое давление уравнивается давлением столба жидкости.

Простейшие жидкостные манометры состоят из U-образной стеклянной трубки и прямолинейной шкалы с равномерными делениями.

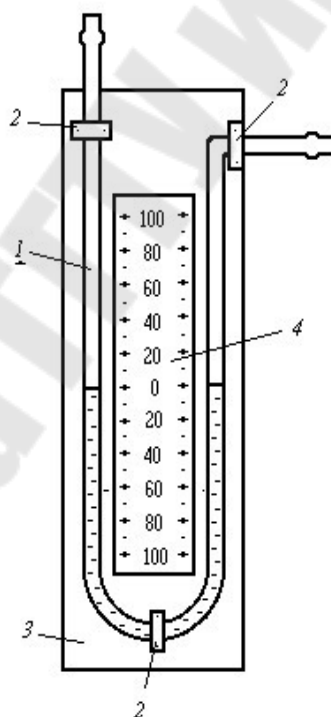


Рис. 3.1. Схема U-образного манометра

1 – U-образная стеклянная трубка; 2 – фиксирующие скобы; 3 – основание манометра (доска); 4 – шкала измерения.

Наиболее распространённым и самым простым по устройству является U-образный прибор (рис. 3.1). Он состоит из изогнутой в виде буквы U стеклянной трубки 1, примерно до половины

заполненной рабочей жидкостью. С помощью скобок 2 трубка прикреплена к доске 3, между ветвями трубки размещена шкала 4. Когда давления P_1 и P_2 равны, уровни жидкости в левой и правой ветвях U-образной трубки находятся против нулевой отметки шкалы. При неравенстве давлений, например, $P_1 > P_2$, уровень в левой ветви опустится, а в правой - поднимется.

Принцип действия

При подводе давления к одному концу трубки жидкость перетекает и сквозь стекло видна разница в уровнях жидкости. Разность уровней, выраженная в миллиметрах, дает значение измеряемого давления.

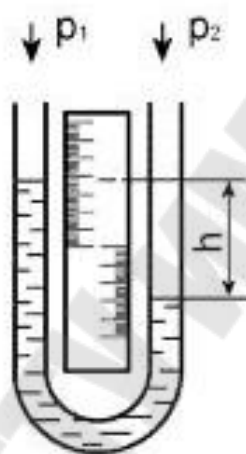


Рис. 3.2. Схема измерения давления U-образным манометром.

Если в трубку налита ртуть, величина давления выразится в миллиметрах ртутного столба. При заполнении трубки водой давление будет измеряться в миллиметрах водяного столба. В случае заполнения трубки другими жидкостями необходимо производить пересчет по удельному весу жидкости. Так, например, для пересчета на миллиметры водяного столба нужно показания манометра с данной жидкостью умножить на удельный вес жидкости, при пересчете на миллиметры ртутного столба - умножить на удельный вес данной жидкости и разделить на удельный вес ртути 13,6.

Разница в диаметрах левой и правой частей трубки не влияет на результат измерения. Не обязательно также заполнять трубку жидкостью до уровня, точно совпадающего с нулевой отметкой на шкале, так как при отсчете показаний учитывается только разность уровней по количеству делений шкалы. Когда уровни жидкости в обеих частях располагаются с разных сторон по высоте от нулевой отметки, показание прибора равно сумме делений.

Жидкостные манометры с непосредственным отсчетом столба жидкости просты по конструкции, достаточно точны и имеют стабильные показания. Однако они могут быть использованы для измерения давления и разрежения в небольших пределах, так как при увеличении пределов измерения соответственно растут габаритные размеры приборов. Кроме того, эти приборы обладают недостаточной механической прочностью из-за наличия стеклянных трубок.

2. Деформационные манометры

В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается силами упругого противодействия различных чувствительных элементов, деформация которых, пропорциональная измеряемому параметру, через рычаги передается на стрелку или перо прибора. При снятии давления чувствительный элемент возвращается в первоначальное положение под воздействием упругой деформации. Деформационные манометры нашли широкое применение в промышленности, что обусловлено простотой и надежностью конструкции, наглядностью показаний, малыми габаритами, высокой точностью и широкими пределами измерения.

В качестве измерительных элементов деформационных манометров и измерительных преобразователей давления, разрежения и перепада давлений используют одновитковую трубчатую пружину (рис. 3.3а), сильфон (рис. 3.3б), мембранную коробку (рис. 3.3в), многовитковую трубчатую пружину (рис. 3.3г), вялую мембрану (рис. 3.3д), жесткую мембрану (рис. 3.3е).

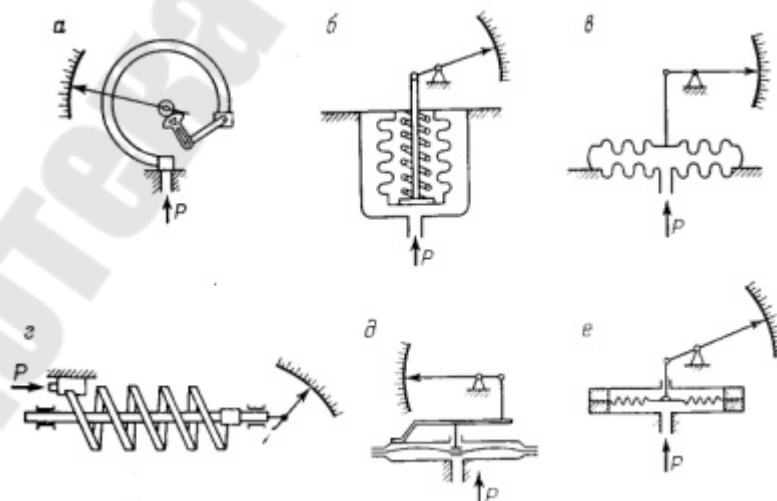


Рис. 3.3. Типы пружинных устройств

В трубчатопружинном манометре с одновитковой трубчатой

пружиной (рис. 3.4), получившем наибольшее распространение, чувствительным элементом является трубчатая пружина 2, представляющая собой полу трубку овального или эллиптического сечения, согнутую по дуге окружности на $180\text{--}270^\circ$. Маленькая ось эллипса трубки расположена параллельно, а большая – перпендикулярно плоскости чертежа. Один конец трубчатой пружины жестко соединен с держателем 1, укрепленным винтами в круглом корпусе 3 манометра. Держатель имеет резьбовой ниппель, предназначенный для крепления прибора на трубопроводе или аппарате, в котором измеряется давление. Свободный конец пружины поводком связан с передаточным механизмом 7, состоящим из зубчатого сектора и сцепленной с ним шестеренки, на ось которой насажена стрелка 4.

Для устранения мертвого хода стрелки, вызванного люфтами в соединениях, передаточный механизм снабжен упругим спиральным волоском 5. Внутренний конец волоска крепится на оси стрелки, а внешний – на неподвижной плате механизма. Волосок постоянно прижимает шестеренки со стрелкой в направлении, противоположном перемещению звеньев механизма под действием давления, что устраняет влияние люфтов в соединениях, и стрелка прибора начинает двигаться одновременно с отклонением чувствительного элемента.

