

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
ФИО: Карякин Андрей Виссарионович высшего профессионального образования  
Должность: И.о. руководителя «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
Дата подписания: 17.07.2024 09:50:44 Новоуральский технологический институт  
Уникальный программный ключ: 828ee0a01dfe7458c35806237086408a6ad0ea69 (колледж НТИ НИЯУ МИФИ)

---

Цикловая методическая комиссия  
общетехнических дисциплин, энергетики и электротехники

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ЛАБОРАТОРНЫМ ЗАНЯТИЯМ  
ПО ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
СРЕДСТВА И МЕТОДАМ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

для студентов колледжа НТИ НИЯУ МИФИ,  
обучающихся по программе среднего профессионального образования  
(базовый уровень)  
специальность 11.02.16 Монтаж, техническое обслуживание и  
ремонт электронных приборов и устройств  
очная форма обучения  
на базе основного общего образования

Новоуральск 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 1 «ПОВЕРКА МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ТИПА МР-64-02»	4
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 2 «ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРА. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОМЕТРОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ЛОГОМЕТРОМ Л-64И»	10
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 3 «ПОВЕРКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ»	18
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 4 «АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МОСТ КСМ2-029 С ТЕРМОМЕТРАМИ СОПРОТИВЛЕНИЯ гр. 22»	24
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 5 «ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОПТИЧЕСКИМ ПИРОМЕТРОМ ОППИР-017 И РАДИАЦИОННЫМ ПИРОМЕТРОМ РАПИР»	31
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 6 «ПОВЕРКА ДИСТАНЦИОННОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МИКРОМАНОМЕТРА ДВ-4 ПО ОПТИЧЕСКОМУ МИКРОМАНОМЕТРУ ОМ-6»	41
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 7 «ИЗМЕРЕНИЕ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ РОТАМЕТРОВ»	49
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 8 «ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА»	55
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 9 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ ВЛАЖНОСТИ КОМНАТНЫМ И АСПИРАЦИОННЫМ ТИПА М-34 ПСИХРОМЕТРОМ»	59
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 10 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH-РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ pH-МЕТРА pH-150М»	66
ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 11 «ТЕРМОМАГНИТНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР НА КИСЛОРОД МН5130У4»	76

# ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 1

## ПОВЕРКА МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ТИПА МР-64-02

**1 Цель занятия** – ознакомление студентов с принципом действия, конструкцией и техническими характеристиками милливольтметра регулирующего типа МР-64-02, а также получение практических навыков по его поверке.

## **2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА РЕГУЛИРУЮЩЕГО ТИПА МР-64-02**

Милливольтметр типа МР-64-02 щитовой профильный прибор с двухпозиционным регулирующим устройством магнитоэлектрической системы класса 1,5 предназначен для измерения и двухпозиционного регулирования температуры, соответствует требованиям ГОСТ 9736-68 и техническим условиям ТУ-25-04-3042-6.

Прибор предназначен для работы при температуре окружающего воздуха от 10 до 35 °С и относительной влажности до 80%.

Основная погрешность милливольтметра на всех числовых отметках шкалы не превышает  $\pm 1,5\%$  от диапазона измерений.

Изменение показаний милливольтметра, вызванное отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной  $20 \pm 5$  °С до любой температуры в пределах рабочих температур (от 10 до 35 °С), не превышает  $\pm 1,5\%$  от диапазона измерений.

Электрическое сопротивление изоляции токоведущих цепей милливольтметра, между собой и относительно корпуса при нормальных условиях (температура  $20 \pm 5$  °С относительная влажность до 80%) должно быть не менее 100МОм.

Питание контактного устройства осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

При температуре ниже значения, заданного указателем контактного устройства, выходные контакты реле замкнуты, выше заданного значения – разомкнуты.

Погрешность срабатывания контактного устройства при напряжении питания 220 В не превышает  $\pm 2,25\%$ .

Принцип измерения температуры милливольтметром в комплекте с термоэлектрическим термометром основан на измерении термоэлектродвижущей силы, возникающей в термоэлектрическом термометре при наличии разности температур между рабочим концом термоэлектрического термометра, спаем из двух разнородных проводников, помещенных в измеряемую среду, и его свободными концами.

Под влиянием термо-ЭДС по цепи милливольтметра будет протекать электрический ток, который проходит через рамку показывающего прибора, создает магнитное поле. Взаимодействие этого поля с полем постоянного магнита вызывает поворот рамки на угол пропорциональный термо-ЭДС.

Противодействующий момент создается двумя спиральными пружинами, служащими одновременно токоподводами к рамке.

Для компенсации влияния окружающей температуры на показания милливольтметра служит термокомпенсатор, представляющий собой терморезистор ( $R_t$ ), имеющий отрицательный температурный коэффициент, зашунтированный манганиновым резистором ( $R_{17}$ ).

Для подгонки милливольтметра на заданный диапазон измерений служит добавочный резистор ( $R_{18}$ ), намотанный из манганиновой проволоки.

Схема электрическая принципиальная милливольтметра двухпозиционного регулирования показана на рисунке 1.

Контактное устройство состоит из высокочастотного автогенератора с индуктивными обмотками на ферритовых сердечниках (датчиках) и усилителя на трех транзисторах VT2 - VT4.

В коллекторную цепь выходного транзистора VT4 включена обмотка управляющего реле, контакты которого используются для управления объектом регулирования.

Принцип действия контактного устройства основан на срыве и восстановления генерации при вводе и выводе экрана, жёстко укрепленного на указателе измерительного прибора, в зазор между контурными катушками автогенератора  $L_1$  и  $L_2$ .

Для обеспечения заданной температуры на объекте указатель контактного устройства устанавливается на соответствующую отметку шкалы. Жёстко связанный с указателем датчик занимает положение, обусловленное местонахождением указателя. При температуре ниже заданной указателем, датчик – автогенератор генерирует высокочастотные колебания (экран находится вне катушек  $L_1$  и  $L_2$  которые после выпрямителя поступают на усилитель релейного типа-(транзистор VT4).

Ток через обмотку управляющего реле увеличивается, его нормально открытые контакты, используемые для управления объектом, закрываются – реле срабатывает. Контакты реле соединены с цепью промежуточного реле или непосредственно с управляемым объектом.

При достижении на объекте заданной температуры, указатель показывающего прибора установится против указателя контактного устройства: экран, установленный на указателе показывающего прибора, водит в зазор между контурными катушками автогенератора  $L_1$  и  $L_2$  генерация срывается, транзистор VT4 закрывается, реле обесточивается и его контакты размыкаются.

При понижении температуры весь процесс регулирования повторяется в обратном порядке.

Исполнительное реле воздействует на объект, температуру которого регулируют путем включения нагревательных элементов (при замкнутых контактах реле).

Таким образом двухпозиционное контактное устройство работает по принципу "включено - выключено".

Измерительный механизм, терморезистор, шунт к нему, трансформатор и все элементы схемы регулирования закреплены на плате.

Крышка милливольтметра выполнена из алюминиевого сплава и крепиться к плате четырьмя винтами.

Контакты утоплены на задней колодке милливольтметра.. На задней колодке, расположена катушка для подгонки милливольтметра на заданный диапазон измерений.

Переводной механизм из оси со шнуром, рычага со стойкой для укрепления шнура и ролика. На рычаге установлен электронный датчик и жестко закреплен указатель контактного устройства в виде стрелки, выведенной на шкалу милливольтметра.

Для перемещения рычага на лицевую сторону выведена ось со шлицем. На электронном датчике укреплен упор, который ограничивает перемещение указателя показывающего прибора вправо так, что при достижении этого упора состояние электронного датчика не изменяется.

При транспортировке милливольтметра этот упор выполняет роль арретира подвижной части, для чего необходимо его вместе с указателем контактного устройства переместить в начале шкалы.

Указатель шкалы милливольтметра выполнен профилированной фольги. На стержне указателя укреплен легкий флажок (экран), который при перемещении указателя проходит между катушками датчика. Шкала милливольтметра отградуирована в °С.

### **3 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАНЯТИЯ И МЕТОДИКА ПОВЕРКИ**

Проверять основные параметры милливольтметра рекомендуется периодически, не реже одного раза в шесть месяцев, а также перед установкой на новом месте.

Проверка милливольтметра производится с помощью переносного потенциометра Р4833 по схеме рисунок 2.

3.1 Порядок поверки;

3.1.1 Поверяемый Р4833 прибор подсоединить к зажимам "X" потенциометра;

3.1.2 Разаретировать милливольтметр;

- 3.1.3 Установить корректором указатель показывающего прибора на нуль;  
 3.1.4 Установить переключатель потенциометра "Род работы" в положение "Поверка", соответствующее диапазону измерений (25,5 или 100 мВ);  
 3.1.5 Установить указатель контактного устройства на конец шкалы;  
 3.1.6 Включить питание потенциометра.

3.2 Поверку основной погрешности производят следующим образом: плавно подводят указатель милливольтметра к проверяемым отметкам шкалы с права и слева вращением рукояток реостата "напряжение" на потенциометре.

Измерить напряжение на проверяемом милливольтметре и полученные данные сравнить с градуировочными данными прибора. Поверку производят на всех числовых отметках шкалы. Основная погрешность вычисляется по формуле.

$$\gamma = \frac{U_1 - U_2}{U_n} \cdot 100\% , \quad (3.1)$$

где  $\gamma$  - основная погрешность;  
 $U_1$  - номинальное напряжение в мВ, соответствующее данной числовой отметке прибора;  
 $U_2$  - показание образцового потенциометра в мВ;  
 $U_n$  - номинальное значение напряжения в мВ соответствующее диапазону измерений.

3.3 Для проверки погрешности срабатывания контактного устройства зажимы 220В подсоединить к сети переменного тока 220 В частотой 50Гц.

К зажимам выход милливольтметра последовательно с внешним источником питания подключить сигнальные лампы (рисунок 3).

Указатель контактного устройства устанавливают на проверяемую отметку шкалы и трижды плавно измерять напряжение потенциометра до тех пор пока не погаснет сигнальная лампа (т.е. до срабатывания контактов). При этом измеряют действительную величину, соответствующую срабатывания.

Показания снимать как при плавном увеличении, так и при плавном уменьшении напряжения потенциометра. Среднее из трех полученных показаний сравнить с номинальной величиной, соответствующей и проверяемой шкалы.

Погрешность контактного устройства определяется по формулам (3.2 3.3)

$$\gamma = \frac{u - u_{cp1}}{u_n} \cdot 100\% , \quad (3.2)$$

$$\gamma = \frac{u - u_{cp2}}{u_n} \cdot 100\% , \quad (3.3)$$

где  $\gamma$  - погрешность контактного устройства;  
 $u$  - значение напряжения в мВ в момент срабатывания контактов при подходе к проверяемой отметке шкалы слева и справа;  
 $U_n$  - номинальное значение напряжения в мВ соответствующее диапазону измерений.

За погрешность контактного устройства принимается наибольшее из двух полученных значений. Погрешность контактного устройства не должна превышать 1,25 от диапазона измерений.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Проверку срабатывания контактного устройства проводить только по указанию преподавателя.

3.4 Проверка вариации производится одновременно с определением основной погрешности.

Вариация определяется как наибольшая разность напряжений на оцифрованной отметке шкалы, полученная на потенциометре при плавном увеличении и уменьшении измеряемой величины, выраженная в процентах от диапазона измерений:

$$\gamma = \frac{U_{\max}}{N_k - N_n} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

где  $U_{\max}$  - наибольшая разность показаний, полученная при одном и том же значении измеряемой величины, при неизменных внешних условиях;

$N_n$  и  $N_k$  - начальное и конечное значение шкалы.

3.5 Результаты поверки заносятся в таблицу 1 и 2

3.4 Определение постоянных милливольтметра по току и напряжению

Постоянная по току определяется по формуле:

$$C_i = \frac{I_{\max}}{n} = \frac{U}{(R_r + R_{вн})_n}, \quad (3.5)$$

где  $U$  - показания потенциометра Р4833;

$R_r$  - сопротивление милливольтметра, указанное на шкале прибора;

$R_{вн}$  - внешнее сопротивление, указанное на шкале прибора и установленное 5 Ом на Р4833 (15 Ом);

$n$  - число делений шкалы, на которое отклоняется стрелка милливольтметра..

Постоянная милливольтметра по напряжению определяется по формуле:

$$C_{и} = C_i \cdot R_r, \quad (3.6)$$

где  $C_{и}$  - постоянная милливольтметра;

$C_i$  - постоянная по току;

$R_r$  - сопротивление милливольтметра, указанное на шкале прибора;

**Таблица 1 - Результаты поверки основной погрешности**

№ №	Показания поверяемого прибора		Показания образцового потенциометра		Основная погрешность	
	°С	мВ	Прямой ход мВ	Обратный ход мВ	$\gamma = \frac{U_1 - U_2}{U_n} \cdot 100\%$	
	t	U	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	γ <sub>1</sub> (пр.ход д)	γ <sub>2</sub> (обр.ход д)
1						
2						
3						
4						
5						
6						

**Таблица 2 - Результаты поверки вариации**

№ №	Показания поверяемого прибора		Показания образцового потенциометра								Вариация
	°С	мВ	Прямой ход мВ				Обратный ход мВ				
	t	U	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	
1											
2											
3											
4											
5											
6											

#### 4 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- универсальный измерительный прибор Р4833
- милливольтметр регулируемый типа МР-64-02

#### 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

#### 7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1. Объяснить, какая система милливольтметра используется в работе.
- 7.2. Объяснить, какой прибор является образцовым в этой работе.
- 7.3. Объяснить принцип работы потенциометра Р4833.
- 7.4. Объяснить, как определяется основная погрешность милливольтметра.
- 7.5. Объяснить принцип работы милливольтметра МР-64-02.
- 7.6. Определить чувствительность милливольтметра по току и напряжению.
- 7.7. Дать пояснение, определение номинального значения по току и напряжению милливольтметра МР-64-02.
- 7.8. Дать определение вариации прибора.

#### 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.
- 8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 8.5 Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

**Таблица 3 - Градуировка ХК (хромель-копель), перевод °С в абсолютные МИЛЛИВОЛЬТЫ**

°С	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	Поправка на 1 °С
МИЛЛИВОЛЬТЫ											

-	-	0,64	1,27	1,89	2,50	3,11	-	-	-	-	0,061
0	0	0,65	1,31	1,98	2,66	3,35	4,05	5,48	5,48	6,21	0,066
100	6,65	7,69	8,43	9,18	9,93	10,69	11,46	13,03	13,03	13,84	0,073
200	14,66	15,48	16,30	17,12	17,95	18,77	19,60	21,25	21,25	22,08	0,079
300	22,91	23,75	24,60	25,45	26,31	27,16	28,02	29,76	29,76	30,62	0,084
400	31,49	32,35	33,22	34,08	34,95	35,82	36,68	38,42	38,42	39,29	0,086
500	40,16	41,03	41,91	42,79	49,68	44,56	45,45	47,23	47,23	48,12	0,087
600	49,02	49,90	50,78	51,56	52,53	53,41	54,28	56,03	56,03	56,90	0,088
700	57,77	58,64	59,51	60,37	61,24	62,11	62,97	64,70	64,70	65,56	0,089
800	66,42										

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 2

### ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРА. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМОМЕТРОМ СОПРОТИВЛЕНИЯ С ЛОГОМЕТРОМ Л-64И

**1 Цель занятия** - ознакомиться с принципом действия, конструкцией и основными характеристиками логометра типа Л-64И, изучении методики поверки вторичных приборов работающих с термометрами сопротивления, получении навыков измерения температуры по двух и трехпроводной схеме измерения.

### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛОГОМЕТРА ТИПА Л-64И

Логометр типа Л-64И, имеющий искробезопасное исполнение в комплекте с сетевым выпрямителем СВ-4И, предназначен для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями сопротивления всех номинальных статических характеристик преобразования. Логометр может устанавливаться в помещениях классов В-1, В-1а, В-1б, где возможно образование взрывоопасных смесей всех категории и групп.

Сетевой выпрямитель СВ-4И может устанавливаться только в непроветриваемом помещении.

Допускается температура окружающей среды от +5 °С до +50 °С и относительной влажности воздуха до 80%. Класс прибора - 1,5.

По конструкции логометр представляет собой двухрамочный магнитоэлектрический миллиамперметр (рисунок 1). Подвижная часть, его состоит из двух рамок 1 и 2, жестко скрепленных между собой и соединенных со стрелкой, конец которой перемещается вдоль шкалы. Рамки охватывают неподвижный сердечник С и могут перемещаться в зазоре переменной ширины между полюсами S и N постоянного магнита и сердечником. Вся подвижная система укрепляется по центру сердечника, обычно на керновых опорах. Для подвода тока к рамкам применяют либо безмоментные выводы, практически несоздающие противодействующего момента, либо маломощные спиральные пружинки, противодействующий момент, которых много меньше магнитоэлектрического момента рамок.

Обе рамки питаются от общего источника постоянного тока с напряжением  $E_{\Pi}$ . Последовательно с рамкой I включено постоянное сопротивление  $R_k$ , а последовательное с рамкой 2 - термометр сопротивления  $R_t$ . Сила тока, протекающего по рамке I с сопротивлением  $R_p$  будет равна:

$$I_1 = \frac{E_{\Pi}}{R_p^I + R_k}, \quad (2.1)$$

а по рамке 2

$$I_2 = \frac{E_{\Pi}}{R_p^{II} + R_t}, \quad (2.2)$$

где  $I_1$  и  $I_2$  - сила тока;  
 $E_{\Pi}$  - источник питания;  
 $R_p^I$  и  $R_p^{II}$  - сопротивление рамок,  
 $R_t$  - термометр сопротивления.  
 $R_k$  - входное сопротивление цепи проверки работы прибора,  
 Магнитоэлектрические моменты, возникающие в рамках, соответственно равны:

$$M_1 = K_1 B_1 I_1, \quad (2.3)$$

$$M_2 = K_2 B_2 I_2, \quad (2.4)$$

где  $M_1$  и  $M_2$  - магнитоэлектрические моменты;  
 $K_1$  и  $K_2$  - постоянные коэффициенты, определяемые геометрическими размерами рамок числом витков проводов в них;  
 $B_1$  и  $B_2$  - магнитные индукции в местах расположения рамок;  
 $I_1$  и  $I_2$  - сила тока..

В различных точках зазора переменной ширины магнитная индукция будет различной. Отношение индукции  $B_1$  и  $B_2$  для жестко скрепленных рамок зависит от угла поворота рамок:

$$\nu = \frac{B_1}{B_2}, \quad (2.5)$$

где  $\nu$  - угол поворота рамок;  
 $B_1$  и  $B_2$  - магнитные индукции в местах расположения рамок.

Пренебрегая влиянием слабо моментных вводов рамок можно принять, что в положении равновесия магнитоэлектрические моменты рамок равны друг другу:

$$K_1 \cdot B_1 \cdot I_1 = K_2 \cdot B_2 \cdot I_2, \quad (2.6)$$

или

$$\frac{B_1}{B_2} = \frac{K_2 \cdot I_2}{K_1 \cdot I_1}, \quad (2.7)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  - постоянные коэффициенты, определяемые геометрическими размерами рамок числом витков проводов в них;  
 $B_1$  и  $B_2$  - магнитные индукции в местах расположения рамок;  
 $I_1$  и  $I_2$  - сила тока

Тогда угол поворота рамок равен

$$\nu = \frac{f(I_2)}{I_1} = \frac{f(R_p^I + R_k)}{R_p^{II} + R_t}, \quad (2.8)$$

где  $\nu$  - угол поворота рамок;  
 $I_1$  и  $I_2$  - сила тока  
 $R_p$   $R_p''$  - сопротивление рамок,  
 $R_k$  - входное сопротивление цепи проверки работы прибора,  
 $R_t$  - термометр сопротивления.

Так как величины  $R_p$ ,  $R_p''$ ,  $R_k$  практически постоянны, то

$$\nu = E(R_t), \quad (2.9)$$

где  $\nu$  - угол поворота рамок;  
 $E$  - источник питания;  
 $R_t$  - сопротивление первой рамки.

т.е. угол отклонения подвижной части логометра является функцией измеряемого сопротивления термометра..

В реальных схемах рамки логометра  $R_p$  и  $R_p''$  включают в измерительную диагональ неуравновешенного моста с целью увеличения чувствительности прибора, осуществление температурной компенсации и возможности изменения диапазона измерений путем подбора величин постоянных сопротивлений моста..

Принципиальная схема логометра представлена на рисунке 2. На этой схеме обозначены:

$R_1$   $R_2$   $R_3$   $R_4$  - постоянные сопротивления из манганина..

$R_5$   $R_6$  - соответственно манганиновый и медный резисторы, используемые для температурной компенсации и для измерения угла отклонения подвижной системы.

$R_k$  - входное сопротивление цепи проверки работы прибора,

$R_y$  - уравнивательные резисторы, служащие для подгонки общего сопротивления соединительных проводов до необходимого значения,

$R_{огр}$  - сопротивление ограничение тока,

$R_p$   $R_p''$  - сопротивление рамок,

$R_t$  - термометр сопротивления.

Взрывобезопасность приборов достигается путем применения источника питания напряжением 4В и ограничением потребляемого тока, для этой цели в цепи питания последовательно с батареей включено ограничивающее сопротивление  $R_{огр}$ , величина, которого выбирается такой, чтобы ток, потребляемый в рабочем режиме, не превышал 20 мА. При наличии взрывоопасной среды батарея и ограничивающие сопротивления помещаются в специальную коробку, которая выносится во взрывоопасное помещение.

## 2.1 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛОГОМЕТРА

Выпускаемые промышленностью логометры используются в комплекте с медными или платиновыми термометрами сопротивления для измерения температуры в пределах от -200 до +500 °С. Основные технические характеристики логометров, предназначенный для измерения температуры от 0 до 200 °С в комплекте с термометром сопротивления гр. 21. Градуировочная таблица этого термометра представлена в таблице 3.

Термометр сопротивления и источник питания подсоединяются к логометру с помощью зажимов по задней стенке корпуса прибора (рисунок 3, 4). Зажимы 4, 6 служат для подсоединения

термометра сопротивления, зажим 7-для подачи положительного полюса источника питания, зажим 8 используется для проверки правильности показаний логометра.

Логометр типа Л-64И может быть использован как в трехпроводной, так и в двухпроводной системе включения (рисунок 2).

При трехпроводной схеме включения термометра сопротивления (рисунок 3) каждый из проводной линии, соединяющий термопреобразователь сопротивления с логометром, вместе со своим уравнивающим резистором (катушкой) должен иметь сопротивление, равное половине сопротивления линии, указанного на циферблате логометра (7,5 Ом), для этого достаточно отсоединить провода на головке термопреобразователя сопротивления.

Необходимая величина сопротивления каждого из проводов линии достигается путем сматывания части провода с соответствующей катушки для подгонки сопротивления линий.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Сопротивление катушек, прикладываемых к логометру, равно половине сопротивления линии, указанного на циферблате логометра.

При двухпроводной схеме включения термометра (рисунок 4) сопротивления уравнивательных катушек должно быть исключено. Для этого необходимо закоротить клеммы 5 и 6 и клеммы 3 и 4.

Контроль правильности показания логометра после окончательного монтажа производится следующим образом. До включения источника питания необходимо закоротить зажимы 3 и 8 на колодке логометра, а провод, подключенный к зажиму 2 логометра перенести на зажим 4 (рисунок 3, 4). Включить питание, при этом стрелка логометра должна установиться против красной контрольной отметки шкалы с погрешностью, не более  $\pm 2$ мм.

Подгонку сопротивлений внешних линий и контроль правильности показаний логометра нужно производить в помещении с нормальными условиями эксплуатации.

## **4 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ**

- магазин сопротивлений
- лабораторный стенд, включающий в себя логометр Л-64И, источник питания, лицевую панель, которая служит для коммутации схем измерения и визуального наблюдения результатов эксперимента
- схема лицевой панели лабораторного стенда показана на рисунке 5. Цифрами на панели обозначены

## **5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

5.1 Ознакомиться с описанием лабораторного занятия, лабораторным стендом.

5.2 Проверить правильность показаний логометра, по вышеизложенной методике. После этого включить питание и снять закоротку с зажимов 3 и 8.

5.3 Определить порог чувствительности прибора.. Для этого необходимо собрать схему соединения логометра Л-64И при трехпроводном подключении (рисунок 3), используя магазин сопротивлений. С помощью магазина сопротивлений выставить сопротивление, например, соответствующие 50 °С. После успокоения подвижной части прибора изменяем в одну и другую сторону сопротивление магазина. За порог чувствительности принимают такое изменение сопротивления, которое вызывает минимальное, видимое глазом перемещение указателя прибора..

Порог чувствительности прибора определить в трех различных точках шкалы.

5.4 Определить время успокоения подвижной части логометра. Его определяют при номинальном напряжении питания прибора. За время успокоения принимается время, которое проходит с момента включения напряжения или ступенчатого изменения сопротивления термометра до момента, когда указатель не доходит до установившегося положения на 1% от длины шкалы.

5.5 Осуществить поверку логометра с помощью магазина сопротивлений сначала при двухпроводной, затем при трехпроводной схемах включения термометра сопротивления для всех оцифрованных значений шкалы прибора. Определить все необходимые величины в соответствии с таблицей 1. Напряжение питания при проверке должно быть номинальным.

**Таблица 1 - Данные поверки логометра двухпроводной схеме измерения**

Цифровая отметка На логометре	Сопроти- вление для гр. 22 (R <sub>гр</sub> )	Сопротивлени е на магазине		Абсолютная погрешность			Относит. погреш- ность  %	Приве- денная погреш- ность  %	Вари- ация  °C	Приве- денная вариация  %
		При увели- чении (R <sub>1</sub> )	При умень- шении (R <sub>2</sub> )	Δ <sub>1</sub>	Δ <sub>2</sub>	Δ				
0 °C										
50 °C										
100 °C										
150 °C										
200 °C										

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

1. При трехпроводной схеме измерения таблица имеет аналогичную форму.
2. В таблице 1 символами Δ<sub>1</sub> , Δ<sub>2</sub>, Δ обозначены соответственно абсолютные погрешности при увеличении и уменьшении сопротивления на магазине и наибольшая погрешность.

Погрешности и вариация вычисляются следующим образом:

а) абсолютная погрешность

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= R_{гр} - R_{1,}, \\ \Delta_2 &= R_{гр} - R_1, \end{aligned} \quad (5.10)$$

где Δ<sub>1</sub> и Δ<sub>2</sub> - абсолютные погрешности;  
R<sub>гр</sub> - сопротивление;  
R<sub>1</sub> R<sub>2</sub> - постоянные сопротивления из манганина..

$$\Delta = \max(\Delta_1, - \Delta_2);$$

б) вариация (5.11)

$$V = |R_1 - R_2|$$

в) приведенная погрешность

$$\Delta_{пр} = \frac{\Delta}{R_k - R_m}, \quad (5.12)$$

где Δ - абсолютная погрешность;  
R<sub>k</sub> - сопротивление, соответствующее поверяемой отметке;  
R<sub>k</sub> R<sub>n</sub> - сопротивление, соответствующее концу и началу шкалы.

г) приведенная вариация

$$V_{\text{пр}} = \frac{V}{R_k - R_h} \cdot 100\% , \quad (5.13)$$

где  $V_{\text{пр}}$ - приведенная вариация;  
 $R_k$   $R_h$  - сопротивление, соответствующее концу и началу шкалы.  
 $V$  - вариация.

Погрешность  $\Delta_n$  обусловленная изменением напряжения питания, определяется по формуле:

$$\Delta_n = \frac{R - R}{R_k - R_h} \cdot 100\% , \quad (5.14)$$

где  $R$  - сопротивление вызывающее отклонение указателя прибора на поверяемую отметку шкалы после постукивания по корпусу прибора;  
 $R_k$   $R_h$  - сопротивление, соответствующее концу и началу шкалы.

## 6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему логометра;
- трехпроводную и двухпроводную схемы включения термометра сопротивления;
- пояснения к схемам;
- результаты проведенных экспериментов, а также таблицы и графики;
- выводы по работе содержащие анализ результатов поверки прибора, результатов измерения по двух-и трехпроводной схеме, влияния напряжения питания на показание прибора;

## 7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Принцип действия термометров сопротивления.
- 7.2 Устройство термометров сопротивления.
- 7.3 Материалы, используемые при изготовлении термометров сопротивления.
- 7.4 Принцип действия и устройство логометра.
- 7.5 Назначение логометра.
- 7.6 Дать определение порога чувствительности и как он определяется.
- 7.7 Назвать преимущество трехпроводной схемы включения термометра сопротивления и когда она применяется.
- 7.8 Объяснить поверку прибора и ее цель.
- 7.9 Определение подгонки сопротивлений линий и контролирование правильности подгонки.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.7 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 8.8 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 8.9 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.

- 8.10 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 8.11 Фарзана Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 8.12 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

**Таблица 2 - Основные технические характеристики логометров**

Пределы измерения		Термометр сопротивления	Градуировка термометра сопротивления
ОТ	ДО		
-50	+50	Медный, $R_0=53 \text{ Ом}$	Гр. 23
-50	+100	---"---	---"---
0	+150	---"---	---"---
-200	-100	Платиновый, $R_0=46$	Гр. 21
-200	0	ОМ	---"---
-150	0	---"---	---"---
-150	+150	---"---	---"---
-100	+50	---"---	---"---
-100	+100	---"---	---"---
-50	+50	---"---	---"---
0	+50	---"---	---"---
0	+100	---"---	---"---
0	+300	---"---	---"---
0	+400	---"---	---"---
0	+500	---"---	---"---
+200	+500	---"---	---"---
-200	-100	Платиновый, $R_0=100$	Гр. 22
-200	0	ОМ	---"---
-150	0	---"---	---"---
-150	+150	---"---	---"---
-100	0	---"---	---"---
-100	+50	---"---	---"---
-100	+100	---"---	---"---
-50	+50	---"---	---"---
0	+50	---"---	---"---
0	+100	---"---	---"---
0	+300	---"---	---"---
0	+400	---"---	---"---
0	+500	---"---	---"---
+200	+500	---"---	---"---

**Таблица 3 - Градуировочная таблица термометра**

Температура, °С	Сопротивление термометра, Ом
0	46,00
10	47,82
20	49,64
30	51,45
40	53,26
50	55,06
60	56,86
70	58,65
80	60,43
90	62,21
100	63,60
110	65,76
120	67,52
130	69,28
140	71,03
150	72,78
160	74,52
170	76,26
180	77,99
190	79,71
200	81,43

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 3

### ПОВЕРКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ

**1 Цель занятия** – ознакомиться с принципом действия, конструкцией и техническими характеристиками термоэлектрических термометров. Изучить методику и схему поверки термометров, а также приборы, используемые для поверки термоэлектрических термометров. Получить практические навыки по поверке термоэлектрических термометров в лабораторных условиях.

### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ гр. ХК И ПРИБОРА УНИВЕРСАЛЬНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО Р4833

Действие термоэлектрических термометров гр. ХК основано на свойстве металлов и сплавов создавать термоэлектродвижущую силу, зависящую от температуры места соединения концов двух разнородных проводников, образующих термопару.

Термоэлектрический термометр, состоящий из двух спаянных и изолированных по длине термоэлектродов, защитного чехла и головки с зажимами для подключения соединительной линии, является первичным измерительным преобразователем.

В качестве вторичных приборов, работающих с термоэлектрическими термометрами, применяются магнитоэлектрические милливольтметры и потенциометры.

Термоэлектрические термометры широко применяются в энергетических установках для измерения температуры перегретого пара, дымовых газов, металла труб котлоагрегатов и т.д.

Положительными свойствами их являются:

- большой диапазон измерения;
- высокая чувствительность;
- отсутствие постоянного источника тока и легкость осуществления дистанционной передачи показаний.

Универсальный измерительный прибор Р4833 предназначен для измерения сопротивлений, постоянных Э.Д.С. и напряжений и поверки теплотехнических приборов:

- класс точности прибора при использовании в качестве потенциометра постоянного тока 0,05.
- диапазон измерения Э.Д.С. и напряжений от 0 до 111,1 мВ.
- предел допускаемый основной погрешности прибора при изменении Э.Д.С. и напряжений с использованием внешнего гальванометра определяется по формуле:

$$\Delta U = + ( 5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_{\min} ), \text{ В} \quad (2.1)$$

где  $U$  – данное показание потенциометра, В;

$U_{\min}$  – цена одной ступени младшей декады (  $10^{-5}$  В ).

Допускается основная погрешность с использованием встроенного гальванометра определяется по формуле:

$$\Delta U = + ( 5 \cdot 10^{-4} U + 1,5 U_{\min} ), \text{ В} \quad (2.2)$$

или

$$\Delta U = + ( 5 \cdot 10^{-4} U + 15 \cdot 10^{-6} ), \text{ В} \quad (2.3)$$

Нормальные условия применения:

- температура окружающего воздуха (20±5) °С
- относительная влажность (65±15) %
- рабочее положение – горизонтальное.

Встроенный в прибор источник регулируемого напряжения ИРН ("mV") при напряжении источника питания не менее 1,3 В и сопротивлении нагрузки не менее 25 Ом обеспечивает на зажимах "- X", "mV" напряжение от -5 до +100 мВ.

Дискретность регулирования напряжения не более 0,05% от наибольшего напряжения на зажимах "- X".

Встроенный в прибор источник регулируемого напряжения ИРН ("V") при напряжении источника питания не менее 5,6 В обеспечивает на зажимах "- X", "V" напряжение от 0,5 до 5 В.

Допускаемая основная погрешность резистора сравнения в схеме при измерении сопротивления соединительных линий для автоматических мостов и логометров не более +0,02%

Пределы допускаемой дополнительной погрешности прибора, вызванные изменением температуры окружающего воздуха на каждые 5 °С в пределах рабочих температур от 10 до 35 °С не должны превышать половины значения, определяемого по формуле (2.1).

Устройство и принцип действия

Прибор состоит из магазина сопротивлений, моста и потенциометра постоянного тока, источника регулируемого напряжения ИРН ("mV") и ИРН ("V").

Далее магазин сопротивлений и мост не рассматриваются.

На лицевую панель прибора выведены:

- 1) гальванометр
- 2) ручки пятидекадного магазина сопротивления
- 3) ручки переключателя плеч отношений моста
- 4) кнопки включения чувствительности прибора "  " (грубо) и "   
" (точно);
- 5) ручки регуляторов рабочего тока потенциометра первого " 1  "; " 1   
" и второго " 2  ", " 2  " контуров;
- 6) ручки регуляторов напряжения ИРН ("mV") "  " и "  ", ИРН ("V") "  " и "  " ;
- 7) кнопки переключателя " Сопротивление линии " " 0,6 Ω ", " 1,6 Ω ", " 5 Ω ", " 15 Ω ", " 16 Ω ", " 25 Ω " ;
- 8) кнопки рода работ " I " (измерение), " Δ1 ", " Δ2 ", " МО-2 ", " МО-4 ", " П ", " ПmV ", " ^ ", " ΔR^ ", " IR^ " ;
- 9) кнопки выбора встроенных или наружных : нормального элемента " НЭ ", гальванометра " Г ", батареи потенциометра " БП ", батареи моста " БМ " ;
- 10) кнопка " сеть " включения питания прибора от сети ;
- 11) кнопка " откл. " ;
- 12) зажимы "-X", "mV" и "V" для подключения измеряемой ЭДС или напряжения и снятия напряжения от источников регулируемого напряжения ;
- 13) зажимы " 2,5 Ω " и " 7,5 Ω " для имитации соединительных линий при проверке логометров и мостов;
- 14) зажимы " T1 ", " П1 ", " T2 ", " П2 " для подключения измеряемого сопротивления по двухзажимной и четырехзажимной схемам измерения;
- 15) зажим " R " для использования магазина сопротивления;
- 16) зажимы " БМ " для подключения наружной батареи моста и источников регулируемого напряжения;
- 17) световая индикация включения сети

Потенциометр постоянного тока служит для измерения ЭДС и напряжения постоянного тока компенсационным методом. Принципиальная схема потенциометра приведена на рисунке 1.

Компенсационное напряжение потенциометра образуется на части измерительного сопротивления первого и второго контура за счет прохождения по нему строго определенного рабочего тока (1мА).

Уравновешивание (компенсация) производится ступенчато декадными переключателями  $\times 10$ ;  $\times 1$ ;  $\times 0,1$ ;  $\times 0,01$  (рисунок 1).

Установка рабочего тока производится по ЭДС нормального элемента, которая сравнивается с падением напряжения на установочном сопротивлении R3 в первом контуре и на установочном сопротивлении R7 во втором контуре.

Регулировка рабочего тока производится при помощи резистора R1 в первом контуре и резистора R5 во втором контуре. Индикатором компенсации служит гальванометр ИП1, который включается в цепь нормального элемента при установке рабочего тока (при нажатой кнопке "Δ1" - контроль тока первого контура) в первом контуре и (при нажатой кнопке "Δ2" - контроль тока второго контура) во втором контуре, а также в цепь измерения ЭДС или напряжения при нажатой кнопке "I" (B3).

Для уменьшения влияния погрешности подгонки декад и установочного сопротивления контура на погрешность потенциометра установочное сопротивление имеет подстройку.

Питание потенциометра подается от батареи B2 для первого контура и батареи B3 для второго контура.

ИРН ("mV") служит для получения плавно регулируемого напряжения от минус 5 до плюс 100мВ, необходимого для проверки пирометрических милливольтметров, и выполнен по мостовой схеме, рисунок 2.

Грубая регулировка производится резистором R2, плавная – резистором R8 (рисунок 2), а для улучшения плавности включены резисторы R5, R7. Для уменьшения выходного сопротивления, а следовательно, и влияния нагрузки на предел регулировки напряжения выход схемы зашунтирован резистором R4.

Источник регулируемого напряжения ИРН ("V") служит для получения плавного регулируемого напряжения 0,5-5 В и для питания логометров при их проверке.

Схема источника приведена на рисунке 2. и представляет собой обычный регулируемый делитель.

При наружном источнике питания ИРН позволяет регулировать напряжение до 30 В.

Подготовка прибора к работе

Перед включением прибора при питании от сети необходимо его надежно заземлить



(зажим " " ), проверить наличие и исправность предохранителей. Не разрешается применять заменители предохранителей.

При работе с прибором не следует применять провода и вспомогательные устройства, не входящие в комплект.

Перед началом работы должна быть кнопка "откл." (отжаты кнопки "МО-2", "МО-4", "П", "ПmV", "Л", "ΔR^", "IR^"), отжатая кнопка "  ", остальные кнопки и другие органы управления - в любом положении.

Перед началом работы корректором установите стрелку гальванометра на нуль.

Схему, соответствующую определенному ряду работы, и ее питание включите нажатием одной из кнопок "МО-2", "МО-4", "П", "ПmV", "Л", "ΔR^", "IR^", включите - нажатием кнопки "откл."

Все измерения производите при нажатой кнопке "I", а контроль рабочего тока потенциометра - при нажатой кнопке "Δ1" или "Δ2" (первого или второго контура соответственно).

**ВНИМАНИЕ.** При подаче на прибор высокого напряжения (свыше 42 В) необходимо соблюдать осторожность и не прикасаться руками к металлическим частям зажимов.

## 2.1 ПОВЕРКА ПИРАМЕТРИЧЕСКИХ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ ПОТЕНЦИОМЕТРОВ

И

Нажмите кнопку переключателя "Сопротивление линии" "0,6 Ω", "1,6 Ω", "5 Ω", "15 Ω", "16,2 Ω" или "25 Ω" (соответствующее сопротивлению линии, указанному на поверяемом милливольтметре).

Нажмите кнопку "ПmV".

Нажмите кнопки "Г", "БП", "НЭ", при использовании встроенных гальванометров, батареи потенциометра, нормального элемента соответственно.

При использовании внешнего гальванометра, батареи потенциометра, нормального элемента, подключение их к зажимам "Г", "БП1", "БП2", "НЭ" соответственно, а кнопки "Г", "БП", "НЭ" отключите.

Нажмите кнопку "Δ1".

Произведите установку (контроль) рабочего тока первого контура потенциометра, для чего установите стрелку гальванометра на нуль вращением ручек "Рабочий ток", "1" , и "1" , вначале при нажатой кнопке "  ", а затем при нажатой кнопке "  ".

Нажмите кнопку "Δ2".