Под действием давления среды, сообщающийся с внутренней полостью трубчатой пружины, последняя несколько распрямляется, свободный конец перемещается и тянет за собой поводок, который через передаточный механизм вызывает перемещение стрелки по шкале прибора. Раскручивание трубчатой пружины, согнутой по дуге окружности, обусловлено тем, что при подаче давления ее эллиптическое сечение стремится перейти в круглое. При этом малая ось эллипса, расположенная в плоскости чертежа, увеличивается, и волокна пружины, находящиеся на радиусе r_1 , переходят на больший радиус r_1' , а волокна, находящиеся на радиусе r_2 , переходят на меньший радиус r_2' . Так как длина трубчатой пружины остается неизменной, а один конец ее жестко заделан в держателе, в пружине возникают внутренние напряжения, приводящие к ее раскручиванию и перемещению свободного конца. Последний и, следовательно, стрелка прибора перемещаются пропорционально изменению измеряемого давления, поэтому манометр имеет равномерную шкалу.

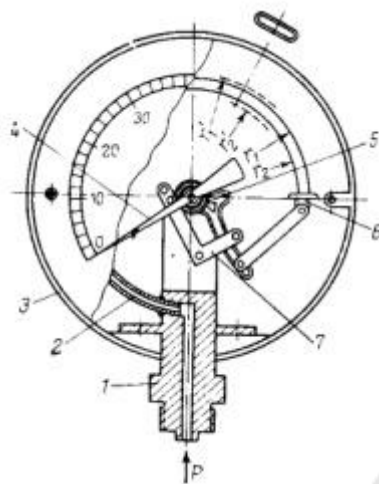


Рис. 3.4. Схема манометра с одновитковой трубчатой пружиной

3. Пьезоэлектрические манометры

Манометр САПФИР-22ДИ (рис. 3.5) для измерения избыточного давления состоит из измерительного блока 4 и унифицированного электронного устройства 5. Внутри основания 2 блока 4 размещен мембранный тензопреобразователь 7, полость 8 которого заполнена кремнийорганической жидкостью и отделена от измеряемой среды металлической гофрированной мембраной 10. Мембрана приварена по наружному контуру к основанию 2.

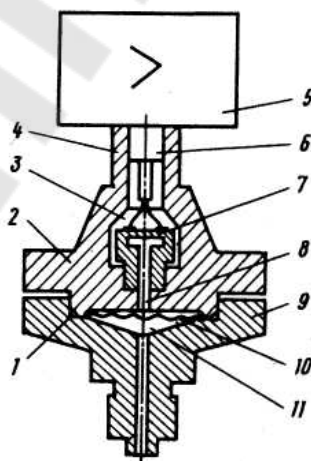


Рис. 3.5. Мембранный манометр САПФИР-22ДИ: 1 - прокладка; 2 - основание; 3 - полость; 4 - измерительный блок; 5 - электронное устройство; 6 - гермовывод; 7 - мембранный тензопреобразователь; 8 - полость тензопреобразователя; 9 - фланец; 10 - мембрана; 11 - камера

Чувствительным элементом тензопреобразователя является пластина из монокристаллического сапфира с кремниевыми

пленочными тензорезисторами, прочно соединенная с мембраной 10. Основное свойство тензорезисторов — способность изменять свое электрическое сопротивление в зависимости от степени прогиба мембраны тензопреобразователя.

Измеряемая величина (давление среды в технологическом аппарате или трубопроводе) подается в камеру 11 фланца 9 измерительного блока и через жидкость, заполняющую тензопреобразователь, воздействует на мембрану, вызывая ее прогиб и изменение электрического сопротивления тензорезисторов.

Электрический сигнал от тензопреобразователя передается из измерительного блока в электронное устройство 5 по проводам через вывод 6. Электронное устройство преобразует этот сигнал в токовый выходной сигнал манометра, значение которого зависит от измеряемого давления.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ.

Оборудование: две стеклянные трубки (одна из них с пробкой), соединённые шлангом, штатив, вода, линейки демонстрационная (± 5 мм) и ученическая (± 1 мм).

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Установить равенство уровней воды в трубках 1 и 2. Измерить линейкой длину воздушного столба (l) (см. рис. 3.6, а).
3. Поднять трубку 2 на большую высоту. Измерить разницу высот уровней воды в трубках (h) и измерить высоту воздушного столба в трубке 1 ($l-l_1$).
4. Прodelать пункт 3 при разных высотах. Далее опустить трубку ниже уровня воды в трубке 1 и измерить высоту столба в трубке 1 ($l+l_1$) (см. рис. 3.6, б).
5. Занести все измерения в таблицу.
6. Используя полученные результаты измерений $l+l_1$, $l-l_1$ и h вычислить атмосферное давление воздуха (p). Сравнить полученные результаты с показаниями барометра (p_0).
7. Построить график, вычислить погрешности измерений, сделать вывод.

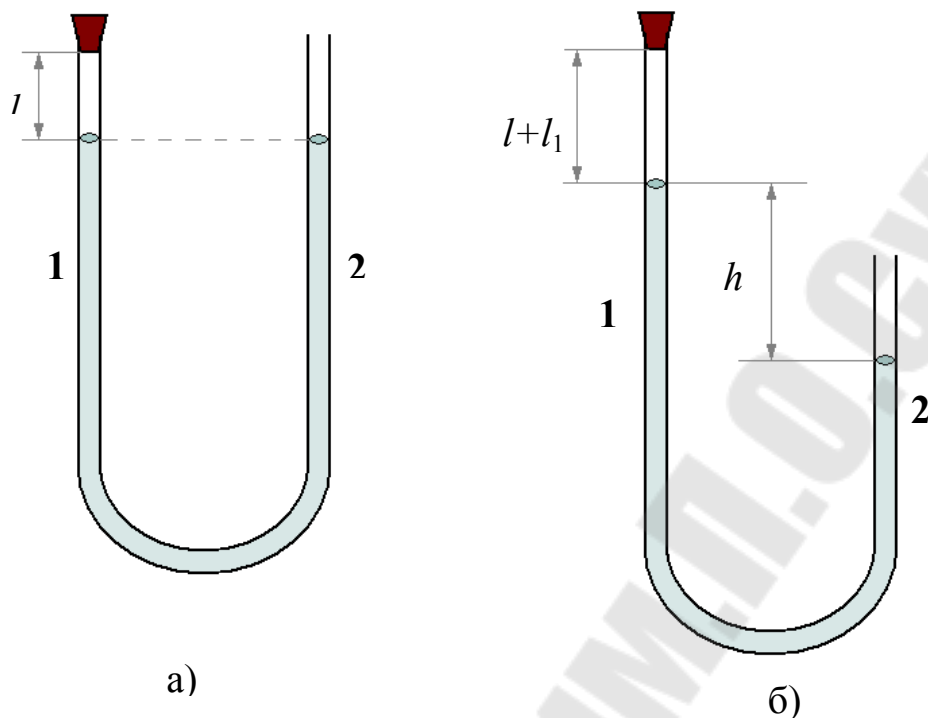


Рис. 3.6 – Схема лабораторной установки

При проведении замеров и расчетах принимаем: $l = 0.31 \text{ м}$,
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$

Формулы для расчетов:

Если уровень воды в трубке 1 **больше**, чем в трубке 2:

$$pV = (p - \Delta p)(V + V_1)$$

$$p = \frac{\Delta p(V + V_1)}{V_1}$$

$$p = \frac{\rho gh(l + l_1)}{l_1}$$

$$l_1 = (l + l_1) - l$$

Если уровень воды в трубке 1 **меньше**, чем в трубке 2:

$$pV = (p + \Delta p)(V - V_1)$$

$$p = \frac{\Delta p(V - V_1)}{V_1}$$

$$p = \frac{\rho gh(l - l_1)}{l_1}$$

$$l_1 = l - (l - l_1)$$

Экспериментальные данные и полученные результаты обработки занести в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Экспериментальные данные и результаты обработки

№	$l+l_1, м$	$l-l_1, м$	$l_1, м$	$h, м$	$p, Па$	$p_0, Па$
1						10^5 (756 мм. рт. ст.)
2						
3						
4						
5						
6						

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется избыточным (манометрическим) давлением, как оно выражается через абсолютное?
2. Что называется вакууметрическим давлением, как оно выражается через абсолютное?
3. Перечислите наиболее распространенные единицы измерения давления и укажите какая связь существует между ними.
4. Какие принципы действия приборов для измерения давления вам известны?
5. В чем заключается принцип действия жидкостных приборов? Их достоинства и недостатки.
6. Какие из них применяются для автоматизации процесса измерения?
7. Назовите принципы измерения давления, перепада и вакуума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / под ред. А. А. Сазонова. - Москва : Изд-во стандартов, 1987. - 327 с.
2. Автоматизация литейного производства : учеб. пособие для вузов / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одиночко. - Минск : Новое знание, 2008. - 240с. : ил.
3. Теплотехнические измерения : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов / Г. А. Мурин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1979. - 424с.