Произведите установку (контроль) рабочего тока первого контура потенциометра, для чего установите стрелку гальванометра на нуль вращением ручек "Рабочий ток", "2" , и "2" , вначале при нажатой кнопке "  ", а затем при нажатой кнопке "  ".

Нажмите кнопку "Г".

Подсоедините поверяемый прибор к зажимам "-X", "mV".

Подведите плавно стрелку прибора к поверяемой отметке шкалы вращением ручек реостатов ИРН ("mV") "v" и "vv".

Измерьте напряжение на выходе ИРН ("mV"), для чего: нажмите кнопку "Г".

Установите стрелку гальванометра на нуль вращением ручек декадных переключателей x10; x1; x0,1; x0,01 вначале при нажатой кнопке "  ", а затем при нажатой кнопке "  ".

Значение измеряемого напряжения в милливольтках будет равно сумме показаний декад. Определите погрешность поверяемого прибора.

Отключите прибор нажатием кнопки "откл".

**ПРИМЕЧАНИЕ.**

1. Для уменьшения дрейфа рабочего тока рекомендуется производить измерение через 5-10 мин. После включения прибора и не выключать прибор при непродолжительных перерывах в работе (до 30-60 мин.).

2. Постоянную по току  $C_i$  внешнего гальванометра, обеспечивающую необходимую чувствительность потенциометра, можно определить по формуле

$$C_i = \frac{\Delta U}{R_{cx} + R_n + R_r} \quad (2.4)$$

где  $\Delta U$  – погрешность показаний потенциометра, определенная по формуле (2.1);

$R_{cx}$  – выходное сопротивление потенциометра, значение которого в Ом равно значению выходного напряжения в милливольтках;

$R_n$  – сопротивление подключенного объекта измерения;

$R_r$  – внутренне сопротивление гальванометра.

### 3 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- прибор универсальный измерительный Р4833
- термоэлектрический термометр гр. ХК
- муфельная печь
- прибор КСП-4 гр. ХК

#### 4 ЗАДАНИЕ

4.1 Поверка технических термоэлектрических термометров может производиться двумя способами:

- путем сравнения с показателями образцового термометра.
- по реперным точкам равновесия фаз химически чистых веществ.

В первом случае поверку термоэлектрических термометров до температуры 300 °С производят в водяном и масляном термостатах по образцовому термометру.

В интервалах температур 300 – 1200 °С и 900 – 1800 °С, термоэлектрические термометры поверяются в трубчатой электропечи соответственно по образцовому платинородий-платиновому термоэлектрическому термометру. В процессе поверки температура свободных концов термоэлектрических термометров поддерживается постоянной и равной 0 °С.

4.2 Измерение термо – ЭДС образцового и поверяемых термоэлектрических термометров производится с помощью лабораторного потенциометра. Р4833.

### 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Нажмите кнопку "П".

5.2 Произведите установку (контроль) рабочего тока.

5.3 Подключите объект измерения к зажимам "-X", "mV", соблюдая полярность.

5.4 Произведите измерения, для чего:

нажмите кнопку "Г";

установите стрелку гальванометра на нуль вращением ручек декадных переключателей

x10; x1; x0,1; x0,01 вначале при нажатой кнопке "  ", а затем при нажатой кнопке "  ".

Значение измеренного напряжения в милливольты будет равно сумме показаний декад.

5.5 Отключите прибор нажатием кнопки "откл".

### 6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- цель занятия;
- наименование и перечень приборов;
- принципиальную схему потенциометра Р4833;
- схему поверки термоэлектрического термометра гр. ХК;
- таблицы результатов измерений;
- вывод.

Перевод °С в абсолютные милливольты, гр. ХК

**Таблица 2 – Градуировочная таблица гр. ХК**

С	мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С	мВ	°С	мВ
---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

10	0,65	130	9,18	250	18,77	370	28,89	490	39,29
20	1,35	140	9,93	260	19,60	380	29,76	500	40,16
30	1,98	150	10,69	270	20,43	390	30,62	510	41,03
40	2,66	160	11,46	280	21,25	400	31,49	520	41,91
50	3,35	170	12,24	290	22,08	410	32,35	530	42,79
60	4,05	180	13,03	300	22,91	420	33,22	540	43,68
70	4,76	190	13,64	310	23,75	430	34,08	550	44,56
80	5,48	200	14,66	320	24,60	440	34,95	560	45,45
90	6,21	210	15,48	330	25,45	450	35,82	570	46,34
100	6,95	220	16,30	340	26,31	460	36,68	580	47,23
110	7,69	230	17,12	350	27,16	470	37,55	590	48,12
120	8,43	240	17,95	360	28,02	480	38,42	600	49,02

## 7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Назначение и принцип действия прибора Р4833.  
7.2 Устройство прибора Р4833.  
7.3 Объяснить механизм образования термо-ЭДС термоэлектрического термометра.  
7.4 Назвать известные типы термоэлектрических термометров.  
7.5 Объяснить, как произвести поверку термоэлектрического термометра в лабораторных условиях.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.  
8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.  
8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.  
8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.  
8.5 Фарзانه Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.  
8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 4

### АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МОСТ КСМ2-029 С ТЕРМОМЕТРАМИ СОПРОТИВЛЕНИЯ гр. 22

**1 Целью занятия** – является ознакомление с принципом действия, проверкой, конструкцией, техническими характеристиками автоматического моста КСМ-029 и термометрами сопротивления. Измерения шеститочечным мостом при помощи трех термометров.

#### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ гр.22 И АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО МОСТА КСМ2-029

Измеритель температуры состоит из автоматического электронного шеститочечного моста и трех платиновых термометров сопротивления гр.22. ( $R_0=100 \text{ Ом}$ ).

Термометр сопротивления

Измерение температуры по электрическому сопротивлению основывается на зависимости их сопротивления от температуры. Электрические термометры сопротивления практически позволяют измерять температуру с высокой степенью точности до  $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ , а при изменениях небольшой разности температур до  $0,0005 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Принцип действия термометра сопротивления основан на фрикционной связи активного сопротивления некоторых проводников или полупроводников с температурой:

$$R_t = R_0 \cdot e^{\alpha t}, \quad (2.1)$$

где  $R_t$  и  $R_0$  – сопротивление при температурах  $t_1$  и  $t_0$ ;  
 $\alpha$  – температурный коэффициент электрического сопротивления.

Разлагая выражение (2.1) на ряд Тейлора используя для платинового термометра сопротивления два члена, получим:

$$R_t = R_0 (1 + A_t + B_t^2), \quad (2.2)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные;  
 $R_t$  и  $R_0$  – сопротивление при температурах  $t_1$  и  $t_0$ .

В настоящее время наиболее распространены медные (гр.23,24) и платиновые (гр.20, 21, 22) термометры сопротивления с пределами измерения от  $-200$  до  $+30 \text{ }^\circ\text{C}$  и от  $-50$  до  $+180 \text{ }^\circ\text{C}$ .

На рисунке 1 показаны кривые зависимости величины от температуры для медных и платиновых термометров. Конструкция термометров сопротивления весьма проста. Рассмотрим на примере платинового термометра.

Теплочувствительный элемент представляет собой платиновую проволоку  $\phi 0,07 \text{ мм}$  намотанную бифилярно на слюдяную пластинку с зубчатыми краями. Бифилярно намотка необходима для того, чтобы исключить появление индуктивного сопротивления. Пластина с платиновой проволокой покрывается с двух сторон серебряной лентой в пакет. К каждому концу платиновой проволоки приваривается подводный провод из серебра  $\phi 1 \text{ мм}$ .

Чувствительный элемент помещают в тонкостенную алюминиевую трубку, в нижней части, которой расположен массивный вкладыш с плоской прорезью для чувствительного элемента. Вкладыш улучшает условия теплопередачи от трубки к чувствительному элементу.

Одной из важнейших характеристик термометра сопротивления является показатель тепловой инерции. Этот показатель определяется при коэффициенте теплоотдачи, практически равном бесконечности, следующим образом:

- термометры сопротивления подсоединяют к мосту КСМ2-029;
- погружают термометры сопротивления в сосуд с водой комнатной температуры (15-20 °С) и выдерживают до установления постоянного уровня записи на диаграммной ленте;
- быстро переносят термометры сопротивления в сосуд (98-100 °С) и выдерживают до установления постоянного уровня записи;
- определяют показатель тепловой инерции термометра, как отрезок времени (по диаграммной ленте) с момента погружения термометров сопротивления в сосуд с кипящей водой до момента достижения величины показания, составляющего 63% от разности между конечным и начальным уровнями записи.

#### Мостовая измерительная схема

В основу работы электронных автоматических мостов КСМ2-029 положен нулевой метод измерения сопротивления.

На рисунке 2 представлена принципиальная измерительная схема моста КСМ2-029. Мостовая схема состоит из трех плеч сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  и четвертого плеча, в котором включен термометр сопротивления  $R_T$  и калиброванное сопротивление-реохорд  $R_P$ . К точкам СД подключен источник питания – напряжение переменного тока 6,3 В.

Подключение термометров к прибору производится по трехпроводной схеме. В этом случае сопротивление проводов, предназначенных для подсоединения термометров к прибору, распределяется между двумя прилегающими плечами моста. Применение трехпроводной схемы для присоединения термометров снижает величину температурной погрешности, вызванной изменением сопротивления соединительных проводов, ( $R_A$ ) вследствие изменения температуры окружающего воздуха.

При изменении температуры контролируемого объекта изменится сопротивление термометров сопротивления  $R_T$  и нарушится равновесие измерительной схемы. В результате в диагонали АВ моста появится напряжение разбаланса, которое усиливается усилителем до величины, достаточной для приведения в действие реверсивного двигателя. Ось двигателя при помощи шкива и троса связана с кареткой, на которой закреплен движок реохорда и указателя.

Ротор реверсивного двигателя вращается до тех пор, пока существует сигнал, вызванный разбалансом схемы. Одновременно перемещается указатель прибора на шкале и движок по реохорду до наступления равновесия в измерительной схеме. В момент равновесия по положению указателя на шкале определяется значение измеряемой величины.

### АВТОМАТИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ МОСТ КСМ2-029

#### Основные технические характеристики

- предел измерения 0-500 °С гр.22;
- основная погрешность прибора  $\pm 0,5\%$ ;
- длина шкалы и ширина диаграммной ленты- 160 мм;
- погрешность срабатывания контактов  $\pm 1,5\%$  от всей шкалы;
- погрешность реостатного выхода  $\pm 0,5\%$  от всей шкалы;
- количество точек- 6;
- время прохождения указателем всей шкалы 10 с;
- длительность цикла печати 12 с;
- скорость продвижения ленты 120 мин/ч;
- напряжение и частота тока питания 220 В, 50 Гц;
- потребляемая мощность 30 Вт;
- сопротивление линии связи  $2,5 \pm 0,01$  Ом.

Принципиальная схема автоматического моста КСМ2-029 приведена на рисунке 3. Основными узлами схемы являются;

- измерительная мостовая схема;
- электронный усилитель УПД-1;
- реверсивный двигатель РД.

Измерительная схема моста содержит:

$R_1, R_2$  – сопротивление для подготовки предела измерения;  
 $R_3, R_4$  – постоянные сопротивления в плечах моста;  
 $R_p$  – сопротивление реохорда (спираль из сплава палладий-вольфрам), навитая на полированную медную проволоку;  
 $R_{ш}$  – сопротивление шунта, позволяющее при замене реохорда подгонять его приведенное сопротивление к номинальному значению;  
 $R_5$  – сопротивление для установки расчетного значения, приведенного сопротивления реохорда, определяющего пределы измерения;  
 $R_d$  – сопротивление в цепи питания, служащее для ограничения тока через термометр;  
 $r_2, r_d$  – подгоночные спирали;  
 $R^{/2}$  – сопротивление уравнивательных катушек, которые служат для подгонки сопротивления соединительных проводов до расчетного значения 5 Ом. Каждое из этих сопротивлений равно 2,5 Ом ( $R^{/2}=2,5$  Ом).

Подгонка сопротивления линии связи термометра сопротивления производится с помощью подгоночных катушек, которые смонтированы на клемменной колодке  $K_2$  следующим образом:

Закорачиваются зажимы в головке термометра сопротивления, к которым присоединяются провода, идущие от прибора.

Отсоединив провода, идущие к термометру от колодки  $K_2$ , измеряют их сопротивление попарно и составляют три уравнения с тремя неизвестными:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= +R_c \\
 A_2 &= R_a + R_c \\
 A_3 &= R_b + R_c
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$

Из этих уравнений следует, что

$$R_a = \frac{A_1 - A_2 - A_3}{2}; R_b = \frac{A_3 - A_1 + A_2}{2}
 \tag{2.4}$$

где  $R_a$  – сопротивление провода, подключенного к зажиму А;  
 $R_b$  – сопротивление провода, подключенного к зажиму В;  
 $R_c$  – сопротивление провода, подключенного к зажиму С.

Снимают две подгоночные катушки с колодки  $K_2$  и уменьшают сопротивление катушки  $R_b^{/}$  на величину сопротивления  $R_b$  и сопротивление  $R_{\Delta 2}$  на величину  $R_2$ .

Ставят катушки на клемменную колодку, снимают перемычки с зажимов, присоединяют к прибору.

Питание измерительной схемы моста осуществляется переменным током. Одна из вершин диагонали питания находится непосредственно у термометра сопротивления так, что к термометру идут три провода (трехпроводная линия связи). Включение проводов линии в соединение плечи моста уменьшают погрешность от измерения линии связи. Сопротивление провода питания на равновесие моста не влияет, от него зависит только величина тока источника питания. Напряжение питания выбирается исходя из допустимого тока, протекающего через термометр сопротивления. Для предотвращения погрешности от самонагрева, тепловая энергия в термометре или мощность рассеивания должна быть не более 10 мВт.

Принципиальная схема электронного усилителя представлена на рисунке 4. Усилитель состоит из 4-х узлов:

- входного устройства;
- усилителя напряжения;
- усилителя мощности;
- источника питания.

Входное устройство состоит из вибропреобразователя ВП (усилителя постоянного тока типа УПД) и входного трансформатора Т1.

С помощью вибропреобразователя в усилителях постоянного тока типа УПД1 осуществляется преобразование напряжения тока в напряжение переменного тока частотой 50 Гц. Для обеспечения помехо-устойчивости в усилителях введена специальная экранировка вывод которой расположен на входном разъеме Ш1. Со вторичной обмотки входного трансформатора сигнал поступает на вход усилителя, состоящего из пяти каскадов.

Первые четыре каскада Т1, Т2, Т3, Т4 выполнены по схеме с общим эмиттером и разбиты на две группы, связанные между собой через конденсатор связи С3, пятый каскад Т5 и Т6 – по схеме составного эмиттерного повторителя с применением транзисторов различного типа. Переменный резистор R10 является регулятором чувствительности, R11 регулирует величину обратной связи (через ограничительный резистор величиной 75 кОм), либо с выхода тахометрического моста, включаемого в выходную цепь усилителя.

Усилитель мощности выполнен по схеме последовательно баланса с включением транзисторов Т7 и Т8 по схеме с общим эмиттером. Связь усилителя мощности с усилителем напряжения осуществляется через переходной трансформатор Т2.

Питание усилителя осуществляется от силового трансформатора Т3, питающего выпрямителя. Выпрямитель на диодах VD4 и VD5 питает усилитель напряжения, а на диодах VD6, VD7, VD8 и VD9 – усилитель мощности. Обмотка П силового трансформатора имеет специальную экранировку и предназначена для питания измерительной схемы прибора или вибропреобразователя и ИПСа.

Особенности конструкции и монтажа прибора КСМ2-029.

Для обеспечения искробезопасности измерительной схемы КСМ2-029 в конструкцию прибора внесены следующие изменения и дополнения:

В приборах монтаж искробезопасных цепей выполнен проводом МГШВ в изоляции синего цвета, в отдельных жгутах, помещены в полихлорвиниловую трубку также синего цвета.

Ввод искробезопасных цепей в прибор осуществляется отдельными колодками и разъемами.

Жгуты силовых цепей заключены в металлические экраны, заземлены.

Платы печатного монтажа заливаются эпоксидным компаундом.

На панели межблочных коммуникаций (печатная плата) измерительная цепь отделена от силовой цепи заземленным экраном (печатная дорожка).

На лицевой стороне корпуса прибора установлен щиток с надписями ”Вход

ИО „  
водород

Колодки, к которым подходят искробезопасные цепи, закрыты защитными экранами и запломбированы. Колодки имеют обозначение “Искробезопасная цепь”.

Штепсельные разъемы искробезопасных, силовых цепей и цепей регулирования конструктивно выполнены в приборе таким образом, что исключает возможность включения силовых штепсельных разъемов в искробезопасную цепь.

В приборах применены полупроводниковые усилители типа УПД 1, прошедшие испытания на искробезопасность в установленном порядке.

Для обеспечения искробезопасности стабилизированного источника питания, вторичная обмотка трансформатора зашунтирована конденсатором 0,01 мкФ включенным по 4-проводной схеме.

В приборах искробезопасного исполнения применены усилители и источник питания в искробезопасном исполнении.

### 3 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- автоматический, электронный, показывающий, печатающий мост типа КСМ2-029 гр.22 на 6 точек
- магазин Р33
- нагреватель с тремя термометрами сопротивления, установленных в разных местах нагревателя
- проверка автоматического электронного моста производится по образцовому магазину Р33, т.к. электронный мост рассчитан на 6 точек измерения, а в работе задействованы только три датчика, до точки
  - 1,4-закорочены на первый датчик
  - 2,5-на второй датчик
  - 3,6-на третий датчик.

Таким образом, кривую изменения температуры первого датчика будут показывать 1,4 второго 2,5 третьего 3,6.

Переключки между контактами датчиков установлены на входной колодке внутри прибора. Входные цепи прибора выведены на лицевую панель стенда на нижние клеммы. Соединительные провода датчиков на верхние клеммы через сопротивления.

$R^{\wedge} = 2,5 \text{ Ом}$ . Для подключения датчиков к вторичному прибору необходимо поставить переключки между клеммами датчика и выходными клеммами вторичного прибора.

#### 4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Ознакомиться с устройством и принципом действия автоматического электронного моста КСМ2-029, термометрами сопротивления гр.22.

4.2 Подключить первый датчик к магазину Р33, замерить сопротивление датчика при комнатной температуре и, нагревая его проградуировать по термометру. Результат свести в таблицу 1

**Таблица 1 – Измерение температуры термометра сопротивления гр. 22**

Температура, °С	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Сопротивление Эл. термометра В Ом									

Построить график  $RT = f(t \text{ } ^\circ\text{C})$

4.3 Подключить магазин Р33 к нижним клеммам 1 датчика на вход автоматического моста КСМ2-029 и проградуировать мост по градуировочной таблице гр.22 (результаты свести в таблицу 2).

**Таблица 2 – Результаты измерений нагревания термометра сопротивления гр. 22**

построить график зависимости  $n = f(RT)$ .

4.4 Подключить все датчики к прибору (поставить переключки), включить нагреватель и диаграмму и снять кривые нагревания (результат свести в таблицу 4)

**Таблица 3 – Градуировочная таблица для платиновых термометров гр.22 (R = 100 Ом)**

°C	Сопротивление Ом	°C	Сопротивление Ом	°C	Сопротивление Ом
0	100	170	165,78	340	228,17
10	103,96	180	196,54	350	231,73
20	107,91	190	173,29	360	235,29
30	111,85	200	177,03	370	238,83
40	115,78	210	180,76	380	242,36
50	119,70	220	184,48	390	245,88
60	123,60	230	188,18	400	249,38
70	127,49	240	191,88	410	252,88
80	131,37	250	195,56	420	256,36
90	135,24	260	199,23	430	259,83
100	139,10	270	202,89	440	263,29
110	142,95	280	206,53	450	266,74
120	146,78	290	210,17	460	270,18
130	150,50	300	213,79	470	273,60
140	154,41	310	217,40	480	277,01
150	158,21	320	221,00	490	280,41
160	162,00	330	224,59	500	283,80

**Таблица 4 – Результаты измерений температуры по датчикам**

Время В мин	Температура 1 датчика °C	Температура 2 датчика °C	Температура 3 датчика °C	Температура 4 датчика °C	Температура 5 датчика °C	Температура 6 датчика °C

Построить кривые нагревания шести точек.

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Принцип действия электронного моста КСМ2-029.
- 6.2 Принцип действия и конструкция платинового термометра.
- 6.3 Объяснить, как изменить верхний и нижний пределы измерения.
- 6.4 Объяснить, что произойдет, если увеличить в 2 раза напряжение питания мостовой схемы.
- 6.5 От каких элементов измерительной схемы зависит линейность шкалы прибора.
- 6.6 Достоинство 3-х проводной линии соединения термометров сопротивления.
- 6.7 Равновесные и неравновесные мостовые схемы (определения, основные соотношения, области применения).
- 6.8 Принцип работы усилителя УПД 1 (усилителя напряжения, усилителя мощности).
- 6.9 Классификация автоматических мостов выпускаемых промышленностью.

## 7 ЛИТЕРАТУРА

- 7.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 7.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 7.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.
- 7.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 7.5 Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 7.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 5

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОПТИЧЕСКИМ ПИРОМЕТРОМ ОППИР-017 И РАДИАЦИОННЫМ ПИРОМЕТРОМ РАПИР

**1 Цель занятия** – изучить принцип действия и конструкцию оптического пирометра ОППИР-017 и радиационного пирометра РАПИР.

Определить температуру тела с помощью оптического, радиационного пирометров в разных точках диапазона измерения.

Уяснить разницу между яркостной и радиационной температурами.

### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИРОМЕТРА ОППИР-017

Пирометры излучения

Средства измерений температуры тел по их тепловому излучению называют пирометрами излучения или просто пирометрами. Они широко применяются для измерения температуры тел от 100 до 6000 °С и выше. Действие этих приборов основано на измерении излучаемой теплом энергии, зависящей от его температуры и физико-химических свойств.

В отличие от других типов пирометров измерительный преобразователь пирометра излучения при измерении не подвергается вредному влиянию высокой температуры и не искажает температурного поля, так как находится вне измеряемой среды.

Законы излучения нагретых тел

В пирометрии излучения в качестве величины характеризующей тепловое излучение тел, применяют энергетическую яркость (лучистость), под которой понимают мощность излучения в единичный телесный угол с единицы площади проекции поверхности тела на плоскость, перпендикулярную данному направлению. Полная энергетическая яркость тела определяется выражением:

$$V(T) = V(\lambda, T), \quad (2.1)$$

где  $V(T)$  – полная энергетическая яркость при температуре  $T$ , Вт/ср м<sup>2</sup>;

$V(\lambda, T)$  – спектральная энергетическая яркость, отнесенная к очень узкой области спектра  $d\lambda$ , Вт/ср м<sup>3</sup>.

Все реальные тела по степени поглощения (или излучения) лучистой энергии отличаются от абсолютного черного тела и имеют коэффициент поглощения  $\epsilon$  (или коэффициент излучения  $\alpha$ ) меньше единицы.

Полный коэффициент излучения

$$\epsilon(T) = V(T) / V_0(T), \quad (2.2)$$

где  $\epsilon(T)$  – полный коэффициент излучения, взятый из таблиц;  
 $V(T)$  и  $V_0(T)$  – полная энергетическая яркость соответственно реального и черного тела при температуре  $T$ , Вт/ср м<sup>2</sup>.

Спектральный коэффициент излучения:

$$\epsilon(T) = V(\lambda, T) / V_0(\lambda, T), \quad (2.3)$$

где  $\varepsilon(T)$  – полный коэффициент излучения, взятый из таблиц;  
 $B(\lambda, T)$  и  $B_0(\lambda, T)$  – спектральная энергетическая яркость соответственно реального и черного тела, Вт/ср м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что для любого тела спектральные коэффициенты излучения и поглощения равны:

$$\varepsilon(\lambda) = \alpha(\lambda), \quad (2.4)$$

где  $\alpha(\lambda)$  – спектральный коэффициент излучения, взятый из таблиц (см. приложение);

С повышением температуры нагретого тела  $B(T)$  быстро возрастает. При нагреве до 500 °С тело излучает невидимые инфракрасные (тепловые) лучи большой длины волны.

Дальнейшее увеличение температуры вызывает появление видимых лучей меньшей длины волны, благодаря, которым тело начинает светиться (видимая часть спектра лежит в пределах длин волн от 0,40 до 0,76 мкм).

В начале раскаленное тело имеет темно-красный цвет, который по мере роста температуры и появления лучей постепенно убывающей длины волны переходит в красный, оранжевый, желтый и, наконец, белый цвет, состоящий из комплекса лучей разной длины волны.

Одновременно с увеличением температуры нагретого тела и изменением его цвета сильно возрастает спектральная энергетическая яркость  $B(\lambda, T)$  для данной длины волны, а также заметно увеличивается полная энергетическая яркость  $B(T)$ , что позволяет использовать эти две величины для измерения температуры тел.

Поскольку измерительная способность реальных тел зависит от их индивидуальных особенностей (от состава вещества, состояние его поверхности и значения температуры), возникает необходимость градуировать пирометры по излучению черного тела.

Применяя эти пирометры для измерения температуры реальных тел, мы получаем значения температур, отличающихся от действительных. Их называют условными температурами (яркостными, цветовыми, радиационными).

Переход от условных температур к действительным осуществляют по специальным формулам. Для этого необходимо учитывать коэффициенты излучения реальных тел.

Спектральная энергетическая яркость абсолютно черного тела описывается уравнением Планка:

$$B_0(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1}, \quad (2.5)$$

где  $B_0(\lambda, T)$  - Спектральная яркость;  
 $C_1$  и  $C_2$  – постоянные коэффициенты ( $C_1 = 1,191 \cdot 10^{-16}$  Вт м<sup>2</sup>/ср,  $C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$  мК);

$\lambda$  – длина волны, м;  
 $T$  – температура тела, К;  
 $e$  – основание натуральных логарифмов.

Зависимость, представленная уравнением (2.5), приведена на рисунке 1, из которого следует, что  $B_0(\lambda, T)$  сильно возрастает с повышением температуры, но весьма неодинаково для лучей различной длины волны и при любой температуре имеет определенный максимум, смещенный для высоких температур в область коротковолновой части спектра.

Для области видимых (коротковолновых) лучей сравнительно невысоких температур до (2900 К) уравнение (2.5) может быть значительно упрощено, если отбросить вычитаемую в скобках единицу, причем ошибка в определении  $B_0(\lambda, T)$  не будет превышать 1%. Упрощенное уравнение, предложенное Вином, имеет вид:

$$V_0(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}, \quad (2.6)$$

где  $V_0(\lambda, T)$  - Спектральная яркость;  
 $C_1$  и  $C_2$  – постоянные коэффициенты ( $C_1 = 1,191 \cdot 10^{-16}$  Вт м<sup>2</sup>/ср,  
 $C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$  мК);  
 $\lambda$  – длина волны, м;  
 $e$  – основание натуральных логарифмов;  
 $T$  – температура тела, К.

Уравнение (2.6) положено в основу измерения температуры по спектральной энергетической яркости, т.е. яркости монохроматического излучения нагретого тела в лучах определенной длины волны  $\lambda$ , равной обычно 0,65 мкм (красный цвет), при помощи приборов, называемых оптическими пирометрами.

Условную температуру, измеренную этим методом, называют яркостной температурой. Полная энергетическая яркость абсолютного черного тела  $V_0(T)$  при различных температурах определяется площадью, ограниченной кривыми на рисунке 1, и может быть найдена путем интегрирования уравнения (2.5) в пределах измерений от 0 до  $\infty$ . В результате получаем уравнение Стефана-Больцмана:

$$V_0(T) = \sigma_0 T^4, \quad (2.7)$$

где  $V_0(T)$  – полная энергетическая яркость соответственно реального и черного тела при температуре  $T$ , Вт/ср м<sup>2</sup>;  
 $\sigma_0$  – постоянная, равная 1,805 Вт/ср•м<sup>2</sup>•К<sup>4</sup>;  
 $T$  – температура тела, К.

Уравнение (2.7) в свою очередь положено в основу измерения температуры тел по их полному тепловому излучению посредством приборов, называемых ПИРОМЕТРАМИ ПОЛНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ или радиационными.

Условную температуру, измеренную этим методом, называют радиационной температурой.

Спектральная яркость  $V_0(\lambda, T)$  возрастает чрезвычайно быстро, почти пропорционально 15-20-й степени увеличения абсолютной температуры тела, в то время как рост полной яркости  $V_0(T)$  пропорционален только 4-й степени увеличения температуры.

В силу этого яркостные пирометры являются приборами более высокого класса точности, чем радиационные пирометры.

ЯРКОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ реального тела  $T_\lambda$  в свете длины волны  $\lambda_\lambda$  называется такая температура черного тела, имеющего температуру  $T$  и черного тела в лучах той же длины равны между собой. Согласно этому:

$$V(\lambda_\lambda, T) = \varepsilon(\lambda) \cdot V_0(\lambda_\lambda, T) = V_0(\lambda_\lambda, T) \quad (2.8)$$

где  $V$  - полная энергетическая яркость;  
 $V_0$  - спектральная яркость;  
 $\lambda_\lambda$  – длина волны монохроматического излучения, определяемая светофильтром, мкм (обычно  $\lambda = 0,65$  мкм);  
 $T$  – температура тела, К;  
 $\varepsilon(\lambda)$  – спектральный коэффициент излучения, взятый из таблиц (см. приложение);

С учетом выражения (2.6) действительная температура тела

$$T = \left( \frac{I}{T_{я}} \cdot \frac{\lambda_{э}}{C_2} \cdot \frac{I}{\varepsilon(\lambda)} \right) \quad (2.9)$$

где  $T$  – температура тела, К;  
 $\lambda_{э}$  – длина волны монохроматического излучения,  
 $T_{я}$  – яркостная температура, измеренная с помощью оптического пирометра, К;  
 $\varepsilon(\lambda)$  – спектральный коэффициент излучения, взятый из таблиц (см. приложение);  
 $\lambda_{э}$  – длина волны монохроматического излучения, определяемая светофильтром, мкм (обычно  $\lambda = 0,65$  мкм);  
 $C_2 = 1,44 \cdot 10^{-2}$  м К – постоянный коэффициент.

РАДИАЦИОННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ реального тела  $T_r$  называется, такая температура черного тела, при которой его полная мощность излучения равна полной энергии, излучаемой реальным телом при температуре  $T$ .

Согласно этому

$$B(T) = \varepsilon(T) \cdot B_0(T) = B_0(T_r), \quad (2.10)$$

где  $B(T)$  – полная энергетическая яркость соответственно реального и черного тела при температуре  $T$ , Вт/ср м<sup>2</sup>;  
 $\varepsilon(T)$  – полный коэффициент излучения, взятый из таблиц;  
 $B_0(T)$  – полная энергетическая яркость соответственно реального и черного тела при температуре  $T$ , Вт/ср м<sup>2</sup>;  
 $T_r$  – радиационная температура, измеренная с помощью радиационного пирометра, К.  
С учетом уравнения (2.7) действительная температура тела

$$T = T_r \quad (2.11)$$

где  $T$  – температура тела, К;  
 $T_r$  – радиационная температура, измеренная с помощью радиационного пирометра, К.

## ОПТИЧЕСКИЙ ПИРОМЕТР ОППИР-017

Оптический пирометр ОППИР-017 или визуальный пирометр с “исчезающей“ нитью переменного накала применяется для измерения температур в диапазонах от 800 до 1400 °С и от 1200 до 2000 °С.

В момент замера производится визуальное сравнение в свете красного светофильтра яркости нагретого тела (излучателя), температуру которого измеряют накаленной нитью, встроенной в прибор пирометрической лампы. При измерении яркостной температуры дугообразную нить лампы через оптическое приспособление (телескоп) наводят на поверхность излучателя и добиваются уравнения яркостей обоих источников света путем измерения реостатом силы тока, питающего лампу.

Если яркость нити будет меньше, чем яркость излучателя рисунок 2, то на светлом фоне нить будет казаться черной (состояние 1); если же, наоборот, излучатель имеет меньшую яркость, нить будет проектироваться светлой линией на более темном фоне (состояние 2). При совпадении монохроматической яркости и излучателя, т.е. при наступлении состояния равновесия, изображение средней изогнутой части нити, имеющей более высокую температуру, чем ее концы, сольется со светлым фоном излучателя и как бы исчезнет из поля зрения наблюдается

(состояние 3). В этот момент и производится отсчет яркостной температуры тела  $T_{\text{я}}$  по шкале амперметра, включенного в цепь пирометрической лампы и градуированного в  $^{\circ}\text{C}$ .

Оптический пирометр ОППИР-017 состоит из телескопа  $T_c$  (рисунок 3), пристроенным к нему дифференциальным амперметром и источником питания постоянного тока  $B$ , напряжением 2,5 В.

Телескоп пирометра представляет собой уширенную зрительную трубку 1 с объективом 2 и окуляром 3. В фокусе объектива установлена пирометрическая лампа 4 с дугообразной вольфрамовой нитью, соединенная последовательно с реостатом 5, служащим для изменения накала нити.

Для получения монохроматического излучения с длиной волны 0,65 мкм перед окуляром установлен красный стеклянный светофильтр 8, а за ним - выходная диафрагма 9, перед которой при изменении находится глаз наблюдателя.

Между объективом и пирометрической лампой помещено поглощающее (затемненное) стекло 10, укрепленное на поворотной головке 11. Поглощающее стекло служит для верхнего предела показаний прибора, так как оно ослабляет видимую яркость излучателя в несколько раз при неизменной яркости нити лампы. Вольфрамовую нить пирометрической лампы нельзя подвергать нагреву свыше  $1400^{\circ}\text{C}$ , так как при этом может быть нарушена градуировка шкалы прибора из-за распыления нити при ее перекале и загрязнения при этом внутренних стенок колбы лампы. Поэтому встроенный в телескоп пирометра дифференциальный амперметр, состоящий из двух рамок (основной и дополнительной, включенных встречно) 12, постоянного магнита 13, стрелки 14 и шкалы 15, имеет два диапазона измерений (двойную шкалу):

первый от  $800$  до  $1400^{\circ}\text{C}$  (без поглощающего стекла),

второй от  $1200$  до  $2000^{\circ}\text{C}$  (со стеклом).

Пирометрические лампы установлены на колодке 16 с двумя контактными стержнями 17, к которым присоединены провода от аккумулятора. Сила тока, потребляемого лампой при нагреве ее до  $1400^{\circ}\text{C}$ , составляет 0,4 А.

В процессе измерения температуры наводка пирометра на излучатель производится от руки, для чего отросток 19 телескопа снабжен снизу рукояткой 20. Для настройки оптической системы пирометра на фокус и по глазу наблюдается объектив 2 и окуляр 3 могут перемещаться вдоль оси зрительной трубы. Оптическая система прибора позволяет производить измерения температуры на расстоянии 0,7-5 м от излучателя.

Момент равенства яркостей тела и нити определяется глазом наблюдателя, вследствие этого измерения температуры таким пирометром отличается известной субъективностью.

Основная погрешность измерения в первом диапазоне не превышает  $\pm 20^{\circ}\text{C}$ , а во втором  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ . За счет использования наборов поглощающих стекол выпускаются модификации пирометров с верхними пределами измерения  $3200$  и  $6000^{\circ}\text{C}$ .

Пирометры полного излучения (радиационные пирометры)

Измерение температуры пирометрами полного излучения, называемыми также радиационными пирометрами, основано на использовании теплового излучения нагретых тел.

Улавливаемые пирометром тепловые лучи концентрируются при помощи собирающей линзы на термочувствительном элементе, состоящим из небольшой термобатарей (ряда последовательно соединенных термоэлектрических термометров). Лучистый поток направляется линзой на рабочие концы термобатарей, по степени нагрева которых судят о температуре излучателя. В качестве измерительного прибора присоединяемого к термобатарее, применяется автоматический потенциометр.

Промышленность выпускает пирометр полного излучения типа РАПИР, предназначенный для стационарных измерений температуры в пределах от  $400$  до  $2500^{\circ}\text{C}$ .

Схема прибора показана на рисунке 4. В комплект его входят: телескоп  $T$  типа ТЕРА-50, измерительный прибор ИП (автоматический потенциометр типа КСП-3, гр.РК-15), панель сопротивлений ПС типа КС-20 с уравнительными и эквивалентными резисторами для обеспечения постоянной нагрузки телескопа при работе с измерительным прибором, а также для подгонки сопротивления соединительных проводов.

Устройства телескопа ТЕРА-50

В алюминиевом цилиндрическом корпусе 1 телескопа Т рисунок 4 расположены оптическая и температурная части прибора. Первая из них имеет объектив 2, улавливающий излучаемую теплом энергию, и окуляр 3 с защитным стеклом 4, служащий для контроля правильности наводки прибора на излучатель, а вторая-звздообразная термобатарея 5, помещенная в конусообразную камеру 6 с зачерненными стенками, служащими для поглощения отраженных лучей. Лучистый поток, проникающий в камеру через объектив и ограничительную диафрагму 7, падает на рабочие концы термобатареи. Компенсация измерения температуры свободных концов термобатареи, расположенных в кольцевом зазоре корпуса телескопа, обеспечивается шунтирующим медным резистором 8. Чувствительность прибора регулируется перемещением по резьбе диафрагмы 7 с помощью зубчатого барабана 9.

Два зажима 10 служат для присоединения телескопа к вторичному прибору проводами, выходящими через штуцер 11 с резиновым уплотнением 12. Крепление телескопа производится фланцем 13 с отверстиями для шпилек.

Звздообразная термобатарея пирометра рисунок 5 состоит из 10 хромель-копелевых термосопротивлений, рабочие концы 1 которых, расклепанные в форме небольших треугольников, зачернены и наклеены на тонкую слюдяную пластинку 2. Свободные концы термобатареи приварены к металлическим пластинкам 3, укрепленным на слюдяном кольце 4.

К двум пластинкам 5 присоединяются медные выводы термобатареи. При измерениях температура свободных концов термобатареи равна температуре корпуса телескопа.

Телескоп типа ТЕРА-50 позволяет измерять среднюю температуру поверхности излучателя  $d$  35-75 мм на расстоянии от излучателя от 400 до 1500 мм. Инерционность телескопа 4 с.

Соединительные провода подводятся к телескопу в металлическом гибком шланге. Градуировочное сопротивление соединительных линий для автоматических потенциометров не должно превышать 100 Ом.

Основная погрешность измерений радиационной температуры в диапазоне от 2200 до 2500 °С не превышает  $\pm 30$  °С.

Схема установки для проведения лабораторного занятия

Для проведения лабораторного занятия собрана установка рисунок 7, которая включает в себя: муфельную печь 1 с расположенным внутри нее стальным образцом 2. Температура образца контролируется термоэлектрическим термометром 3 и переносным потенциометром 4 типа Р4833. Одновременно температура образца может измеряться оптическим пирометром 5 типа ОППИР -017 и радиационным пирометром типа РАПИР, включающим в себя телескоп 7 типа ТЕРА-50 и измерительный прибор 8, в качестве которого используется автоматический потенциометр КСПЗ с градуировкой РК-15.

Для питания оптического пирометра используется аккумуляторная батарея 6 напряжением 2,5 В.

### 3 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- муфельная печь
- термоэлектрический термометр
- прибор универсальный Р4833
- оптический пирометр ОППИР-017
- радиационный пирометр РАПИР
- телескоп ТЕРА-50
- измерительный прибор
- автоматический потенциометр КСПЗ с гр. РК-75

### 4 ЗАДАНИЕ

- 4.1 Усвоить теоретический материал;
- 4.2 Ознакомиться с принципом действия оптического пирометра ОППИР -017 и радиационного РАПИР пирометра, и с порядком работы с ними;
- 4.3 Произвести измерения температуры стального образца в процессе его нагрева до 1200 °С с помощью пирометров ОППИР-017 и РАПИР; начиная с нижних пределов измерения этих приборов;

## 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Одновременно производить контроль действительной температуры стального образца с помощью термоэлектрического термометра;

5.2 Используя полученные данные и формулы (2.9) и (2.11), вычислить спектральный коэффициент излучения  $\epsilon(\lambda)$  и полный коэффициент излучения  $\epsilon(T)$  для стального образца и сравнить его с табличным;

5.3 В отчете привести схему установки для проведения лабораторной работы и упрощенные принципиальные схемы оптического и радиационного пирометров, кроме того привести таблицу замеров температуры стального образца в процессе его нагрева, графики измерения его действительной температуры во времени, измеренной ОППИР-017 и РАПИР (по данным таблицы) и значения полученных коэффициентов  $\epsilon(\lambda)$  и  $\epsilon(T)$ .