Лабораторная работа №4 Датчики уровня жидких и сыпучих материалов.

Цель работы: ознакомление с устройством и работой датчиков уровня и их применением в промышленных условиях.

Теоретическая часть.

Датчики уровня являются современными элементами автоматики и предназначены для применения в системах управления, контролирующими наполнение и поддержание уровней в резервуарах с различными жидкостями, сыпучими веществами, газом.

Датчики уровня можно разделить по назначению на: датчики уровня жидкости (датчики уровня воды) и для сыпучих веществ.

Датчики уровня воды предназначены для контроля уровня жидкостей в различных резервуарах. В зависимости от типа приложения, где используется датчик уровня жидкости, применяются контактный или бесконтактный метод измерений. При контактном измерении (датчики поплавкового типа) датчик уровня воды располагается непосредственно на стенке резервуара и переключает контакты при достижении водой уровня его размещения.

Датчики уровня для сыпучих материалов предназначены для контроля предельного уровня пыли в бункере (емкости). Датчик уровня для сыпучих материалов устанавливается непосредственно на стенку бункера. Как только уровень пыли достигает пластины, установленной на валу, вращение вала прекращается и выдается сигнал о достижении заданного уровня.

По принципу измерения уровня датчики уровня делятся на: поплавковые (мини, одноуровневые, многоуровневые, гибкие), лопастные, вибрационные, емкостные, сквозные, давления, потока, оптические, датчики скорости вращения, ультразвуковые и т.д.

Преимущества датчиков уровня:

Ультразвуковые датчики уровня позволяют контролировать уровень жидкостей и сыпучих материалов без контакта со средой при глубине резервуара до нескольких десятков метров.

Поплавковые датчики для контроля фиксированных уровней жидкости не требуют дополнительного питания и обеспечивают высокую надежность при низкой стоимости.

Емкостные датчики позволяют контролировать уровень

непрерывно или в фиксированных точках. Можно использовать для жидкостей и сыпучих материалов. В некоторых случаях измерение уровня может вестись через стенку емкости.

Вибрационным сигнализаторам уровня не страшны сыпучие вещества, липкие и пастообразные продукты.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.

Радарные уровнемеры применяются для измерения уровня не только жидких, но и сыпучих материалов. Уровеньмеры измеряют уровень цемента, гипса, песка, щебня, угля, угольной пыли, технического углерода (сажи), полипропилена, руды, компонентов минеральных удобрений, апатита, зерна, комбикорма и т.д.

Основное преимущество радарных уровнемеров это высочайшая чувствительность и избирательность, т.е. способность стабильно работать в условиях слабых отражений и нечувствительность к ложным эхо-сигналам.

Использование бесконтактного радарного уровнемера для решения задач измерения уровня сыпучих материалов имеет неоспоримые плюсы по сравнению с другими методами: при контактных методах рано или поздно выходит из строя чувствительный элемент, а при применении лазерного уровнемера, в условиях высокой запыленности, измерения производить невозможно т.к. нет прямой видимости и лазерный луч не может "пробиться" к продукту.

Радарный метод измерения уровня обеспечивает нечувствительность к пыли в пространстве между антенной и продуктом. В отличие от ультразвукового уровнемера (акустического) в радарном используется измерение времени задержки отраженной электромагнитной волны, а не звуковой (звуковая рассеивается в пылевом облаке).

Особенности применения.

В отличие от жидких продуктов, сыпучие материалы не имеют ровной поверхности границы раздела сред воздух/продукт. Поэтому погрешность измерения уровня будет определяться размером неровностей (единицы сантиметров) на поверхности, а не собственной погрешностью уровнемера (единицы миллиметров).

Т.к. отраженный сигнал от сыпучего материала слабее, чем от жидкого продукта (из-за неровной поверхности), то стабильность работы радарного уровнемера будет зависеть от его

чувствительности. В условиях слабых отраженных сигналов наилучшим образом показывают себя непрерывные уровнемеры, в них для проведения измерений используется частота зондирующего сигнала, которая не зависит от его амплитуды.

Дополнительным фактором влияющим, на процесс измерения уровня сыпучих материалов является образование на поверхности продукта конуса, при загрузке, либо впадины конусообразной формы, при отгрузке. Это дополнительно ослабляет отраженный сигнал - большая часть сигнала отражается в сторону и если бы поверхность сыпучего продукта была гладкой, то проведение измерений было бы крайне проблематично. Но т.к. поверхность продукта неоднородна, отражения от нее происходят в разные стороны и чем чувствительнее уровнемер, тем больше его способность обработать слабый отраженный сигнал, тем стабильнее он будет работать.

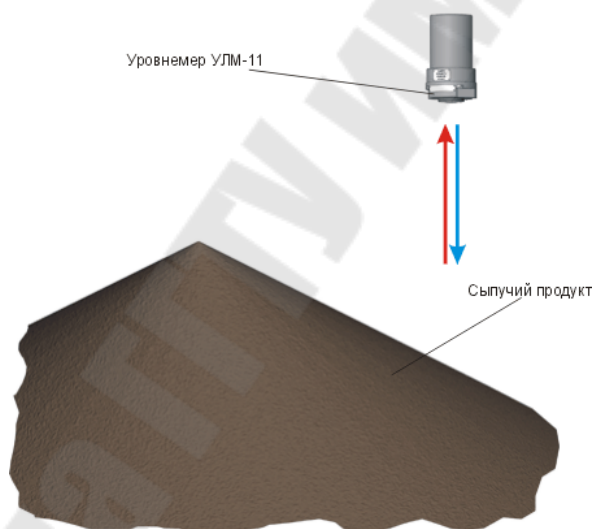


Рис. 4.1 Датчик измерения уровня

Электромагнитная энергия максимально концентрируется на определенном участке продукта и имеет минимальное "непроизводительное" рассеивание. Отраженный сигнал возвращается в антенну уровнемера. Но при измерении уровня сыпучих материалов, при прочих равных условиях, отраженный сигнал будет значительно слабее, чем при измерении уровня жидкостей. Поэтому необходима высокая чувствительность уровнемера для обеспечения стабильных измерений.

Лопастные датчики уровня сыпучих материалов.

Лопастные датчики можно использовать для контроля уровня

любого порошкового или гранулированного сыпучего материала (материал не должен образовывать корку или отложения), такого как щебень, гравий, песок, цемент, зерно, корм для скота, пластик в гранулах, древесная стружка, и др.

Датчик обеспечивает сигнализацию «наличия» или «отсутствия» контролируемой среды на установленном уровне ёмкости.