**Таблица 1 – Замер температуры стального образца**

Показани я Термоэле к- трического о термомет ра мВ	Показани я Термоэле к- трического о термомет ра °С	Показани я Оптическ - ого пирометр а °С	Вычисл е- нные значени я $\epsilon(\lambda)$	Табличны е значения $\epsilon(\lambda)$	Показан ия Радиа- ционного пиромет ра °С	Вычисл е- нные значени я $\epsilon(T)$	Табличны е значени я $\epsilon(T)$
1	2	3	4	5	6	7	8
	600						
	700						
	800						
	900						
	1000						
	1100						
	1200						

## 6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

## 7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Назначение и принцип действия оптического пирометра ОППИР-017.
- 7.2 Рассказать устройство оптического пирометра ОППИР-017.
- 7.3 Дать определение “яркостной температуре“ и действительной температуре тела.
- 7.4 Законы Планка и Вина.
- 7.5 Назначение и принцип действия телескопа ТЕРА-50 радиационного пирометра.
- 7.6 Закон Стефана-Больцмана.
- 7.7 Дать определение радиационной температуре и действительной температуре тела.
- 7.8 Назвать преимущества пирометров излучения.
- 7.9 Назвать недостатки пирометров излучения.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.
- 8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 8.5 Фарзана Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

**Таблица 2 – Значение спектрального коэффициента излучения  $\epsilon(\lambda)$  для различных материалов**

Вещество	$\epsilon$ 0,65 мкм	Вещество	$\epsilon$ 0,65 мкм
Серебро	0,17	Вольфрам	0,45
Медь	0,11	Медь окисленная	0,70
Золото	0,13	Шамот	0,75
Платинородий	0,27	Сталь окисленная	0,80
Платина	0,33	Углерод	0,80
Нихром	0,35	Никель окисленная	0,85
Никель	0,36	Уголь	0,85
Чугун	0,37	Нихром окисленный	0,90
Железо	0,39	Железо окисленное	0,95
Сталь	0,44	Графит в порошке	0,95
углеродистая			

**Таблица 3 – Значения полных коэффициентов излучения  $\varepsilon$  (Т) для различных материалов**

Вещество	Температура, °С	$\varepsilon$ (Т)
Серебро	1000	0,035
Никель	1000-1400	0,056-0,069
Железо	1000-1400	0,08-0,13
Медь	1100-1300	0,13-0,15
расплавленная	1000-3000	0,15-0,34
Вольфрам	1300	0,29
Чугун	110-1500	0,52
Уголь	770-1040	0,52-0,56
Стальное литье		
полированное	600-1300	0,54-0,87
Окись никеля	1100	0,75
Кирпич	500-1200	0,85-0,89
шамотный		
Окись железа		

Таблица 4 – Градуировочная таблица Платинородий-платина-градуировка ПП-1 (Перевод °С в абсолютные милливольты). Свободные концы при °С

°С	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Милливольты										
0	0	0,055	0,112	0,173	0,243	0,299	0,364	0,432	0,500	0,571
100	0,643	0,717	0,762	0,869	0,947	1,026	1,106	1,187	1,269	1,352
200	1,436	1,521	1,606	1,692	1,779	1,867	1,955	2,044	2,133	2,223
300	2,314	2,406	2,498	2,591	2,684	2,777	2,871	2,965	3,060	3,154
400	3,249	3,345	3,440	3,536	3,633	3,730	3,826	3,923	4,021	4,119
500	4,218	4,316	4,415	4,515	4,615	4,715	4,815	4,915	5,016	5,118
600	5,220	5,322	5,425	5,528	5,631	5,734	5,837	5,941	6,046	6,151
700	6,256	6,362	6,467	6,573	6,679	6,786	6,893	7,000	7,108	7,216
800	7,325	7,434	7,543	7,653	7,763	7,872	7,983	8,094	8,205	8,316
900	8,428	8,540	8,653	8,765	8,878	8,992	9,106	9,220	9,334	9,449
1000	9,564	9,679	9,795	9,911	10,02	10,14	10,26	10,37	10,49	10,61
1100	10,73	10,85	10,96	11,08	8	5	2	9	6	4
1200	2	0	8	6	11,20	11,32	11,44	11,56	11,68	11,80
1300	11,92	12,04	12,16	12,28	5	4	3	3	3	3
1400	3	3	3	4	12,40	12,52	12,64	12,76	12,88	13,00
1500	13,12	13,25	13,37	13,49	4	5	5	6	7	8
1600	9	0	1	2	13,61	13,73	13,85	13,97	14,09	14,21
	14,33	14,45	14,57	14,69	3	4	5	5	6	7
	8	8	9	9	14,81	14,93	15,05	15,17	15,29	15,41
	15,53	15,65	15,77	15,89	9	9	9	6	8	8
	7	6	5	3	16,01	16,12	16,24	16,36	16,48	16,59
	16,71				1	9	7	4	1	8
	4									

ПОВЕРКА ДИСТАНЦИОННОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МИКРОАНОМЕТРА ДВ-4 ПО ОПТИЧЕСКОМУ МИКРОАНОМЕТРУ ОМ-6

1 Цель занятия – ознакомление с принципом действия, конструкцией и техническими характеристиками микроанометров типа ДВ-4 и ОМ-6, изучение методики поверки микроанометров. Получение практических навыков по поверке микроанометра типа ДВ-4.

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИСТАНЦИОННОГО ВЫСОКОЧАСТОТНОГО МИКРОАНОМЕТРА ДВ-4 ПО ОПТИЧЕСКОМУ МИКРОАНОМЕТРУ ОМ-6

Давлением жидкости, газа или пара называют силу, действующую равномерно на площадь, а единицей давления – единицу силы, действующую равномерно на единицу площади.

При измерении различают атмосферное, избыточное, вакуумметрическое и абсолютное давления.

Атмосферное (барометрическое) давление  $P_6$  создается массой воздушного столба земной атмосферы. Оно имеет переменное значение.

Избыточное давление  $P_{и}$  выражает превышение давления среды над атмосферным давлением.

Вакуумметрическое давление  $P_{в}$  среды может быть больше или меньше атмосферного.

В первом случае абсолютное давление равно сумме атмосферного и избыточного давлений:

$$P_a = P_6 + P_{и}, \quad (2.1)$$

где  $P_a$  – абсолютное давление;  
 $P_6$  - атмосферное (барометрическое) давление;  
 $P_{и}$  - избыточное давление.

Во втором случае абсолютное давление меньше атмосферного на величину вакуумметрического давления, т.е.:

$$P_a = P_6 - P_{в}, \quad (2.2)$$

где  $P_a$  – абсолютное давление;  
 $P_6$  - атмосферное (барометрическое) давление;  
 $P_{в}$  - вакуумметрическое давление.

В частном случае, когда  $P_{и}$  и  $P_{в}$  равно нулю, абсолютное давление равно атмосферному.

Полное давление движущейся среды  $P_{п}$  складывается из статического  $P_c$  и динамического  $P_d$  давлений, т.е.:

$$P_{п} = P_c + P_d, \quad (2.3)$$

где  $P_{п}$  – полное давление движущейся среды;  
 $P_c$  – статическое давление;  
 $P_d$  – динамическое давление.

Статическое давление  $P_c$  потока может быть избыточным или вакуумметрическим, в частном случае оно может равно атмосферному.

Динамическое давление  $P_d$ , зависящее от скорости потока (скоростной напор) для жидкости, а также для газа и пара при умеренных скоростях определяется по формуле:

$$P_d = \frac{U^2 \cdot \rho}{2}, \quad (2.4)$$

где  $P_d$  – динамическое давление;  
 $U$  – скорость движения вещества, м/с;  
 $\rho$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup>

Измерение давления основывается главным образом на уравнивании действующего усилия при помощи столба жидкости или за счет упругой деформации различных чувствительных элементов.

Используемые на практике приборы для измерения давления делятся на следующие группы:

- манометры избыточного давления – для измерения давления выше атмосферного.
- тяги-и напорометры – для измерения небольшого вакуумметрического и избыточного давлений;
- вакуумметры – для измерения вакуумметрического давления;
- мановакуумметры – для измерения избыточного и вакуумметрического давлений;
- манометры абсолютного давления – для измерения давления отсчитываемого от абсолютного нуля;
- барометры – для измерения атмосферного давления;
- дифференциальные манометры (дифманометры) – для измерения разности двух давлений (перепада давления).

Дифманометры широко применяются для измерения расхода вещества (дифманометры – расходомеры) и уровня жидкости (дифманометры – уровнемеры).

Преобразователь давления измерительный ДВ-4 (далее по тексту-преобразователь) предназначен для дистанционного измерения абсолютного давления химически активных газов в системах автоматического контроля, управления и регулирования параметров технологических процессов с целью выдачи информации в виде электрического сигнала при условии подсоединения полости сравнения преобразователя к "нулевой линии".

Преобразователь используется в комплекте с показывающими и регистрирующими измерительными приборами и устройствами, пределы измерения и внутренне сопротивление которых для соответствующих исполнений преобразователя указаны в таблице 1.

Таблица 1 - Обозначение исполнителей преобразователя ДВ- 4

Верхний предел измерения мм рт.ст. (Па)	Верхний предел выходного сигнала, мКа	Внутреннее сопротивление измерительного прибора Ом	Пределы допускаемой основной погрешности, %
1 (133)	200	350	± 2,5
5 (665)	500	1000	± 1,5
10 (1330)	500	1000	± 1,5
20 (2660)	500	1000	± 1,5
30 (3990)	500	1000	± 1,5
50 (6650)	500	1000	± 1,5
75 (9975)	500	1000	± 1,5
100 (13300)	500	1000	± 1,5
150 (19950)	500	1000	± 1,5

Нижний предел выходного сигнала преобразователя составляет 0 мКа, верхний-200 или 500 мКа постоянного тока в соответствии с таблицей 1.

При изменении измеряемого давления от нижнего до верхнего предела измерений выходной сигнал изменяется от нижнего до верхнего предельного значения пропорционально изменению давления.

Внутреннее сопротивление измерительного прибора, используемого для измерения выходного сигнала преобразователя, составляет 350 или 1000 Ом в соответствии с таблицей 1.

Допускаемое сопротивление линии связи между преобразователем и измерительным прибором не превышает 150 Ом.

Рабочими условиями эксплуатации преобразователя являются:

- напряжение питания  $36 \pm 0,18$  В;
- частота питающего напряжения  $1250 \pm 12$  Гц;
- коэффициент нелинейных искажений питающего напряжения – любое фиксированное с точностью  $\pm 1$  % значение в диапазоне от 0 до 10 %;
- температура окружающего воздуха от 10 до 35 °С;
- относительная влажность воздуха до 80 %;
- атмосферное давление от 630 до 800 мм рт.ст.

**ПРИМЕЧАНИЕ.** По требованию заказчика преобразователь может выпускаться настроенным на любую фиксированную частоту питающего напряжения  $f_{пит}$  в диапазоне от 1000 до 2000 Гц. В этом случае рабочая область значений частоты определяется как  $f_{пит} \pm 1$  % от  $f_{пит}$ .

Детали преобразователя, соприкасающиеся с измеряемой средой, изготовлены из бериллевой бронзы БрБ2 или БрБ2,5, латуни ЛС59-1, меди М2 или М3, стали СТ20 с никелевым покрытием, припоев ПОС61 и ПОС40 и резиновой смеси 9024 МРТУ 38-5-815-67.

Допускаемая основная погрешность для различных исполнений преобразователя, выраженная в процентах от нормирующего значения, не превышает пределов, указанных в таблице 1

**ПРИМЕЧАНИЕ.** За нормирующее значение принимается значение верхнего предела выходного сигнала преобразователя согласно таблице 1.

Вариация выходного сигнала не превышает 0,5 % от нормирующего значения.

Непостоянство выходного сигнала не превышает половины абсолютного значения предела допускаемой основной погрешности.

Дополнительные погрешности преобразователя не превышают:

-  $\pm 0,5\%$  от значения выходного сигнала, соответствующего измеряемому давлению, при изменении напряжения питания в пределах  $36 \pm 0,18$  В;

-  $5\%$  от нормирующего значения для преобразователя с пределами измерения 0-1 мм рт.ст. и  $1\%$  для остальных исполнений при изменении температуры окружающего воздуха на каждые  $10\text{ }^\circ\text{C}$  в диапазоне от 10 до  $35\text{ }^\circ\text{C}$ .

Преобразователь выдерживает без повреждения кратковременные (прямую или обратную) перегрузки перепадом давления  $1\text{ кгс/см}^2$  (0,1 Па).

Отклонение указателя измерительного прибора от начальной отметки при нулевом перепаде давления после трехминутной перегрузки любого знака и трехминутного "отдыха" (невозвращение) для преобразователя с пределами измерения 0-1 мм рт.ст. не превышает 5, а для остальных исполнений  $1,5\%$  от нормирующего значения.

Пределы корректировки "нуля" преобразователя не менее  $\pm 3\%$  от нормирующего значения.

Пределы корректировки "чувствительности" не менее  $\pm 3\%$  от значения выходного сигнала, соответствующего измеряемому давлению.

Потребляемая мощность преобразователя не более 1 Вт.

Габариты преобразователя не превышают по диаметру 140 мм, по высоте (без импульсных трубок) 175 мм.

Принцип действия и конструкция измерительной цепи преобразователя структурно разделяется на первичный, промежуточный и передающий преобразовательные элементы (рисунок 1).

Первичный преобразовательный элемент представляет гофрированную мембрану Мб, заключенную между верхней К<sub>рВ</sub> и нижней К<sub>рН</sub> крышками мембранного блока. На крышках имеются упоры, предохраняющие мембрану от разрушения при перегрузках.

Первичный преобразовательный элемент преобразует перепад давления на мембране в пропорциональное перемещение жесткого центра Ц.

Промежуточный преобразовательный элемент представляет дифференциальный трансформатор с постоянной длиной магнитной цепи и состоит из магнитопровода с зазором МП, катушек возбуждения L1 и L2 (первичная обмотка) и расположенного в зазоре плоского блока катушек БК, состоящего из двух прямоугольных катушек L3 и L4 (двух вторичных обмоток), помещены между слюдяными пластинками и жестко соединенных с центром мембраны.

Когда на обмотке катушек возбуждения подается напряжение переменного тока, в зазоре образуется переменное магнитное поле, которое создает в катушках БК напряжение переменного тока, разность значений которых зависит от положения блока катушек в зазоре.

Промежуточный преобразовательный элемент преобразует перемещение центра мембраны в пропорциональное изменение напряжения переменного тока в катушках L3 и L4.

Первичный и промежуточный преобразовательные элементы помещены в герметичную камеру, образованную колпаком и основанием преобразователя (на схемах не показаны), которая соединяется с "нулевой линией" и представляет полость сравнения преобразователя.

Измерительная полость, образованная мембранной и нижней крышкой мембранного блока, соединяется с технологическим объемом, в котором измеряется давление.

Подача напряжения питания и вывод измерительного сигнала с промежуточного преобразователя производится через герметичный электроввод (на схеме не показан), через который проходят пять токопроводов.

Передающий преобразовательный элемент служит для преобразования выходного сигнала в форму, удобную для дистанционной передачи. Он представляет выпрямительное устройство с элементами юстировки.

Выпрямительная фазочувствительная схема, осуществляющая двухполупериодное выпрямление тока, представляет мост из транзисторов VT1-VT4, работающих в ключевом режиме.

В каждый полупериод питающего напряжения для транзисторов в противоположных плечах мосты открыты, а два других закрыты. В следующий полупериод режимы работы транзисторов меняются.

Напряжения, управляющие работой транзисторов, снимаются со вторичных обмоток L6-L9 трансформатора Т. Резисторы R4 и R5 ограничивают управляющий ток в цепях база-коллектор.

Резисторы R1, R2, R3 и R6, R7 образуют цепи для юстировки выходного сигнала преобразователя при нулевом и номинальном перепадах давления. Переменные резисторы R2 и R7 выполняют роль корректоров "нуля" и "чувствительности".

Преобразователь с пределами измерения 0-1 мм используются в комплекте с измерительным прибором, имеющим ток полного отклонения 200 мкА и внутреннее сопротивление 350 Ом, а преобразователи других исполнений – с прибором, имеющим ток полного отклонения 500 мкА и внутреннее сопротивление 1000 Ом. При этом электрическая схема передающего преобразовательного элемента используется без изменений.

Общий вид преобразователя приведен на рисунке 1.

Преобразователь включает блок упруго чувствительного элемента 1, блок катушек 2, магнитопровод с катушками возбуждения 3, плату для крепления магнитопровода 4, шпильки 5 для крепления платы к основанию преобразователя 6, колпак полости сравнения 7, прокладку 8, болты 9, узел герметичного электропровода 10, кожух 11, электрическую плату 12 и штуцер 13. К кожуху прикреплена табличка 14.

На плоской части кожуха имеются отверстия для доступа к корректорам "нуля" и "чувствительности" с соответствующей маркировкой КНР и ЧК.

В верхней части преобразователя размещены вилка штепсельного разъема и штуцеры измерительной и сравнительной полостей с соответствующей маркировкой "+" и "-" на плоской части кожуха.

На преобразователе нанесены следующие обозначения:

- верхний предел измерения;
- номинальное напряжение питания и номинальная частота питающего напряжения;
- знаки "+" у штуцера измерительной и "-" у штуцера сравнительной полости;
- индексы КН и КЧ у корректоров "нуля" и "чувствительности".

Микроманометры оптического типа ОМ-6 предназначены для измерения перепада давления (при статическом давлении не более 0,5 кгс/см<sup>2</sup>) неагрессивных газов, а также абсолютного (по сравнению с нулевой линией) давления химически активных газов, неагрессивных к бериллиевой бронзе при температуре окружающего воздуха от + 10 до + 40 °С и относительной влажности до 80 %. (Лицевая панель прибора рисунок 2.)

Технические данные предельные номинальные перепады давления микроманометров: 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150 и 300 мм рт. ст. Класс точности прибора – 1,0. Нижний предел измерения микроманометров равен нулю. Рабочее положение приборов вертикальное с допустимым отклонением не более 10 °С в любую сторону. Основная погрешность микроманометров ± 1,0 % от верхнего предела измерения. Вариация показаний не превышает абсолютной величины основной допустимой погрешности.

Устройство и работа прибора принцип действия микроманометра основан на преобразовании упругой деформации мембраны чувствительного элемента прибора во вращательное движение зеркала.

Чувствительный элемент представляет собой мембрану, уплотненную на фторопластовой прокладке между фланцем и камерой. Упор с кольцом служит для обеспечения запаса прямого хода мембраны сверх номинального.

Измерительный механизм микроманометра, содержащий подвижную систему, укрепленную на опорах в кернах, установлен в минусовой полости измерительной камеры и позволяет осуществлять настройку прибора при сборке путем изменения его положения, в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Минусовая полость измерительной камеры образован объемом заключенным между мембранной и оправой, уплотненной с помощью резиновой прокладки.

Плюсовая полость образована объемом, находящимся под мембранной. В центре мембраны укреплен винт со стальным керном.

Вертикальное перемещение керна под действием измеряемого давления на мембрану обеспечивает поворот подвижной системы, на которой укреплено зеркало, отражающее проходящий от осветителя луч на циферблат прибора.

В корпус осветителя вмонтирована конденсаторная линза и диафрагма с нитью, образующие на циферблате световой указатель с теневой стрелкой.

Источником света является электрическая лампа ОП6-3.

Конструктивно микроманометр выполнен щитовым, устанавливаемым на вертикальных панелях с помощью имеющихся на его основании приливов с отверстиями для крепления.

На лицевой части кожуха имеется тумблер для включения осветителя прибора и корректор нуля. В нижней части имеется выход резьбовых штуцеров с резьбой М18•1,5, замаркированных знаками " + " и " - ", и штепсельный разъем питания осветителя.

### 3 ЗАДАНИЕ

3.1 Ознакомиться с работой приборов ОМ-6 и ДВ-4.

3.2 Собрать схему, приведенную на рисунке 4.

3.3 При нулевом перепаде давления произвести корректировку нулевых показаний приборов ОМ-6 и ДВ-4 с помощью корректоров нуля.

3.4 При перепаде давления 0,8 от верхнего предела измерения микроманометра ОМ-6 откорректировать чувствительность микроманометра ДВ-4 с помощью корректоров чувствительности.