Рис. 4.2. Устройство лопастного датчика

1 – Управляющая головка, 2 – Разъем с кабелем, 3 – Корпус, 4 – Регулируемый фланец, 5 – Монтажный фланец, 6 – Вращающаяся лопатка (типовая)

ОСОБЕННОСТИ:

- Широкий диапазон допустимых температур контролируемой среды (-40 ... +400 ОС)
- Съемная (сменная) управляющая головка обеспечивает простоту обслуживания;
- Плавная регулировка глубины погружения датчика;
- Не требуется установка защитных "козырьков";
- Простота монтажа на объекте;

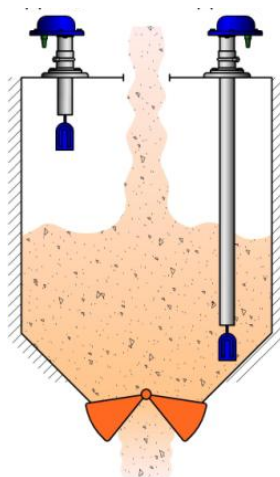
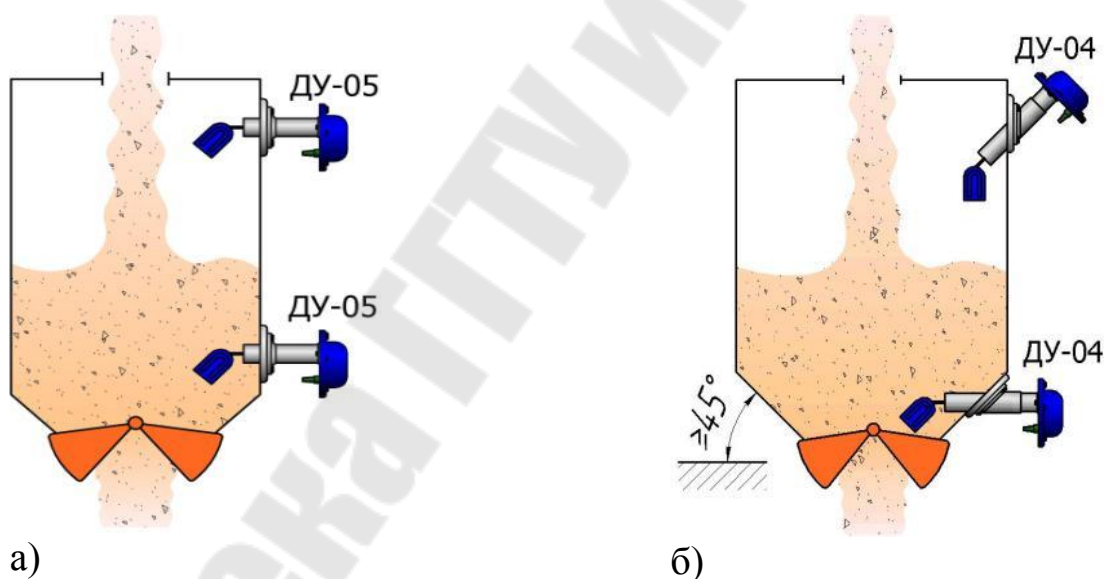


Рис. 4.3. Схема установки лопастных датчиков

Датчик может устанавливаться на крыше ёмкости вертикально. Имеет возможность плавной регулировки длины погружения за счёт регулируемого фланца.



а) б)
Рис. 4.4. Схемы установки лопастных датчиков

Датчик может устанавливаться на боковой (вертикальной) поверхности ёмкости горизонтально (рис. 4.4, а), а также на боковой поверхности ёмкости под углом (рис. 4.4, б). Имеет возможность плавной регулировки длины погружения за счёт регулируемого фланца.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКИХ МАТЕРИАЛОВ

Методов измерения уровня жидких продуктов существует более двадцати. Наиболее распространенные методы, реализованные в

промышленном оборудовании, показаны на рис. 4.5.



Рис. 4.5. Методы измерения уровня жидких продуктов

В волновых измерителях уровня используются эффекты, связанные с распространением электромагнитных или акустических волн в жидкости, парогазовой смеси либо в конструктивных элементах (волноводах, звуководных трубах), контактирующих со средами.

В неволновых измерителях уровня используются иные принципы измерения уровня, основанные на изменении емкости конструктивного конденсатора, давления столба жидкости, выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело.

Комбинированные измерители уровня сочетают в себе элементы волновых и неволновых. В магнитострикционном уровнемере уровень фиксируется поплавком, определение положения которого производится с помощью механических колебаний в звукопроводе.

Принцип работы акустических и ультразвуковых уровнемеров основан на использовании отражения волн от границы раздела сред. В акустических уровнемерах используется метод локации уровня через газовую среду, поэтому не зависит от характера контролируемой среды, но зависит от давления газа, запыленности.

Ультразвуковые уровнемеры используют для однородных жидкостей, для сыпучих материалов они не пригодны.

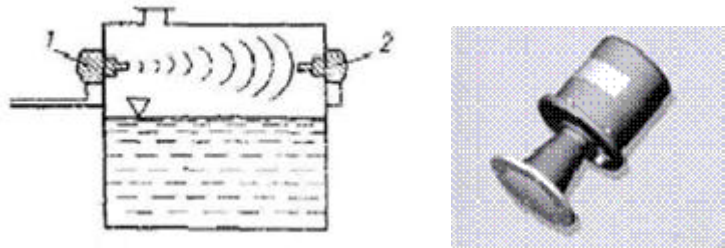


Рис. 4.6 Ультразвуковое устройство для контроля уровня:
1 – излучатель и 2 – приемник ультразвука.

Принцип действия ультразвуковых датчиков расстояния основан на свойстве звуковых волн отражаться от различных объектов: излучатель, расположенный в корпусе датчика, посылает ультразвуковые волны, часть которых, отражаясь от объекта измерения, возвращается назад в приемник. В датчике принятый отраженный сигнал преобразуется в напряжение. Интегрированный контроллер измеряет время, за которое сигнал проходит путь от излучателя, отражается от объекта и возвращается в приемник. Выходным сигналом ультразвукового датчика может быть амплитуда, фаза или частота следования сигналов. Время распространения акустического сигнала в среде зависит от измеряемого уровня.

Ультразвуковые датчики расстояния широко используются и часто рекомендуются в качестве приборов для измерения и контроля: объема жидких и сыпучих веществ в резервуаре и уровня заполнения емкости. Однако на практике часто можно столкнуться с проблемой с уменьшения диапазона измерений датчика и искажения значения измеряемой величины (при непрерывном измерении объема или уровня) для датчиков с аналоговым выходным сигналом.

Ультразвуковые уровнемеры подходят для измерения уровня различных жидкостей, а также хорошо работают и на сыпучих продуктах. Эти приборы отличаются по диапазонам измерения, версиями датчика.

Радиолокационный датчик уровня (рис.4.7) предназначен для непрерывного бесконтактного измерения уровня заполнения крупногабаритных емкостей, как в автономном режиме, так и в составе АСУ ТП.

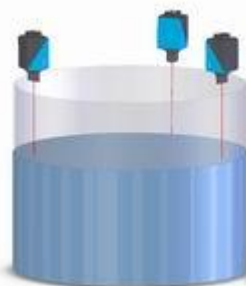


Рис. 4.7. Радиолокационный датчик уровня.

Промышленные лазерные измерительные системы позволяют проводить точные бесконтактные измерения уровня жидкости в различных резервуарах и емкостях, от флаконов с косметическими препаратами до металлургических ковшей. При неравномерном заполнении (уклоны, вращение, высокая вязкость) устанавливается несколько датчиков, показания с которых объединяются с помощью программного обеспечения.