3.5 Произвести поверку микроманометра ДВ-4 по образцовому микроманометру ОМ-6 при увеличении и уменьшении перепада давления и при атмосферном давлении в полостях давления.

3.6 Вычислить абсолютную, относительную и приведенную погрешности и вариацию на всех оцифрованных отметках микроманометра ДВ-4.

3.7 Данные п.п. 3.5 и п.п. 3.6 занести в таблицу 1.

### 4 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- высокочастотный микроманометр ДВ-4
- оптический микроманометр ОМ-6
- источник питания Б5-11
- генераторов сигналов ГЗ-33
- редуктор

Таблица 1 - Результаты измерений микроанометром ДВ-4

	Показания ОМ-6	Показания ДВ-4 Ход вверх.	Абсолютная Погрешность ДВ-4			Относительная погрешность	Приведенная погрешность	Вариация	Приведенная вариация	Показания ДВ-4 Ход вниз
			$\sigma_1$ ув	$\sigma_2$ ув	$\sigma_3$ ув					
	мм рт.ст Р	мм рт.ст Р <sub>1</sub>				%	%	мм рт.ст	%	мм рт.ст Р <sub>2</sub>
1										
2										
3										
4										
5										

Погрешности вычисляются следующим образом :

$$\begin{aligned} \text{-абсолютная} \quad \sigma_1 &= P_1 - P \\ \sigma_2 &= P_2 - P \end{aligned} \quad (3.5)$$

за  $\sigma$  принимаем большее из значений  $\sigma_1$  или  $\sigma_2$ ;

-приведенная

$$\frac{\sigma}{P_{MAX}} \cdot 100\% \quad (3.6)$$

-относительная

$$\frac{\sigma}{P} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

-вариация

$$V = P_1 - P_2 \quad (3.8)$$

-приведенная

$$V_{ПП} = \frac{P_1 P_2}{\frac{P_1 + P_2}{2}} \quad (3.9)$$

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную схему ОМ-6 и ДВ-4;
- электрическую схему ДВ-4 и ОМ-6;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1 Назначение микроманометров ДВ-4 и ОМ-6, их основные технические характеристики.
- 6.2 Устройство и принцип действия микроманометра ОМ-6.
- 6.3 Объяснить независимость работы корректоров нуля и чувствительности микроманометра ДВ-4.
- 6.4 Чем обусловлена высокая точность микроманометра ОМ-6.
- 6.5 Устройство и принцип действия микроманометра ДВ-4.

### 7.1 ЛИТЕРАТУРА

- 7.2 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2002. -384с.
- 7.3 Каминский М.Л. , Каминский В.М. Монтаж приборов и систем автоматизации. Изд.2е, перераб. и доп. –М.: Высшая школа, 1998.
- 7.4 Кузьменко А.И. Прибора для контроля и автоматического регулирования технологических и теплоэнергетических процессов. Изд-во Высшая школа, 1993.
- 7.5 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 1998.-303с.
- 7.6 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 1996 - 256 с.
- 7.7 Фарзанае Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 1998.-456 с.
- 7.8 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 1991.- 195 с.

## ИЗМЕРЕНИЕ ЖИДКОСТИ С ПОМОЩЬЮ РОТАМЕТРОВ

1 Цель занятия – изучить принцип действия и конструкцию ротаметров. Ознакомиться с методикой градуировки ротаметров в лабораторных условиях. Произвести градуировку ротаметра.

### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТАМЕТРА

Ротаметры относятся к приборам постоянного перепада давления, служащим для измерения объемного расхода жидкости или газа (ГОСТ 9932-61. Ротаметры стеклянные лабораторные; ГОСТ 13045-67. Ротаметры общепромышленные). Приборы устанавливаются в вертикальных трубопроводах с восходящим потоком измеряемой среды. Изменение расхода вызывает в ротаметре соответствующее изменение проходного сечения, в результате, чего перепад давления в приборе остается постоянным и равным расчетному значению.

Ротаметры имеют равномерную шкалу, что вместе с постоянством потери давления среды является их достоинством.

Поток жидкости или газа, протекающий снизу вверх в конусной трубке ротаметра рисунок 1, поднимается поплавков до тех пор, пока площадь кольцевого отверстия  $F_k$  между поплавком и внутренней поверхностью конусной трубки не достигает такого размера, при котором действующие на поплавок силы уравниваются. При достижении равновесия сил поплавков устанавливается на высоте, соответствующей определенному значению расхода.

На носовую часть поплавка снизу вверх действуют две силы: от давления потока  $q = P_1 F_n$  и сила трения потока о поплавок  $q_t = k U_{cp}^n \pi F_{б.п.}$ . Сверху вниз на поплавок действуют две силы: сила тяжести поплавка  $q_n = V_n \rho \pi g$  и сила от давления потока  $q_2 = P_2 F_n$ . Здесь  $P_1$  и  $P_2$  – среднее давление потока на единицу носовой и верхней поверхностей поплавка соответственно;  $F_n$  – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;  $k$  – коэффициент сопротивления, зависящий от степени шероховатости поверхностей и числа Рейнольдса;  $U_{cp}$  – средняя скорость потока в кольцевом отверстии  $F_k$ ;  $n$  – показатель зависящий от размера скорости  $U_{cp}$ .  $F_{б.п.}$  – площадь боковой поверхности поплавка;  $V_n$  – объем поплавка;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho$  – плотность материала поплавка.

Условие равновесия поплавка определяется выражением

$$P_1 F_n + K U_{cp}^n \pi F_{б.п.} = P_2 F_n + V_n \rho \pi g, \quad (2.1)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – среднее давление потока на единицу носовой и верхней поверхностей поплавка;

$F_n$  – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;

$K$  – коэффициент сопротивления, зависящий от степени шероховатости поверхностей и числа Рейнольдса;

$U_{cp}$  – средняя скорость потока в кольцевом отверстии;

$F_{б.п.}$  – площадь боковой поверхности поплавка;

$V_n$  – объем поплавка;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\rho$  – плотность материала поплавка.

Откуда находим разность средних давлений на носовую и верхнюю поверхности поплавка:

$$P_1 - P_2 = \frac{I}{F_n} (V_n \rho \pi g - K U_{cp}^n \pi F_{б.п.}) \quad (2.2)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – среднее давление потока на единицу носовой и верхней поверхностей поплавка;

$F_{\text{п}}$  – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;

$V_{\text{п}}$  – объем поплавка;

$q$  – ускорение свободного падения;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность материала поплавка;

$K$  – коэффициент сопротивления, зависящий от степени шероховатости поверхностей и числа Рейнольдса;

$U_{\text{ср}}$  – средняя скорость потока в кольцевом отверстии;

$F_{\text{б.п}}$  – площадь боковой поверхности поплавка.

Так как с увеличением расхода площадь кольцевого отверстия  $F_k$  увеличивается, то скорость  $U_{\text{ср}}$  при всех расходах остается постоянной, правая часть выражения (2.1) не зависит от значения расхода и для данного прибора остается постоянной. Из сказанного следует, что  $P_1 - P_2 = \text{const}$ , что и дает основание называть ротаметром расходомером постоянного перепада давления.

Разность статических давлений  $P_1 - P_2$ , действующих на поплавок с учетом гидростатического давления, не является постоянной. На значение этой разности давлений влияет сила от динамического давления потока.

$$q_{\text{д}} = \varphi F_{\text{п}} \frac{\rho U_{\text{А}}^2}{2}, \quad (2.3)$$

где  $q$  – ускорение свободного падения;

$\varphi$  – коэффициент сопротивления поплавка, зависящий от его формы;

$F_{\text{п}}$  – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;

$\rho$  – плотность жидкости (газа), протекающий через ротаметр;

$U_{\text{а}}$  – средняя скорость потока в сечении А-А (рисунок1).

С учетом выражения (2.3) и уравнения (2.2) имеем:

$$P_1 - P_2 = \frac{I}{F_n} (V_{\text{прп}q} - KU^{\text{п}} \text{ср} F_{\text{б.п.}} - \varphi F_{\text{п}} \frac{\rho U_{\text{А}}^2}{2}), \quad (2.4)$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – среднее давление потока на единицу носовой и верхней поверхностей поплавка;

$F_{\text{п}}$  – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;

$V_{\text{п}}$  – объем поплавка;

$q$  – ускорение свободного падения;

$\rho_{\text{п}}$  – плотность материала поплавка;

$K$  – коэффициент сопротивления, зависящий от степени шероховатости поверхностей и числа Рейнольдса;

$U_{\text{ср}}$  – средняя скорость потока в кольцевом отверстии;

$F_{\text{б.п}}$  – площадь боковой поверхности поплавка.

$\varphi$  – коэффициент сопротивления поплавка, зависящий от его формы;

$F_{\text{п}}$  – площадь наибольшего поперечного сечения поплавка;

$\rho$  – плотность жидкости (газа), протекающий через ротаметр;

$U_{\text{а}}$  – средняя скорость потока в сечении А-А (рисунок1).

Из этого уравнения следует, что с увеличением расхода, а следовательно, и скорости  $U_{\text{а}}$  значение перепада давления на поплавке  $P_1 - P_2$  убывает. Полный же перепад давления на ротаметре с ростом расхода будет увеличиваться. Это обуславливается ростом потери давления с увеличением расхода жидкости, протекающий через ротаметр. Для промышленных ротаметров

потери давления от установки ротаметра в линии обычно не превышает 0,1 кгс/см<sup>2</sup> для жидкостей и 0,05 кгс/см<sup>2</sup> для газов.

Для вывода уравнения расхода среды, протекающий через ротаметр, пользуются уравнением Бернулли. Так для сечений А-А и В-В (рисунок 1) можно записать

$$\frac{P_a}{\rho_q} + \frac{K_a U_a^2}{2q} + L_a = \frac{P_b}{\rho_q} + \frac{K_b U_b^2}{2q} + L_b + \xi \cdot \frac{U_b^2}{2q}, \quad (2.5)$$

где  $P_a$  – среднее статическое давление в сечении а-а, начиная с которого сказывается возмущающее воздействие поплавка на поток;

$K_a$  и  $K_b$  – коэффициенты неравномерности распределения скорости в сечениях А-А и В-В соответственно;

$\rho$  – плотность жидкости (газа), протекающий через ротаметр;

$q$  – ускорение свободного падения;

$P_b$  – среднее статическое давление в сечении В-В, проходящем в самом узком месте струи после прохода ее через кольцевое отверстие  $F_k$ ;

$U_b$  – средняя скорость потока в сечении В-В;

$\xi$  – коэффициент потери энергии на участке между сечениями А-А и В-В.

Согласно условию неразрывности струи для несжимаемой жидкости для сечения А-А и В-В справедливо равенство.

$$Q_0 = U_a F_a = U_b F_b = U_b \mu F_k, \quad (2.6)$$

где  $Q_0$  – объемный расход жидкости;

$U_a$  – средняя скорость потока в сечении А-А (рисунок 1);

$U_b$  – средняя скорость потока в сечении В-В;

$F_a$  и  $F_b$  – площадь потока в сечениях А-А и В-В;

$\mu = F_b/F_k$  – коэффициент сужения.

Из уравнения (2.5), учитывая неразрывности струи, получаем:

$$\frac{2(P_A - P_B)}{\rho} = 2g(L_B - L_A) = \frac{Q_0}{\mu^2 F^2 k} \left[ K_B + \xi \cdot K_A \mu^2 \left( \frac{F_k}{F_A} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

или

$$\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho} - 2gL = \frac{Q_0^2}{\psi \mu^2 F_k^2} \left[ K_B + \xi - K_A \mu^2 \left( \frac{F_k}{F_A} \right)^2 \right], \quad (2.8)$$

где  $L \approx L_B - L_A$ .

$$Q_0 = \alpha F_k \frac{2q F_n (\rho_n - \rho)}{\rho F_n}, \quad (2.9)$$

где  $\alpha = \alpha_1 \cdot \alpha_2 = \frac{\mu \psi}{K_B + \xi - K_A \cdot \mu^2 \left( \frac{F_k}{F_A} \right)^2} \cdot \frac{(g \cdot V_n \rho_n - F_n \lambda \rho) - q_T - Q_D}{q V_n \cdot (\rho_n - \rho)}$

Уравнение расхода (2.9) показывает, что расход среды, протекающий через ротаметр, зависит от двух переменных  $\alpha$  и  $F_k$ . При этом коэффициент расхода  $\alpha$  зависит от большего числа величины и геометрической формы поплавка.

## 2.1 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РОТАМЕТРОВ

Ротаметры широко применяются в лабораторных и промышленных условиях предназначены для измерения плавно меняющегося объемного расхода однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов с дисперсным включением инородных частиц (ГОСТ 13045-67). Они также применяются в качестве индикаторов расхода среды в газоанализаторах и других пробах.

Ротаметры выпускаются диаметром условного прохода 3-150мм, на рабочее давление 0,6-32 МПа. Класс точности приборов 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Конечное значение диапазона показаний по воде 0,0025-63 м<sup>3</sup>/ч и по воздуху при нормальном состоянии 0,04-630м<sup>3</sup>/ч.

Для экспериментальной градуировки ротаметров, предназначенных для измерений расхода жидкости или газов, применяют в качестве градуировочной среды воду или воздух (ГОСТ 13045-67).

В инструкциях по монтажу и эксплуатации ротаметров обычно приводится методика для пересчета показаний ротаметра на измеряемую среду с учетом плотности и вязкости.

В зависимости от устройства ротаметры делятся на стеклянные и металлические.

Первые из них являются лабораторными показывающими приборами, а вторые промышленными бесшкальными приборами с дифференциально - трансформаторным преобразователем, работающим в комплекте со вторичными автоматическими приборами типа КСД-2, КСД-3 и др.

На рисунке 2 показана схема ротаметра, состоящего из вертикальной стеклянной или металлической конусной трубки 1, внутри которой свободно перемещается цилиндрический поплавок (ротор) 2, изготовленный из нержавеющей стали, дюралюминия или эбонита.

Положение поплавка в конусной трубке определяет собой величину образующегося между ними кольцевого зазора для прохода измеряемой среды. При подъеме поплавка этот зазор увеличивается, а при опускании уменьшается.

Протекающая через прибор среда входит снизу через конусную трубку, поднимает в зависимости от расхода на соответствующую высоту поплавка и, пройдя через кольцевой зазор между поплавком и трубкой, покидает прибор. Таким образом, при любом расходе среды снизу на поплавок действует разность давлений появляющаяся в результате сужения потока в кольцевом зазоре, которая уравновешивается массой поплавка.

## 3 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- ротаметр
- водопроводный кран
- колба со шкалой

## 4 ЗАДАНИЕ

- 4.1 Собрать установку рисунок 2.
- 4.2 Включить воду путем открытия вентиля 4.
- 4.3 Задать минимальный расход воды вентилем 4.
- 4.4 Количество воды измерять мензуркой, а время – секундомером.
- 4.5 Во избежание вывода из строя установки вентиль подающий воду открывать медленно.

## 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения работы собирается схема. Все элементы схемы обозначены на рисунке 2. У используемого в схеме ротаметра начальное значение расхода по шкале равно 20 % номинального (прибор имеет условную шкалу, градуированную в процентах).

Расход измеряемой среды считывается по шкале, нанесенной непосредственно на внешней поверхности трубки. Указателем для отсчета служит верхняя кромка поплавка. Ротаметр градуируется по воде при нормальных параметрах – температуре 20 °С и давлением 10 1325 Па.

Перед работой следует произвести градуировку ротаметра типа ТС-3 методом объемного расхода. Процесс градуировки заключается в следующем. Через ротаметр включенный в схему рисунок 2 задают расход жидкости. Изменяя расход добиваются устойчивого положения верхнего края поплавка у поверяемого значения шкалы ротаметра (снизу-вверх). При установившемся расходе измеряют количество протекающей жидкости в единицу

времени. Затем изменяют (увеличивают или уменьшают) расход жидкости, добиваются устойчивого постоянного расхода жидкости у следующего поверяемого значения шкалы. При этом опять измеряют количество протекающей жидкости в единицу времени.

**ПРИМЕЧАНИЕ** Измерение количества протекающей жидкости в единицу времени производится по скорости наполнения мерного сосуда 2 (рисунок 2).

Необходимо произвести следующие измерения:

- 5.1 Определить минимальный расход жидкости, протекающий через ротаметр, что соответствует 10 делениям шкалы.
- 5.2 Определить минимальный расход жидкости, протекающий через ротаметр, что соответствует верхнему пределу измерения.
- 5.3 На миллиметровой бумаге построить градуированную кривую.
- 5.4 Произвести измерения расхода воды по всей шкале.
- 5.5 Определить вариацию (для каждого измерения), абсолютной, относительной и приведенной погрешностей измерений.
- 5.6 Результаты измерений по п.п 6.4 и п.п 6.5 занести в таблицу 1.

## 6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

## 7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Назначение ротаметра.

- 7.2 Объяснить для чего служат ротаметры.
- 7.3 Назвать классификацию ротаметра.
- 7.4 Объяснить конструкцию и принцип работы ротаметра.
- 7.5 Объяснить, почему ротаметры получили названия приборов постоянного перепада.
- 7.6 Рассказать, как произвести градуировку ротаметра в лабораторных условиях.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.
- 8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 8.5 Фарзанае Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

1 Цель занятия – ознакомление студентов со способом измерения расхода вещества в трубопроводе по перепаду давления в сужающем устройстве и определение коэффициента расхода  $\alpha$  экспериментальным путем.

### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

При измерениях, связанных с учетом количества жидкостей, газа или пара в различных отраслях промышленности, приходится, определять наряду с другими величинами количество вещества, проходящее через данное сечение трубопровода за какой-то промежуток времени или в единицу времени.

Прибор, измеряющий количества вещества, протекающее через данное сечение трубопровода за некоторый промежуток времени (смену, сутки и т.д) называют **счетчиком количества**. При этом количество вещества определяется, как разность двух последовательных показаний счетчика в начале и конце этого промежутка.

Количество вещества выражают обычно в единицах объема или массы. Единицами объема являются кубический метр ( $\text{м}^3$ ) и литр (л), а массы – килограмм (кг) и тонна (т).

Прибор, измеряющий расход, т.е. количество вещества, проходящее через данное сечение трубопровода в единицу времени называют **расходомером**.

Прибор, измеряющий расход и количество вещества, называют расходомером со счетчиком.

Объемный расход, обозначаемый через  $Q_0$  и массовый расход, обозначаемый через  $Q_m$ , выражают в следующих единицах:

Кубический метр в секунду ( $\text{м}^3/\text{с}$ )

Кубический метр в час ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )

Литр в час (л/ч)

Килограмм в секунду (кг/с)

Килограмм в час (кг/ч)

Тонна в час (т/ч)

Допускаются единицы, выраженные в объеме или массе, отнесенные к минуте (мин).

Одним из наиболее распространенных и изученных является способ измерения расхода жидкостей, газов и пара в трубопроводах рисунок 1 по перепаду давления сужающих устройствах, в качестве которых используют диафрагмы, сопла и сопла Вентури. Сужающее устройство выполняет функции первичного преобразователя. Оно устанавливается в трубопроводе и создает в нем местное сужение потока вещества, вследствие чего повышается скорость потока в суженном сечении по сравнению с его скоростью до сужения.

Увеличение скорости  $v$  следовательно, и кинетической энергии вызывает уменьшение потенциальной энергии потока в суженном сечении. Соответственно, статическое давление в суженном сечении будет меньше, чем в сечении до сужающего устройства. Таким образом, при протекании вещества через сужающее устройство создается перепад давления  $\Delta P = P_1 - P_2$ , зависящий от скорости потока  $v$ , следовательно, от расхода жидкости. Отсюда следует, что перепад давления, создаваемый сужающим устройством, может служить мерой расхода вещества, протекающего в трубопроводе, а численное значение расхода вещества может быть определено по перепаду давления  $\Delta P$ , измеренному дифманометром.