Примеры практического использования:

- бесконтактный учет количества горючего в резервуарах;
- контроль уровня ингредиентов в емкостях смешивающих машин;
- контроль наличия достаточного количества воды в противопожарных резервуарах;
- измерение уровня расплавленного металла в ковше и др.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Описание установки

Уровнемеры с поступательным движением чувствительного элемента называют зондовыми. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 4.8.

Массивное тело 1 подвешено внутри сосуда с сыпучим материалом 2 на гибкой связи 3 (тросе или ленте). На валу реверсивного двигателя РД закреплен барабан наматывающий трос с грузом. Двигатель подключен таким образом, что при ослабленном тросе (груз касается сыпучего материала) двигатель наматывает трос и начинает поднимать груз. В момент натяжения троса через коромысло 4 срабатывают контакты SL и двигатель РД ослабляет

трос. В дальнейшем цикл повторяется. Таким образом, груз будет постоянно находиться на поверхности сыпучего материала. Двигатель РД связан кинематически с индикатором угла поворота ИУФ ферродинамического преобразователя, сигнал с которого поступает на вторичный самопишущий прибор 9, шкала которого отградуирована в единицах измерения уровня сыпучего материала.

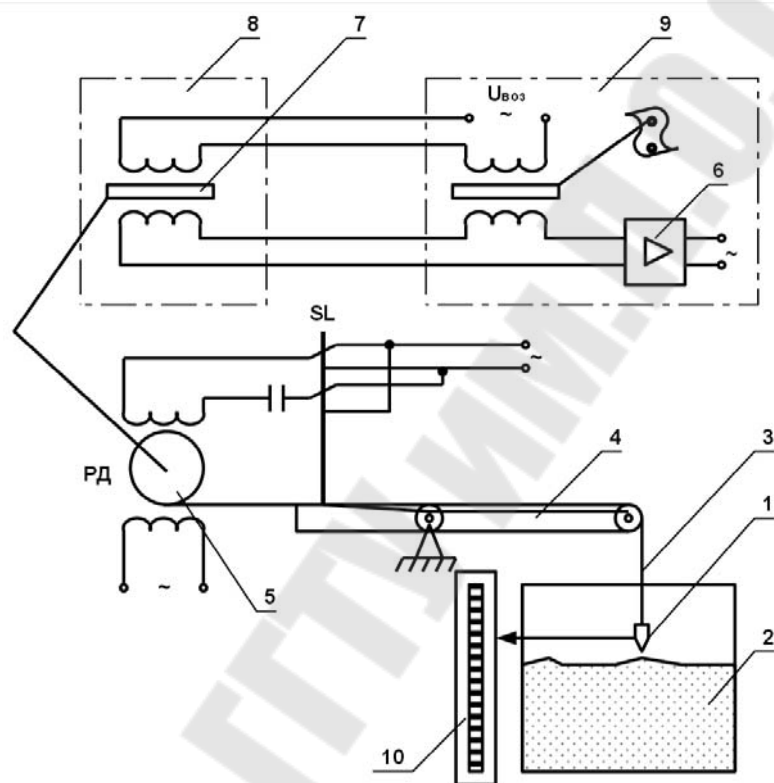


Рисунок 4.8 - Схема лабораторной установки для измерения уровня сыпучих материалов

1 - груз; 2 - сыпучий материал; 3 - трос; 4 - коромысло; 5 - реверсивный двигатель; 6 - электронный усилитель; 7 - подвижный сердечник; 8 - первичный преобразователь; 9 - ВИП, 10 – шкала механического прибора

Ход выполнения работы.

- 1) Ознакомиться с принципом действия и устройством зондового следящего уровнемера.
- 2) Включить установку, установив тумблер в положение «Вкл».
- 3) Включить прибор ВФС для чего переключать «питание» в положение «Вкл». Выдержать в три минуты.

4) Установить переключатель «проверка» вторичного прибора ВФС в положения «Контроль». Стрелка прибора должна установиться на середину шкалы при исправном приборе.

5) Перемещая емкость с сыпучим материалом, записать показания прибора ВФС для разных уровней сыпучего материала. После каждого перемещения произвести не менее трех измерений и определить среднее значение. Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

б) Определить абсолютную и относительную погрешность по формулам:

$$a = H_1 - H_2 - \text{абсолютная погрешность,}$$

где H_1 и H_2 - соответственно показания уровня по шкале и на вторичном измерительном приборе.

$$\delta = \frac{|a|}{H_{1К} - H_{1Н}} \cdot 100 - \text{приведенная погрешность}$$

Таблица 4.1 - Результаты измерений и расчетов

Экспериментальные данные		Расчетные	
Показания уровня по шкале H_1 , мм	Показания вторичного прибора ВФС H_2 , мм	Абсолютная погрешность a , мм	Приведенная погрешность δ , %

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение датчиков уровня.
2. Классификация датчиков уровня по назначению.
3. Классификация датчиков уровня по принципу измерения.
4. Для чего предназначены емкостные датчики.
5. Принцип работы акустических уровнемеров.
6. Принцип работы ультразвуковых уровнемеров.
7. Принцип работы лазерных измерительных систем.
8. Область применения датчиков уровня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / под ред. А. А. Сазонова. - Москва : Изд-во стандартов, 1987. - 327 с.

2. Автоматизация литейного производства : учеб. пособие для вузов / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одинокко. - Минск : Новое знание, 2008. - 240с. : ил.

3. Теплотехнические измерения : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов / Г. А. Мурин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1979. - 424с.

4. ГОСТ 28725-90. Приборы для измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов. Общие технические требования и методы испытаний. - Изд. офиц.. - Москва : Госстандарт, 1991. - 14 с. - (Межгосударственный стандарт) УДК 681.128.9:006.354 ББК 34

Лабораторная работа №5 Электрические измерительные мосты и потенциометры.

Цель работы: ознакомление с устройством и работой электрических измерительных мостов и потенциометров и их применением в промышленных условиях.

Теоретическая часть.

Измерительным мостом называется электрический прибор для измерения сопротивлений, ёмкостей, индуктивностей и других электрических величин. Мост представляет собой измерительную мостовую цепь, действие которой основано на методе сравнения измеряемой величины с образцовой мерой. Метод сравнения даёт весьма точные результаты, вследствие чего измерительные мосты получили широкое распространение, как в лабораторной, так и в производственной практике.

Уравновешенный измерительный мост

Схема уравновешенного измерительного моста показана на рис. 5.1,а. Мост состоит из четырех резисторов (плеч), образующих две параллельные ветви: acb и adb .

Два плеча моста R_1 и R_2 имеют постоянные и точно известные сопротивления. Третье плечо R_3 состоит из градуированного переменного резистора (реохорда) и четвертое — из термометра сопротивления R_t и двухжильного соединительного провода $R_{пр}$. В диагональ моста ab включен источник питания B постоянного тока, а в диагональ cd — нулевой гальванометр G и кнопка K .