На основании уравнения Бернулли для несжимаемой жидкости, объемный расход  $Q_0$  можно представить в виде:

$$Q_0 = \alpha F_0 \frac{2}{\rho} (P_1 - P_2), \quad (2.1)$$

$$Q_M = \alpha F_o \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)}, \quad (2.2)$$

где  $Q_o$  – объемный расход воды;  
 $\alpha$  – коэффициент расхода;  
 $F_o$  – площадь отверстия сужающего устройства, м<sup>2</sup>;  
 $\rho$  – плотность измеряемого вещества, кг/м<sup>3</sup>;  
 $(P_1 - P_2)$  – перепад давления, Па;

Коэффициент расхода  $\alpha$  не может быть рассчитан теоретически достаточно точно, поэтому определяется экспериментальным путем. Зная  $F_o$ ,  $\rho$  и измеряя перепад давления  $\Delta P$  с помощью дифференциального манометра при нескольких значениях объемного расхода  $Q_o$ , измеряемого с помощью образцового расходомера (мерного объема и секундомера в данной работе), определяют соответствующее значение  $\alpha$  и вычисляют его средне-арифметическое значение. Последнее значение  $\alpha$  и используют для измерения  $Q_o$  и  $Q_M$  по формулам (2.1) и (2.2).

Схема установки для измерения расхода воды приведена на рисунке 2.

В качестве сужающего устройства СУ используется полностью открытый водопроводный кран. Суженная выходная часть крана по своей приближается к соплу. За площадь отверстия сужающего устройства  $F_o$  принимают площадь выходного отверстия крана диаметром 10 мм.

В качестве дифференциального манометра используется технический манометр Мн с манометрической пружиной. Плюсовая полость манометра (+) подсоединяется к сужающему устройству через клапан К<sub>2</sub>. Поскольку давление воды на выходе сужающего устройства равно атмосферному, то нет необходимости использовать дифференциальный манометр. В манометре М роль минусовой полости играет роль манометра, давление в котором всегда равно атмосферному.

Изменение объемного расхода воды  $Q_o$  от 0 до максимального значения проводят клапаном К<sub>1</sub>, а его измерение – с помощью мерного сосуда МС и секундомера СМ по формуле:

$$Q_o = \frac{V}{t}, \quad (2.3)$$

где  $Q_o$  – объемный расход воды  
 $V$  – объем мерного сосуда, м<sup>3</sup>  
 $t$  – время заполнения сосуда до верхней отметки, с.

### 3 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- водопроводный кран
- два водопроводных вентиля
- манометр
- мерный сосуд
- секундомер

### 4 ЗАДАНИЕ

- 4.1 Собрать схему для измерения расхода вещества.
- 4.2 Определить коэффициент расхода для сужающего устройства.
- 4.3 Установить различное давление на манометре.
- 4.4 Записать измерения в таблицу.

## 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1 Ознакомиться с разделом 2 методических указаний.

5.2 Определить значение коэффициента расхода для данного сужающего устройства по формуле:

$$\alpha = \frac{Q_0 \rho}{F_0 \frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (5.4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент расхода  
 $Q_0$  – объемный расход  
 $\rho$  – плотность измеряемого вещества  
 $F_0$  – площадь отверстия сужающего устройства, м<sup>2</sup>  
 $P_1 - P_2$  – перепад давления

Для этого подготовить установку к работе: при закрытом клапане  $K_1$  полностью открыть кран сужающего устройства СУ и клапан  $K_2$ , вылить воду из мерного сосуда МС установить его в раковине горизонтально. Свободный конец резинового шланга РШ направить в раковину и плавно открывая клапан  $K_1$  установить на манометре М последовательно перепады давления 1, 2, 3, 4 кгс/см<sup>2</sup> и замерить соответствующие им объемные расходы  $Q_{o1}$ ,  $Q_{o2}$ ,  $Q_{o3}$ ,  $Q_{o4}$ . Для этого после установления перепада резко направляют струю из шланга в мерный сосуд и одновременно засекают время на секундомере. После достижения уровнем воды верхней отметки (4л или 0,004 м<sup>3</sup>) останавливают секундомер и отмечают время заполнения сосуда при данном расходе. Эту операцию повторяют три раза. Аналогичным образом определяют расход при других значениях перепада. Результаты оформляются в таблице 1.

5.3 Используя полученное значение коэффициента расхода  $\alpha$ , по формуле (2.1) рассчитать расходы  $Q_0$ , соответствующие параметрам перепадам давления  $1,67 \cdot 10^5$  и  $3,24 \cdot 10^5$  Па (1,7 и 3,3 кгс/см<sup>2</sup>).

ПРИМЕЧАНИЕ. При расчетах обращать внимание на размерность физических величин, используемых в формуле.

$$\frac{1 \text{ кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2} = \frac{10 \text{ Н}}{10^{-4} \text{ м}^2} = 10^5 \text{ Па} \quad (5.5)$$

5.4 После окончания работы слить воду из мерного сосуда перекрыть клапан  $K_2$  и кран сужающего устройства СУ.

Таблица 1 – Результаты измерений

## 6 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;

## 7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Дать определение счетчикам количества и расходомера, и объяснить разницу между ними.

7.2 Назвать единицы измерения количество, объемный расход и массовый расход.

7.3 Объяснить в чем сущность метода измерения расхода по перепаду давления в сужающем устройстве.

7.4 Назовите стандартные виды сужающих устройств, их достоинства и недостатки.

7.5 Назовите другие известные приборы и способы для измерения расхода и количества вещества.

$\Delta P$ кгс/см <sup>3</sup>	$\Delta P$ Па	t,с	средне- арифметическое значение t,	$Q_o$ м <sup>3</sup> /с	$\alpha$	средне- арифметическое значение $\alpha$
1,0		t <sub>1</sub> t <sub>1</sub> t <sub>1</sub>	t <sub>1cp</sub>	Q <sub>o1</sub>	$\alpha_1$	
2,0		t <sub>2</sub> t <sub>2</sub> t <sub>2</sub>	t <sub>2cp</sub>	Q <sub>o2</sub>	$\alpha_2$	
3,0		t <sub>3</sub> t <sub>3</sub> t <sub>3</sub>	t <sub>3cp</sub>	Q <sub>o3</sub>	$\alpha_3$	
4,0		t <sub>4</sub> t <sub>4</sub> t <sub>4</sub>	t <sub>4cp</sub>	Q <sub>o4</sub>	$\alpha_4$	

7.6 Объяснить характер шкалы расходомера, использующего сужающее устройства.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.

8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.

8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.

8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.

8.5 Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.

8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

## ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАНЯТИЕ 9

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ И АБСОЛЮТНОЙ ВЛАЖНОСТИ КОМНАТНЫМ И АСПИРАЦИОННЫМ ТИПА М-34 ПСИХРОМЕТРОМ

1 Целью занятия – является изучение аспирационного психрометра, определение абсолютной и относительной влажности по номограммам.

#### 2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСПИРАЦИОННОГО ПСИХРОМЕТРА М-34

Психрометр аспирационный с электромотором М-34 служит для определения влажности и температуры воздуха.

Диапазон измерения относительной влажности воздуха при температуре окружающей среды от -10 до + 40 °С, в % от 10....100.

Диапазон измерения температуры воздуха в °С от -30.....+ 50.

Скорость воздушного потока у резервуаров термометров, создаваемые вентилятором психрометра (аспирация), должна быть на любой минуте не менее 2,0 м/с.

Напряжение питания, от сети 220 В, частотой 50 Гц.

Цена деления шкал термометров, °С не более 0,2.

Принцип работы психрометра основан на разности показаний сухого и смоченного термометров в зависимости от влажности окружающего воздуха.

Психрометр состоит из двух одинаковых ртутных термометров (рисунок 1), закрепленных в термодержателе, который состоит из трубок защиты 1, аспирационной чашки 2, воздухопроводной трубки 3 и термозащит 5.

Резервуары термометров помещены в трубки защиты, с воздушным зазором между ними. Назначение трубок защиты – предохранять резервуары термометров от нагревания солнцем, для чего наружная поверхность трубок тщательно полируется и никелируется. Сами трубки изолированы друг от друга теплоизоляционными шайбами.

Трубки защиты соединены аспирационной чашкой с воздухопроводной трубкой, на верхнем конце которой находится аспирационная головка 6.

Аспирационная головка имеет электромотор и вентилятор.

Термометры защищены с боков от механических повреждений термозащитами.

Перед работой резервуар правого термометра обвертывается батистом в один слой и смачивается дистиллированной водой при помощи резинового баллона 12 с пипеткой 10.

#### 3 ПСИХОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВ

Величина влажности атмосферного воздуха зависит от его температуры и барометрического давления.

Давление влажного воздуха  $P$  складывается из парциальных давлений сухого воздуха  $P_B$  и содержащего в нем водяного пара  $P_{п.}$ :

$$P = P_B + P_{п.} \quad (3.1)$$

где  $P$  – давление влажного воздуха;

$P_B$  – давление сухого воздуха;

$P_{п.}$  – парциальное давление водяных паров  $\frac{(H)}{M^2}$ ;

Для характеристики содержания влаги различают абсолютную и относительную влажность воздуха.

Абсолютная влажность  $\gamma_{\text{п}}$  есть весовое количество водяного пара (кг), содержащегося в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха, т.е. удельный вес водяного пара  $\gamma_{\text{п}}$  (кг/м<sup>3</sup>), находящегося в паровоздушной смеси  $\frac{(H)}{M^2}$

$$\gamma_{\text{п}} = \frac{P_{\text{п}}}{R_{\text{п}}T}, \quad (3.2)$$

где  $\gamma_{\text{п}}$  - абсолютная влажность;

$P_{\text{п}}$  – парциальное давление водяных паров  $\frac{(H)}{M^2}$

$R_{\text{п}}$  – газовая постоянная = 47,07 М/К;

$T$  – абсолютная температура влажного воздуха в К;

Относительная влажность воздуха  $\phi$  показывает степень насыщения смеси водяными парами. Она равна отношению парциального давления, содержащегося в воздухе водяного пара  $P_{\text{п}}$  к парциальному давлению, насыщенных водяных паров при той же температуре

$$\phi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{пн}}} \quad \text{или} \quad \phi = \frac{\gamma_{\text{п}}}{\gamma_{\text{пн}}}, \quad (3.3)$$

где  $P_{\text{п}}$  – парциальное давление паров в воздухе в мм рт.ст. (сухого термометра);

$P_{\text{пн}}$  – давление насыщенного пара при температуре влажного термометра в мм рт.ст (мокрого термометра);

$\gamma_{\text{пн}}$  – удельный вес насыщенного водяного пара при температуре сухого воздуха;

$\frac{H}{M^2}$ ,  $\phi$  обычно выражается в %;

Наиболее распространенным методом измерения влажности является психрометрический метод, использующий разность показаний, при одновременном измерении температуры воздуха двумя одинаковыми термометрами, у одного из которых термобаллон смачивается водой.

Приборы, построенные на этом принципе, называются психрометрами.

Мокрый термобаллон, покрытый влажной тканью, имеет более низкую температуру, вследствие охлаждения термобаллона из-за испарения воды с поверхности ткани.

Разность показаний термометров называется психрометрической разностью  $t_1-t_2$ :

где  $t_1$  – температура сухого термометра;

$t_2$  – температура мокрого термометра;

Количество воды  $q$  испаряющейся с мокрого термометра.

$$q = \varepsilon S \frac{P_{\text{пн}} - P_{\text{п}}}{B_0} \quad (\text{н/час}), \quad (3.4)$$

где  $q$  - количество воды  $q$ ;

$\varepsilon$  – постоянный коэффициент;

$S$  – поверхность термобаллона термометра;

$P_{\text{пн}}$  – давление насыщенного пара при температуре влажного термометра в мм рт.ст (мокрого термометра);

$P_{\text{п}}$  – парциальное давление паров в воздухе в мм рт.ст. (сухого термометра);  
 $B_0$  – барометрическое давление в мм рт.ст, находится следующим образом.

Измеряют давление воздуха при температуре , по барометру  $B_1$ , и по формуле находят  $B_0$

$$B_0 = \frac{T_0}{T_0 + t_1} B_1 = \frac{273}{273 + t_1} B_1, \quad (3.5)$$

где  $\varepsilon$  – постоянный коэффициент;  
 $S$  – поверхность термобаллона термометра;  
 $B_0$  – барометрическое давление в мм рт.ст. при °С;  
 $P_{\text{пн}}$  – давление насыщенного пара при температуре влажного термометра в мм рт.ст (мокрого термометра);  
 $P_{\text{п}}$  – парциальное давление паров в воздухе в мм рт.ст. (сухого термометра);  
 Количество тепла  $Q$ , затраченное на испарение этой влаги, может быть найдено из уравнения.

$$Q_1 = q r = \varepsilon r S \frac{P_{\text{пн}} - P_{\text{п}}}{B_0} \text{ (ккал/час)}, \quad (3.6)$$

где  $\varepsilon$  – постоянный коэффициент;  
 $S$  – поверхность термобаллона термометра;  
 $r$  – скрытая теплота преобразования ккал/час, но так как влажный термометр охлаждается, то к нему притекает тепло;  
 $B_0$  – барометрическое давление в мм рт.ст. при °С;  
 $P_{\text{пн}}$  – давление насыщенного пара при температуре влажного термометра в мм рт.ст (мокрого термометра);  
 $P_{\text{п}}$  – парциальное давление паров в воздухе в мм рт.ст. (сухого термометра).

$$Q_2 = \alpha S (t_1 - t_2), \quad (3.7)$$

где  $t_1$  – температура сухого термометра;  
 $t_2$  – температура мокрого термометра;  
 $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи (ккал/час) °С при равновесном режиме  $Q_1=Q_2$

$$\varepsilon r S \frac{P_{\text{пн}} - P_{\text{п}}}{B_0} = \alpha S (t_1 - t_2) \quad (3.8)$$

откуда

$$P_{\text{п}} = P_{\text{пн}} - \frac{d}{\varepsilon r} B_0, \quad (3.9)$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи (ккал/час) °С при равновесном режиме  
 $C = \varepsilon r$  - психрометрический коэффициент в таблице 2  
 $P_{\text{п}}$  – парциальное давление паров в воздухе в мм рт.ст. (сухого термометра);  
 $P_{\text{пн}}$  – давление насыщенных паров  $t_1$ , сухого термометра  
 $\varepsilon$  – постоянный коэффициент;  
 $r$  – скрытая теплота преобразования ккал/час, но так как влажный термометр охлаждается, то к нему притекает тепло;  
 $S$  – поверхность термобаллона термометра;  
 $B_0$  – барометрическое давление в мм рт.ст. при °С/

$$\varphi = \frac{P_n}{P_{\text{пн}}} = \frac{P_{\text{пн}} - CB_0(t_1 - t_2)}{P_{\text{пн}}} 100\% \quad (3.10)$$

$$P_n = P_{\text{пн}} - CB_0(t_1 - t_2) \quad (3.11)$$

где  $P_n$  – парциальное давление паров в воздухе в мм рт.ст. (сухого термометра);  
 $P_{\text{пн}}$  – давление насыщенных паров  $t_1$ , сухого термометра;  
 $C$  – зависит от скорости движения, исследуемого воздуха, омывающего термобаллон (таблица 2);  
 $B_0$  – барометрическое давление в мм рт.ст. при °С;  
 $t_1$  – температура сухого термометра;  
 $t_2$  – температура мокрого термометра;  
Давление  $P_{\text{пн}}$  и  $P_{\text{пн}}$  находятся по таблице 1.

#### 4 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- аспирационный психрометр типа М-34
- дистиллированная вода
- барометр
- стенд

#### 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Психрометр работает следующим образом: Вращением вентилятора, в психрометр всасывается воздух, который обтекая резервуары термометров, проходит по воздухопроводной трубке к вентилятору и выбрасывается им наружу через прорезы в аспирационной головке.

Благодаря протеканию потока воздуха вокруг резервуаров термометров, сухой термометр будет показывать температуру этого потока, а показания смоченного термометра будут меньше из-за охлаждения вследствие испарения воды с поверхности батиста, облегающего его резервуар.

Влажность воздуха определяется по показаниям сухого и смоченного термометров по специальным психрометрическим таблицам, а температура воздуха – по показаниям сухого термометра.

Смачивают батист на резервуаре термометра. Для этого берут резиновый баллон с пипеткой, заранее наполненный дистиллированной водой и легким нажимом доводят воду в пипетки до черточки. Если черточка отсутствует, то доводят воду не ближе чем на 1 см до края пипетки и удерживают ее на этом уровне при помощи зажима 2.

После этого пипетку вводят до отказа во внутреннюю трубку защиты и смачивают на резервуаре термометра. Выждав некоторое время, не вынимая пипетки из трубки, разжимают зажим, выбирая излишнюю воду в баллон, после чего пипетку вынимают. Включают электромотор. Через 4мин. После включения электромотора производят отсчеты по термометрам.

Вычисление влажности воздуха (абсолютной и относительной) по показаниям психрометра производится по психрометрической таблице 4. Кроме того, определение относительной влажности по показаниям психрометра можно производить по психрометрическому графику (рисунок 2).

Определение относительной влажности по психрометрическому графику производится в следующем порядке: по вертикальным линиям отмечают показания сухого термометра, а по наклонным – показания смоченного термометра; на пересечении этих линий получают значения

относительной влажности, выраженные в процентах. Линии, соответствующие десяткам процентов, обозначены на графике цифрами: 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90.

ПРИМЕР. Температура сухого термометра 21,7 °С, температура смоченного -14,3 °С.

На графике находим точку пересечения вертикальной и наклонной линий, соответствующих данным температурам; она находится выше 42, но ниже 44. Следовательно, относительная влажность будет приблизительно 43 %.

Измерения производить пять раз с интервалом 5 мин, берут среднее значение температуры, а затем по таблице 1 находят соответствующее давление насыщенных паров.

$$t_{\text{сух}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}{5} \quad (4.1)$$

$$t_{\text{вл}} = \frac{t_1' + t_2' + t_3' + t_4' + t_5'}{5} \quad (4.2)$$

Находим барометрическое давление с поправкой по барометру.

По формуле (3.1) находим относительную влажность в %.

Абсолютная влажность

$$\gamma = \frac{P_{\text{п}}}{R_{\text{п}}T} \frac{h}{M^3}, \quad (4.3)$$

где  $P_{\text{п}}$  – давление водяного пара при  $t$  сухого термометра, найденного по формуле (2) в Па;

$T$  – абсолютная температура  $273+t$ ;

$R_{\text{п}}$  – газовая постоянная для пара = 47,07м/к.

Ознакомится с психрометрической номограммой. Найти по номограмме относительную влажность и сверить с полученным результатом, проверить полученные результаты по таблице 3.

Таблица 1 – Значение измерений

Аспирационный		Комнатный	
t сухого	t влажно го	t сухого	t влажно го
t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	T <sub>1</sub>
t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>2</sub>
t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>3</sub>
t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>4</sub>
t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>5</sub>

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Дать определение абсолютной влажности.
- 7.2 Дать определение относительной влажности.
- 7.3 Дать определение точки росы.
- 7.4 Объяснить психрометрическую разность.
- 7.5 Дать определение относительной влажности по монограмме.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.
- 8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 8.5 Фарзана Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

Таблица 2 – Упругость насыщенных паров

°С	мм рт.ст	°С	мм рт.ст	°С	мм рт.ст
-5	3,00	7	7,51	19	16,5
-4	3,28	8	8,04	20	17,5
-3	3,57	9	8,61	21	18,7
-2	3,88	10	9,21	22	19,8
-1	4,22	11	9,84	23	21,1
0	4,58	12	10,5	24	22,4
1	4,93	13	11,2	25	23,8
2	5,29	14	12,0	26	25,2
3	5,68	15	12,8	27	26,7
4	6,10	16	13,6	28	28,4
5	6,54	17	14,6	29	30,0
6	7,01	18	15,5	30	31,8

Таблица 3 - Психрометрический коэффициент в зависимости от скорости

м/с	°C
0,13	$1,3 \cdot 10^{-3}$
0,20	$1,1 \cdot 10^{-3}$
0,40	$0,9 \cdot 10^{-3}$
0,80	$0,8 \cdot 10^{-3}$
2,30	$0,7 \cdot 10^{-3}$
4,00	$0,67 \cdot 10^{-3}$



Таблица 4 – Психрометрическая таблица для воздуха и выше (с искусственной циркуляцией)

Психромет - рическая разность	Температура сухого воздуха																				
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	65	68	71	73	75	76	78	80	81	81	82	83	84	85	86	86	86	87	87	88	88
3	48	53	58	60	63	65	68	70	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	82
4	33	39	43	47	51	54	57	60	62	64	66	68	68	70	71	72	74	75	75	76	77
5	20	25	31	36	40	44	48	51	54	56	58	60	62	64	65	66	68	69	69	70	71
6		12	18	25	30	34	38	42	46	48	51	54	56	58	59	61	62	63	64	65	66
7			7	14	20	24	29	34	38	41	44	45	49	51	53	55	57	58	59	60	61
8				4	10	15	20	25	30	34	36	40	43	45	47	50	52	53	54	55	56
9							11	18	23	27	30	34	37	40	42	44	46	48	49	50	51
10								10	16	20	24	28	31	34	37	40	42	44	45	46	47
11									8	13	17	22	26	29	32	35	37	39	40	42	43
12										6	11	16	20	24	27	30	32	34	36	38	40
13												9	15	19	22	25	27	30	32	34	36

ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH-РАСТВОРОВ С ПОМОЩЬЮ pH-МЕТРА pH-150M

1 Цель занятия – ознакомление с методом потенциометрического определения pH растворов и приобретение навыка в работе с лабораторным pH-метром pH-150M.