При измерении температуры, перемещая движок e по реохорду R_3 , приводят мост в состояние равновесия, при котором ток I_0 в диагонали cd будет равен нулю, на что укажет стрелка гальванометра. В этом случае потенциалы в вершинах моста c и d равны и ток I от источника питания разветвляется в вершине моста a на две соответствующие части: I_1 и I_2 , вызывающие одинаковое падение напряжения на плечах R_1 и R_2 , т. е.

$$I_1 R_1 = I_2 R_2$$

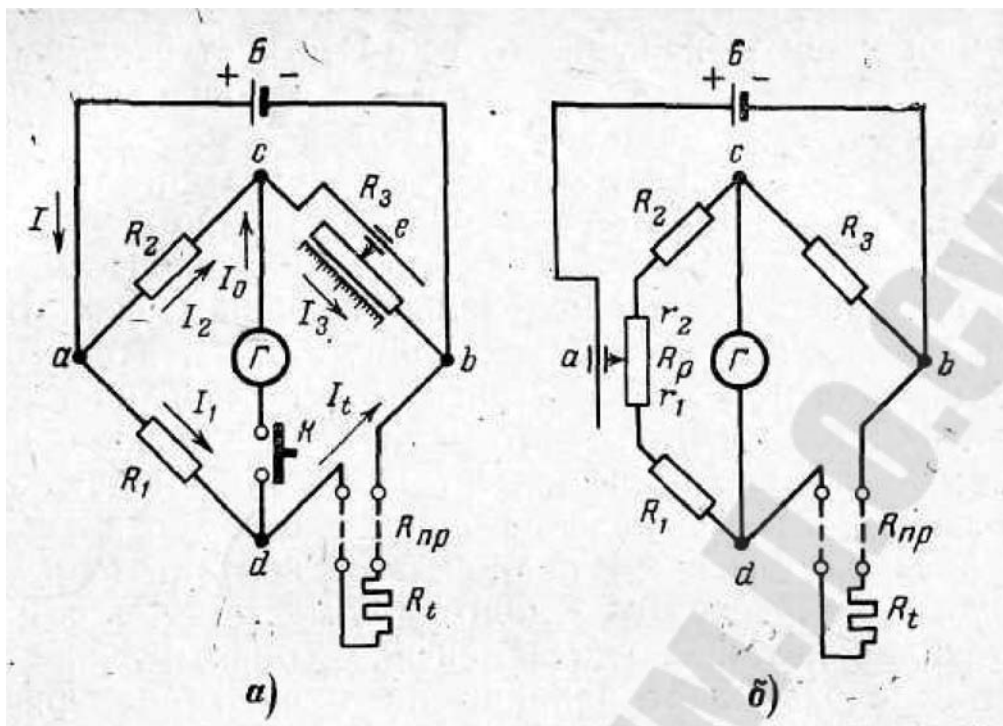


Рис. 5.1. Принципиальные схемы уравновешенных измерительных мостов.

а) – с изменением сопротивления плеча; б) – с изменением отношения сопротивлений плеч.

Поскольку падения напряжения на плечах моста R_3 и R_t+R_{np} также равны, имеем:

$$I_t(R_t + R_{np}) = I_3 R_3$$

Разделив первое равенство на второе, получим:

$$\frac{I_1 R_1}{I_t(R_t + R_{np})} = \frac{I_2 R_2}{I_3 R_3} \quad (5.1)$$

При $I_0=0$ имеем: $I_2=I_3$ и $I_1=I_t$

Тогда уравнение (5.1) примет вид:

$$R_1 R_3 = R_2 (R_t + R_{np}) \quad (5.2)$$

Таким образом, при равновесии измерительного моста произведения сопротивлений противолежащих плеч равны.

Из уравнения (5.2) искомое сопротивление термометра равно:

$$R_t = \frac{R_1}{R_2} R_3 - R_{np} \quad (5.3)$$

Отношение сопротивлений плеч R_1/R_2 (плечи отношения), а также сопротивление соединительных проводов $R_{пр}$ для данного моста – величины постоянные, поэтому каждому значению R_t соответствует определенное сопротивление реохорда R_3 (плеча сравнения), шкала которого может быть градуирована в $ом$ значения R_t или для определенного типа термометра – непосредственно в $^{\circ}C$.

Для приведения моста в состояние равновесия более удобным является не изменение величины сопротивления его плеча (реохорда) R_3 (рис. 5.1, а), а изменение при помощи реохорда R_p (рис. 5.1, б) отношения сопротивлений плеч R_1/R_2 . В этом случае исключается возможная погрешность измерения из-за меняющегося переходного сопротивления подвижного контакта e на переменном плече R_3 , так как этот контакт (a на реохорде R_p) переносится в диагональ моста ab , т. е. в цепь источника питания, где изменение сопротивления контакта не оказывает влияния на точность измерения. В зависимости от положения движка a реохорда R_p сопротивление его частей суммируется: r_1 – с R_1 , а r_2 – с R_2 . Тогда уравнение (5.3) принимает вид:

$$R_t = \frac{R_1 + r_1}{R_2 + r_2} R_3 - R_{пр} \quad (5.4)$$

Схема уравнивания измерительного моста путем изменения отношения сопротивлений плеч (рис. 5.1, б) находит широкое применение в технических приборах.

Изменение сопротивления соединительных проводов в зависимости от температуры окружающего воздуха влияет на точность измерения температуры с помощью термометров сопротивления. Для уменьшения или полного устранения этой погрешности применяются: введение к показанию прибора поправки, определяемой в соответствии с уравнениями (5.3) или (5.4) расчетным путем; сведение этой погрешности к заранее заданной допустимой величине путем выбора необходимого сечения и длины соединительных проводов; выполнение трехпроводной системы включения термометра в измерительный мост.

Схема уравновешенного моста с трехпроводной системой включения термометра показана на рис. 5.2. Применение третьего соединительного провода ab перемещает одну из вершин моста непосредственно в головку термометра, в результате чего

уменьшается вдвое сопротивление проводов, входящее вместе с термометром в измерительное плечо моста, и поэтому частично понижается возможная погрешность измерения. При равенстве сопротивлений постоянных плеч R_1 и R_2 (симметричный мост) и одинаковом сопротивлении обоих основных соединительных проводов применение трехпроводной системы полностью исключает влияние последних. Действительно, в этом случае при равновесии моста уравнение (5.2) примет вид:

$$R_1 \cdot (R_3 + 0,5R_{\text{пр}}) = R_2 \cdot (R_t + 0,5R_{\text{пр}}) \quad (5.5)$$

или после сокращения подобных членов

$$R_t = R_3 \quad (5.6)$$

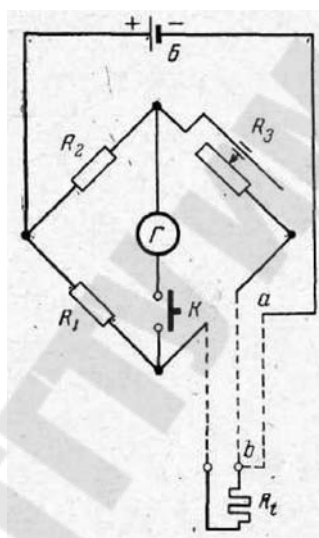


Рис. 5.2. Трехпроводная система включения термометра сопротивления в измерительный мост.

Уравновешенный мост, основанный, как и потенциометр, на нулевом методе измерения, обеспечивает достаточно высокую точность. Как видно из уравнений (5.3) и (5.4), изменения напряжения источника питания не отражаются на результатах измерения этим прибором, что является большим его достоинством. Однако с понижением напряжения в вершинах моста, к которым подключен источник питания, чувствительность моста понижается, так как притом же изменении сопротивления термометра к нулевому гальванометру подводится меньшее напряжение небаланса.

Уравновешенные измерительные мосты бывают технические (автоматические), переносные (контрольные) и образцовые. Они широко применяются для измерения температуры и сопротивления в

лабораторной и производственной практике, а также для поверки и градуировки термометров сопротивления.

Автоматические уравновешенные измерительные мосты

При измерении температуры в промышленных установках в комплекте с термометрами сопротивления работают автоматические электронные показывающие и самопишущие уравновешенные мосты, имеющие ту же кинематическую систему и конструкцию, что и автоматические электронные потенциометры.

С целью уменьшения погрешности измерения вследствие изменения сопротивления соединительных проводов от колебаний температуры окружающего воздуха термометры сопротивления включаются в автоматический уравновешенный мост по трехпроводной системе.

На рис. 5.3 показана принципиальная схема автоматического электронного уравновешенного моста переменного тока, в которую входят: постоянные резисторы (плечи) $R_1 - R_3$; реохорд R_p , разделяемый движком c на две части: r_1 и r_2 ; термометр сопротивления R_t ; соединительные провода $R_{пр}$, включающие подгоночные резисторы $R'_п$ и $R''_п$, уравнивающие сопротивления основных проводов и доводящие их до градуировочного значения. Мост питается от источника переменного тока, присоединенного к его диагонали ab .

Вместо нулевого гальванометра в диагональ моста cd включен электронный усилитель ЭУ, связанный с реверсивным электродвигателем РД, перемещающим в зависимости от величины измеряемой температуры движок c реохорда и подвижную каретку e отсчетного устройства ОУ, несущую на себе указатель, перо или печатающий барабан.

Согласно равенству (5.5) в состоянии равновесия моста имеем:

$$(R_1 + 0,5R_{пр}) \cdot (R_2 + r_2) = R_3 \cdot (R_t + r_1 + 0,5R_{пр}) \quad (5.7)$$

Решая уравнение (5.7) относительно R_t , получаем:

$$R_t = \frac{(R_1 + 0,5R_{пр}) \cdot (R_2 + r_2)}{R_3} - (r_1 + 0,5R_{пр}) \quad (5.8)$$

Уравнение (5.8) показывает, что при равновесии автоматического моста каждому значению сопротивления термометра

отвечает определенное положение движка реохорда, а значит, и указателя прибора. Это позволяет проградуировать шкалу автоматического моста непосредственно в °С.

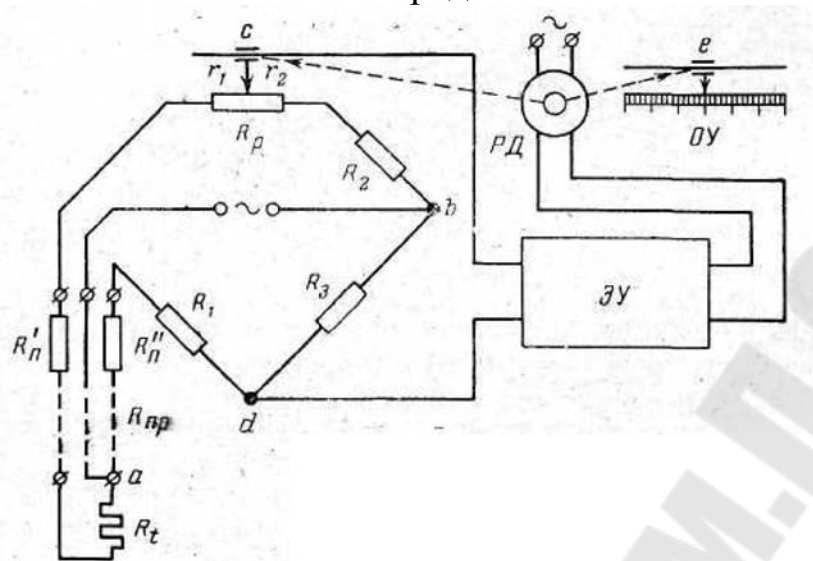


Рис. 5.3. Принципиальная схема автоматического электронного уравновешенного моста переменного тока.

Шкалы автоматических измерительных мостов выполняются как начинающимися с нуля, так и безнулевыми и градуируются при сопротивлении основных соединительных проводов 5 Ом (сопротивление каждого провода 2,5 Ом).

Для точного измерения сопротивления термометров применяются контрольные и образцовые уравновешенные мосты постоянного тока типов МО-61, МО-62, Р329 и др. Эти мосты используются в электроизмерительной практике при определении сопротивлений и относятся обычно к разряду электроизмерительных приборов.

Неуравновешенный измерительный мост

Неуравновешенный измерительный мост (рис. 5.4) ввиду невысокой точности показаний применяется только для технических измерений. В три плеча его включены постоянные резисторы $R_1 - R_3$, а в четвертое в зависимости от положения переключателя Π термометр сопротивления R_t с соединительными проводами R_{np} (положение И) или контрольный резистор R_k (положение К). К диагонали моста ab подключаются источник постоянного тока Б и реостат R для установки рабочего тока, а к диагонали cd — пирометрический милливольтметр mV с внутренним сопротивлением R_m .

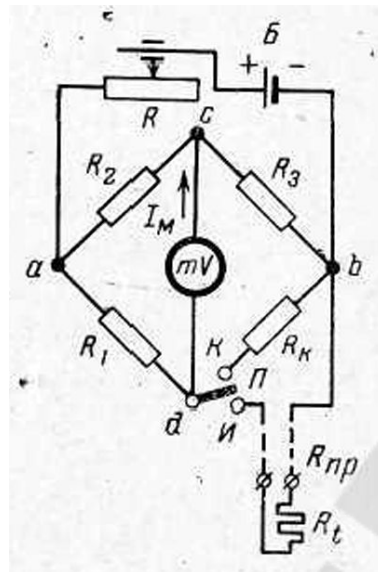


Рис. 5.4. Схема неуравновешенного измерительного моста.

При измерении переключатель П ставится в положение И (измерение); тогда в зависимости от величины $R_t + R_{пр}$, определяющей собой разность потенциалов на вершинах моста с и d, через рамку милливольтметра потечет ток I_M и стрелка прибора отклонится на соответствующий угол.

Допустим, что мост находится в состоянии равновесия при температуре измеряемой среды 0°C . Повышение температуры нарушит это равновесие вследствие увеличения сопротивления термометра R_t и вызовет появление тока в диагонали cd. Этот ток, а следовательно, и отклонение стрелки милливольтметра будут тем больше, чем сильнее нарушится равновесие моста, т. е. чем выше станет температура термометра.

Сила тока I_M , проходящего через милливольтметр, выражается уравнением

$$I_M = \frac{U_{ab} [R_1 R_3 - R_2 \cdot (R_1 + R_{пр})]}{K} \quad (5.9)$$

где U_{ab} — разность потенциалов на вершинах моста a и b;

K — многочлен, определяемый по формуле:

$$K = R_M \cdot (R_1 + R_t + R_{пр}) \cdot (R_2 + R_3) + R_2 R_3 \cdot (R_1 + R_t + R_{пр}) + R_1 \cdot (R_t + R_{пр}) \cdot (R_2 + R_3) \quad (5.10)$$

Для определенного моста сопротивления его плеч $R_1 - R_3$, а также R_M и $R_{пр}$ постоянны. Разность потенциалов U_{ab} в процессе работы прибора также поддерживается постоянной. При этих

условиях уравнение (5.9) принимает вид:

$$I_M = f(R_t) \quad (5.11)$$

Исходя из этого шкала милливольтметра может иметь градуировку в Ом или °С.

При небольших значениях R_t выражение (5.11) дает примерно пропорциональную зависимость, так как в уравнении (5.9) при этом заметно меняется только числитель. Однако с увеличением R_t в этом выражении начинает расти и знаменатель. Поэтому шкала милливольтметра, равномерная, вначале, сильно сжимается к концу.

Из уравнения (5.9) видно, что ток I_M или угол отклонения стрелки милливольтметра пропорционален напряжению U_{ab} на вершинах моста. Поэтому неизменным условием правильности измерения температуры с помощью неуравновешенного моста является поддержание величины напряжения на вершинах а и б постоянной и равной той, при которой производилась градуировка прибора. С этой целью в цепь источника питания Б включается реостат R, сопротивление которого постепенно выводится по мере разряда батареи, питающей мост. Для контроля величины U_{ab} служит контрольный резистор R_k , периодически включаемый посредством переключателя П, устанавливаемого в положение К (контроль), в плечо моста bd вместо термометра сопротивления. При нормальном значении U_{ab} стрелка милливольтметра должна установиться на контрольном делении, отмеченном на шкале красной чертой. Если напряжение источника тока понизилось, стрелка прибора не дойдет до контрольной отметки и потребуются увеличить напряжение U_{ab} при помощи реостата R.

Сопротивление контрольного резистора R_k обычно выбирается таким, чтобы при его включении стрелка милливольтметра отклонялась примерно на $\frac{2}{3}$ шкалы прибора.

В неуравновешенных мостах для устранения влияния изменения величины сопротивления соединительных проводов от их температуры может также применяться трехпроводная система включения термометра.

Большим недостатком неуравновешенного моста является необходимость не реже 2 раз в сутки производить проверку напряжения на его вершинах, что ограничивает область применения этого прибора. Неуравновешенные мосты для измерения температуры промышленностью не выпускаются, а находят применение лишь в схемах других приборов (логометров, электрических

газоанализаторов, солемеров, кислородомеров и пр.).

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. Измерение величины сопротивления двух проводников, а также общего сопротивления при их последовательном и параллельном соединениях.

1. Собрать схему, изображенную на рис. 5.5.

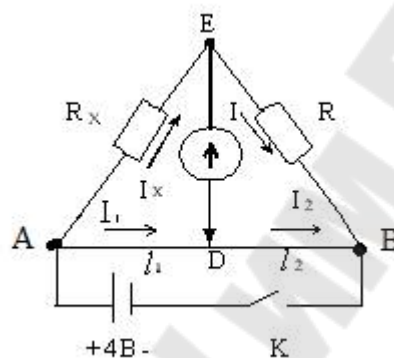


Рис. 5.5

2. Измерить величину сопротивления R_{x1} , а также последующих сопротивлений (три раза). Для этого установить движок реохорда на середину ($l_1 = l_2$) и подбором величины сопротивления магазина R уравновесить мост, то есть добиться нулевого положения стрелки при включенном питании.

Повторить измерения при ($l_1 < l_2$) и ($l_1 > l_2$), устанавливая движок реохорда вблизи его середины (тем самым достигается минимальная погрешность результата). Измеряемая величина сопротивления определяется по формуле

$$R_x = R \frac{l_1}{l_2}$$

3. Включить в цепь R_{x2} вместо R_{x1} и измерить его величину согласно п. 2.

4. Измерить величины сопротивлений последовательного и параллельного соединений R_{x1} и R_{x2} , включаемых вместо R_x в плечо АЕ (рис. 5.5). Измерения проводить согласно требованиям пункта 2.

5. По формулам

$$R_{x\text{ посл}} = R_{x1} + R_{x2} \text{ и } R_{x\text{ пар}} = \frac{R_{x1} \cdot R_{x2}}{R_{x1} + R_{x2}}$$

рассчитать значения величин сопротивлений и сравнить их со значениями, полученными при выполнении пункта 4.

6. Результат измерений занести в таблицу 5.1.

7. Оценить погрешность измерения величин сопротивлений R_{x1} , R_{x2} , $R_{x\text{ посл.}}$ и $R_{x\text{ пар.}}$.

Таблица 5.1

Измеряемое сопротивление	№ п/п	l_1 , мм	l_2 , мм	R , Ом	R_x , Ом	$R_{x\text{ ср.}}$, Ом	Расчетные значения $R_{x\text{ посл.}}$, $R_{x\text{ пар.}}$, Ом
R_{x1}	1						—
	2						
	3						
R_{x2}	1						—
	2						
	3						
$R_{x\text{ посл.}}$	1						
	2						
	3						
$R_{x\text{ пар.}}$	1						
	2						
	3						

Задание 2. Определение величины внутреннего сопротивления гальванометра.

1. Собрать схему, изображенную на рис. 5.6.

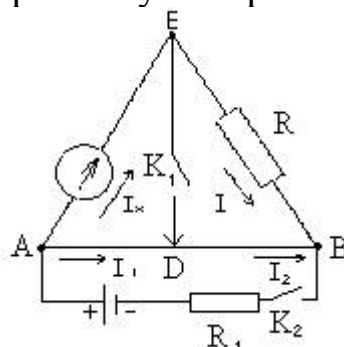


Рис. 5.6

2. Измерить три раза величину r_G . Мост уравнивается как изменением величины сопротивления магазина R , так и изменением положения движка D реохорда AB (рис. 5.6). Для достижения более высокой точности измерений нужно стремиться к тому, чтобы отношение l_1/l_2 (рис. 5.6) не сильно отличалось от единицы.

ВНИМАНИЕ! При включении гальванометра в плечо моста (рис. 5.6) последний находится в равновесии, если при замыкании и размыкании ключа K_1 гальванометр не меняет своих показаний.

3. По формуле

$$r_G = R \frac{l_1}{l_2}$$

рассчитать сопротивление гальванометра. Данные измерений занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2

R , Ом	l_1 , мм	l_2 , мм	r_G , Ом	r_{cp} , Ом

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой электрический ток? Какие частицы являются свободными носителями заряда в металлах?
2. Какова причина электрического сопротивления при протекании тока в металлах?
3. Существует ли движение носителей заряда в металлическом проводнике при отсутствии в нем электрического поля?
4. Какова принципиальная схема работы моста постоянного тока? В чем заключается принцип ее работы?
5. Изменится ли условие равновесия моста, если гальванометр и источник тока поменять местами?
6. Нарисуйте электрическую цепь последовательного и параллельного соединения проводников.
7. От каких величин зависит сопротивление изотропного проводника?

8. Сформулируйте закон Ома для однородного участка цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин : учебное пособие для вузов / под ред. А. А. Сазонова. - Москва : Изд-во стандартов, 1987. - 327 с.

2. Автоматизация литейного производства : учеб. пособие для вузов / Д. М. Кукуй, В. Ф. Одиночко. - Минск : Новое знание, 2008. - 240с. : ил.

3. Теплотехнические измерения : учебник для энерг. и энергостроит. техникумов / Г. А. Мурин. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1979. - 424с.

4. Чистяков В.С. Справочник по теплотехническим измерениям. М. :Энергоатомиздат, 1990.- 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1	3
Датчики температуры	3
Лабораторная работа №2	16
Датчики расхода материала	16
Лабораторная работа №3	28
Датчики давления газов и жидкостей	28
Лабораторная работа №4	37
Датчики уровня жидких и сыпучих материалов	37
Лабораторная работа №5	48
Электрические измерительные мосты и потенциометры	48

Учебное издание

Ткаченко Александр Владимирович

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Лабораторный практикум
по одноименному курсу
для студентов специальности
1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением»
дневной и заочной форм обучения

Редактор А.В. Власов
Компьютерная верстка Е.Б. Ящук

Подписано в печать
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Ризография. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .
Тиражэкз. Заказ №/98

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр
Учреждения образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О.Сухого»
ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.
246746, г.Гомель, пр. Октября, 48

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**ПРАКТИКУМ
по одноименному курсу
для студентов специальности
1-42 01 01-02 01 «Обработка металлов давлением»
дневной и заочной форм обучения**

Составитель: **Ткаченко** Александр Владимирович

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 28.01.16.

Рег. № 22Е.

<http://www.gstu.by>