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ pH-МЕТРА 150M

Концентрация водородных ионов  $[H^+]$  – один из важнейших физико-химических параметров водных растворов, определяющих направление и скорость протекания различных процессов в водной среде.

В воде происходит непрерывный процесс разделения диссоциации ее молекул  $[HON]$  на ионы водорода  $[H^+]$  и гидроксильные ионы  $[OH^-]$  и обратный процесс соединения образовавшихся ионов в молекулы воды согласно зависимости

$$[HON] = [H^+] + [OH^-] \quad (2.1)$$

По закону действующих масс для воды и водных растворов отношение произведения концентрации водородных и гидроксильных ионов к концентрации недиссоциированных молекул при данной температуре  $t$  имеет постоянное значение.

$$\frac{[H^+] \cdot [OH^-]}{[HON]} = K_t \quad (2.2)$$

где  $K_t$  – постоянная диссоциации воды при температуре  $t$ , г-ин/л.

Поскольку диссоциация воды на ионы крайне незначительна, концентрацию недиссоциированных молекул  $H_2O$  можно считать постоянной и равной единице, тогда

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_t \quad (2.3)$$

Экспериментально определено, что при температуре  $22\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $K_{22}=10^{-7}$ , отсюда

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \quad (2.4)$$

Содержание в воде кислоты приводит к увеличению концентрации ионов водорода  $[H^+]$ , тогда как при содержании в воде щелочи наблюдается обратное явление.

Активная концентрация ионов в растворе, или активность водородных ионов равна  $a_n$ , равна  $[H^+]$ , где  $f$  – коэффициент активности.

Для воды и слабых растворов  $f=1$  и  $a_n=[H^+]$ . Для удобства кислотность и щелочность водных растворов характеризуют не активностью водородных ионов  $a_n$ , а отрицательным десятичным логарифмом этого числа, получившим условное название "водородный показатель" и обозначение pH.

$$pH = -Lg a_n \approx -Lg [H^+] = Lg \frac{1}{[H^+]}, \quad (2.5)$$

где pH – значение pH – раствора;

Lg – логарифм;

$a_n$  – активность ионов водорода в растворе.

Для воды  $[H^+] = 10^{-7}$ , значит рН для чистой воды равен 7. С возрастанием кислотности растворов рН уменьшается ( $pH < 7$ ). В щелочной среде  $pH > 7$ . Изменение рН на единицу соответствует изменению  $[H^+]$  в десять раз.

В большинстве встречающихся на практике растворов рН не бывает ниже 2 и выше 10, исключение составляет концентрированные кислоты, где рН может понижаться ниже 2 и концентрированные щелочи, у которых рН может повышаться до 14 и более.

Для измерения рН растворов обычно используют один из двух методов: колориметрический и потенциометрический.

В основе колориметрического метода (от слова " колор" - цвет) заложены свойства некоторых веществ (индикаторов) изменять свой цвет в зависимости от рН раствора. Этот метод прост и удобен и позволяет легко выяснить, является ли исследуемый раствор щелочным или кислотным, и приблизительно определить рН, так как интенсивность изменения цвета индикатора пропорциональна рН раствора.

Недостатками колориметрического метода являются:

- невозможность производить непрерывное измерение, запись и передачу результатов на расстояние, а также осуществить автоматическое регулирование величины рН. Невелика и точность измерения.

В производственных условиях применяется потенциометрический метод, заключающийся в измерении электродвижущей силы гальванической цепи, включающей испытуемый раствор, стеклянный и вспомогательный электроды.

Схема измерения величины рН раствора потенциометрическим методом приведена на рисунке 1. Главным элементом этой схемы является стеклянный, заменяющий собою водородный, электрод 2. В основе его работы используется свойство некоторых сортов стекла вступать в ионообменные реакции с водными растворами. При этом поверхность стекла обменивает ионы лития на ионы водорода, содержащиеся в растворе. Так при погружении шарика электрода в раствор между его поверхностью и раствором происходит обмен ионами, в результате которого ионы лития в поверхностных слоях стекла замещаются ионами водорода, и стеклянный электрод приобретает свойства водородного электрода.

Между поверхностью стекла и контролируемым раствором возникает разность потенциалов  $E_x$ , значение которой определяется активностью ионов водорода в растворе и его температурой:

$$E_x = E_0 + \frac{RT}{F} \lg a_{H^+} = E_0 - 2,3 \frac{RT}{F} pH, \quad (2.6)$$

где  $E_x$  – разность потенциалов;

$E_0$  – потенциал стеклянного электрода;

$R$  – газовая постоянная;

$T$  – температура раствора, К;

$F$  – число Фарадея, 96500 Кл/г•эquiv;

$a_{H^+}$  – активность ионов водорода в растворе;

$pH$  – значение рН – раствора;

$E_0$  – потенциал стеклянного электрода по отношению к стандартному электроду

$a_{H^+}=1$ .

Для создания электрической цепи при измерении принимаются контактные электроды: внутренний контактный электрод 3, осуществляющий электрический контакт с раствором, заполняющим внутреннюю часть стеклянного электрода, и внешний контактный электрод (вспомогательный) 4, осуществляющий электрический контакт с контролируемым раствором.

Для защиты от воздействия высоких температур (при изменении рН растворов, температура которых выше температура окружающего воздуха) вспомогательный электрод помещают вне контролируемого раствора и связь с ним осуществляют с помощью электрического ключа 5 – трубки, наполненной насыщенным раствором хлористого калия и заканчивающийся пробкой со стеклянным волокном 6. Раствор хлористого калия непрерывно

просачивается через стеклянное волокно пробки, предотвращая проникновение из контролируемого раствора в систему электрода 4 посторонних ионов, которые могли бы изменить значение потенциала электрода.

Электродвижущая сила электродной системы  $E$  равна алгебраической сумме потенциалов контактных электродов  $E_k$  и  $E_{всп}$ , потенциала, возникающего на внутренней поверхности стеклянного электрода  $E_{вн}$ , и потенциала, возникающего на наружной поверхности стеклянного электрода  $E_x$ . Значение  $E_x$ ,  $E_{всп}$ ,  $E_{вн}$  не зависят от состава контролируемого раствора и меняются только при изменении температуры.

$$E = E_x + E_{всп} + E_{вн} + E_k = E_0 - 2,3 \frac{RT}{E} \text{ рН}, \quad (2.7)$$

где  $E$  – ЭДС электродной системы;  
 $E_x$  – разность потенциалов;  
 $E_{всп}$  – потенциал внутренней поверхности стеклянного электрода;  
 $E_{вн}$  – потенциал наружной поверхности стеклянного электрода;  
 $E_k$  – потенциал контактных электродов;  
 $R$  – газовая постоянная;  
 $T$  – температура раствора, К;  
 $F$  – число Фарадея, 96500 Кл/г·экв;  
 $E_0$  – потенциал стеклянного электрода;

$E$  – линейно зависит от значения рН раствора. Измеряя значение  $E$  с помощью электронного милливольтметра 7, шкала которого градуирована в единицах рН, определяют значение рН контролируемого раствора.

## 2.1 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ПРИБОРА И ПОРЯДОК РАБОТЫ рН-150М

Электродная система, являющаяся датчиком, имеет большое внутреннее сопротивление, достигающего от 500 до 1000 мОм. (Проводимость стекла стеклянного электрода очень мала).

Для измерения  $E$  применяется компенсационная схема, позволяющая существенно уменьшить ток, потребляемый от датчика при изменении.

Элементарная схема, поясняющая принцип действия прибора рН-150М, приведена на рисунке 2. ЭДС ( $E$ ) сравнивается с падением напряжения на резисторе  $R$  через который протекает  $I_{вых}$  оконченного каскада усилителя. Падение напряжения  $U_{вых}$  на резисторе  $R$  противоположно по знаку ЭДС и на вход усилителя подается напряжение:

$$U_{вх} = E - U_{вых} = E - I_{вых} R, \quad (2.8)$$

где  $U_{вх}$  – напряжение вибропреобразователя;  
 $E$  – ЭДС;  
 $I_{вых}$  – ток на выходе;  
 $R$  – сопротивление резистора;  
 $U_{вых}$  – падение напряжения;

Напряжение  $U_{вх}$  преобразуется вибропреобразователем в переменное напряжение, которое затем многократно усиливается и при помощи фазочувствительного детектора вновь преобразуется в постоянное напряжение. Это напряжение управляет током  $I_{вых}$  оконченного каскада усилителя. При достаточно большом коэффициенте усилителя,  $U_{вых}$  мало отличается от ЭДС, весьма мал.

Ток  $I_{вых}$ , протекающий через резистор  $R$  и измерительный прибор  $A$ , пропорционален ЭДС и значению рН при постоянной температуре раствора.

При изменении температуры показания прибора изменяются. Измерительная схема прибора рН-150М предусматривает ручную и автоматическую компенсацию показаний при измерении температуры исследуемого раствора от 0 до 100 °С.

Кроме того, в приборе предусмотрена регулировка показаний прибора (плавная настройка по буферному раствору и регулировка размаха шкалы) при использовании различных электродных схем.

## 2.2 ПОРЯДОК РАБОТЫ рН-150М

Перед работой с рН-метром необходимо подготовить составные части рН-метра к работе.

Ручная термокомпенсация используется при постоянной температуре растворов, автоматическая – при изменяющейся температуре.

При настройке и в процессе измерения следует использовать один и тот же вид термокомпенсации. При использовании ручной термокомпенсации розетка автоматического термокомпенсатора должна быть отключена от преобразователя.

При измерениях величины рН (Eh) отсчет показаний производить после их установления, время которого зависит от буферной емкости раствора.

Обычное время установления показаний не превышает 3 мин. Однако в некоторых растворах слабой концентрации, а также при измерении рН сильноокислых и сильнощелочных растворов при температурах, близких к 0 °С, время установления показаний может достигать 10 мин.

Для установки температуры раствора при ручной термокомпенсации необходимо нажимать кнопку "РЕЖИМ" до установления единицы измерения "°С" и, вращая ручку "РУЧН.ТЕМП", установить на индикаторе необходимое значение температуры раствора, а при автоматической термокомпенсации подсоединить к вилке "R<sub>1</sub>" преобразователя автоматический термокомпенсатор.

Тип электрода, необходимого для измерений, выбирается по приложению в зависимости от температуры анализируемой среды.

Электроды промываются дистиллированной водой перед погружением в буферный или контролируемый растворы: остатки воды с электрода удаляются фильтровальной бумагой.

При эксплуатации рН-метра необходимо иметь в виду, что буферные и контрольные растворы при многократном применении могут изменить значения рН.

Прежде чем производить корректировку показаний прибора с помощью ручки "БУФЕР", необходимо убедиться в том, что погрешность измерения вызвана изменением настройки прибора, а не изменением рН буферного раствора (рН контрольного раствора).

Изменение настройки может быть обнаружено проверкой по свежеприготовленному буферному раствору.

По окончании работы с прибором электроды для измерения рН должны оставаться погруженными в воду или в 0,1н раствор соляной кислоты.

Настройка прибора производится в следующих случаях:

- при замене и (или) перезарядке электродов;
- при получении приборов из ремонта или после длительного хранения;
- при периодическом контроле основных эксплуатационно-технических характеристик, если обнаружиться их несоответствие нормируемым значениям.

В первые несколько дней эксплуатации прибора или нового измерительного электрода проверку прибора по буферным растворам следует производить каждый день, так как характеристики измерительного прибора могут измениться.

При следующей работе прибора проверка по буферным растворам может производиться реже (до 1 раза в три дня).

В случае образования пленок стеклянные электроды необходимо промыть органическими растворителями, кислотами и щелочами, после чего они должны быть проверены на буферных или контрольных растворах.

Измерение рН

Буферные растворы приготавливаются в реактиве квалификации для "рН-метрии". Реактивы для "рН-метрии" выпускаются в виде стандарт-титров, рассчитанных на приготовление 1000 мл буферного раствора каждого наименования.

Для приготовления буферных растворов применяется дистиллированная вода, прокипяченная в течение 30-40 мин для удаления растворенной углекислоты.

Значение величин рН стандартных буферных растворов приведены в приложении А.

Не следует производить проверку рН-метров по растворам, приготовленным из случайно имеющихся реактивов, так как при этом возможны значительные ошибки в значении рН приготовленных растворов.

Настройка рН-метров по буферным растворам.

Настройка рН-метра для измерения рН растворов с постоянной температурой ( $t \pm 5$  °С).

Настройку рН-метра для работы в растворах с постоянной температурой производить по буферным растворам, имеющим эту же температуру.

Рекомендуется следующий порядок настройки рН-метра по двум буферным растворам с температурой, близкой к температуре анализируемой среды.

1) выбрать род температурной компенсации;

- при ручной термокомпенсации, (автоматический термокомпенсатор отключен) вращая ручку "РУЧН.ТЕМП.", установить на индикаторе значение температуры буферных растворов, измеренное стеклянным термометром с ценной деления не более 0,5 °С;

- при автоматической термокомпенсации температура раствора должна измеряться с точностью до 1 °С, в противном случае преобразователь следует отградуировать.

2) нажимая кнопку "РЕЖИМ" на лицевой панели установить единицы измерения "рН" и, вращая резистор "рН<sub>и</sub>", расположенной на боковой стенке, установить его примерно в среднее положение;

3) погрузить электроды в первый буферный раствор с температурой  $t$  (величина рН этого буферного раствора при 20 °С равна 4,002 рН) и, вращая ось резистора "БУФЕР", установить на индикаторе значение, равное значению рН при температуре  $t$ ;

4) промыть электрод дистиллированной водой, осушить фильтровальной бумагой и погрузить во второй буферный раствор с температурой  $t$  (величина рН этого буферного раствора при 20 °С должна быть близка к началу (концу) диапазона измерения анализируемых растворов);

5) вращая ось резистора "S" на боковой стенке преобразователя, установить на индикаторе значение, равное значению рН буферного раствора при данной температуре  $t$ ;

Примечание. При применении в качестве первого буферного раствора, раствора со значением рН отличным от 4,002 рН, настройку необходимо производить методом последовательных приближений, устанавливая последовательно несколько раз сначала ручкой БУФЕР значение рН первого буферного раствора, а затем, вращая ось резистора "S"

- значение второго буферного раствора. Настройку производят до получения допустимой погрешности показаний в обоих растворах.

Настройка рН-метра для работы в растворах, температура которых отличается более чем на 5 °С.

Порядок настройки:

- настроить рН-метр для работы по двум буферным растворам, имеющим комнатную температуру ( $20 \pm 5$ ) °С (в качестве второго буферного раствора использовать раствор со значением рН при 20 °С равном 9,225);

- нагреть буферный раствор 9,22 рН до температуры ( $60 \pm 2$ ) °С (если температура измеряемых растворов ниже комнатной), и вращая ось резистора "рН<sub>и</sub>" установить на индикаторе табличное значение величины рН (таблица 1);

- погрузить электроды в буферный раствор 4,002 рН, нагретый или охлажденный до средней температуры измеряемых растворов, и сравнить показания индикатора с табличными значениями величины рН буферного раствора при температуре измерения.

В случае отличия показаний более, чем на  $\pm 0,05$  рН произведите повторную настройку.

Проведение измерений.

При измерении следует промыть электроды дистиллированной водой и погрузить в измеряемый раствор. Отсчет показаний производить по индикатору.

Измерение температуры.

Проверка термокомпенсатора производится путем сравнения показаний рН-метра, работающего в режиме измерения температуры, с показаниями ртутного термометра 3.3 Термокомпенсатор и термометр погрузить в термостагированный сосуд с интенсивно

перемешиваемой водой, выдержать в нем не менее 3 мин, после чего нажать кнопку "ВКЛ", нажимая кнопку "РЕЖИМ" установить единицы измерения "°С" и снять показания индикатора и ртутного термометра. Проверка производится при температурах (20±5), (35±5), (75±5) °С.

Если разность показаний индикатора и термометра превышает 2 °С, то необходимо произвести настройку рН-метра.

Термокомпенсатор и термометр погрузить в воду с температурой (20±2) °С и выдержать в ней не менее 3 мин, Вращая ось резистора "Т1", установить на индикаторе число, соответствующее показаниям термометра. Термокомпенсатор и термометр погрузить в кипящую воду. После установления показания температуры, вращая ось резистора "Т2", установить на индикаторе значение, соответствующее показанию термометра.

Проверьте термокомпенсатор при температурах (20±5) °С, (35±5) °С.

Измерение E<sub>h</sub>

Для измерения окислительно-восстановительного потенциала используют платиновый комбинированный электрод ЭПКЛ-03 СР или платиновый электрод ЭПЛ-02 в паре с хлорсеребряным электродом ЭВЛ-1М4.

Для проверки рН-метра при измерении E<sub>h</sub> требуется подсоединить электродную пару к преобразователю и погрузить ее в измерительную ячейку со свежеприготовленным раствором состава:

$$\frac{K_4 \{Fe(CN)_5\} 3H_2O}{K_3 \{Fe(CN)_5\}} = \frac{3,8}{13,5} \quad (2.9)$$

Далее нажмите кнопку "РЕЖИМ", установить единицы измерения "мВ".

Э.Д.С электродов при температуре 25 °С должна составлять (275±15) мВ.

При проведении измерений следует промыть электроды дистиллированной водой и погрузить их в раствор. Отсчет показаний производить по индикатору.

Измерение рХ с помощью калибровочного графика.

При помощи рН-метра могут производиться измерения активности других одновалентных и двухвалентных анионов и катионов.

Для этого серия стандартных растворов измеряется с помощью электрохимической пары, состоящей из соответствующего ионоселективного электрода и электрода сравнения, подключенных к преобразователю рН-метра.

Отсчет показаний для каждого контрольного раствора осуществляется по индикатору в режиме измерения потенциала. По полученным результатам строится калибровочный график. Измеренная в анализируемом растворе разность потенциалов сравнивается с калибровочным графиком, по которому определяется активность ионов.

При построении калибровочного графика следует руководствоваться указаниями, приведенными в эксплуатационной документации на соответствующий электрод.

### 3 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- рН-метр 150М
- колбы с буферными растворами и с исследуемыми растворами
- фильтр

## 4 ЗАДАНИЕ

4.1 С помощью прибора рН-150М определить значение рН нескольких растворов, полученных от преподавателя. При этом необходимо соблюдать определенный порядок действия.

4.2 Включить прибор в сеть напряжением 220 В и прогреть в течении 10-15 минут.

4.3 Заполнить испытуемым раствором на 2/3 стеклянный стакан и установить его на столик 10, рисунок 3. Ослабить зажим столика 10 и приподнять его до погружения наконечника электролитического ключа стеклянного электрода 9 в раствор.

4.4 Определить по термометру раствора и установить ручку ручного температурного компенсатора в соответствующее положение.

4.5 Установить переключатель в положение " рН ".

4.6 Произвести отсчет показаний спустя 5 минут после погружения стеклянного электрода в раствор. Запись результатов измерений внести в таблицу 2.

4.7 Отсчет показаний на широком диапазоне измерения (1÷14) производить по нижней шкале, а отсчет показаний на любом из узких диапазонов – предел измерения, плюс показания по верхней шкале.

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1 Физический смысл термина рН.

6.2 Объяснить математическую связь между символами рН и  $[H^+]$ .

6.3 Объяснить свойства растворов со значением рН больше 7 и меньше 7.

6.4 Объяснить потенциометрический метод определения рН.

6.5 Объяснить назначение и устройство стеклянного электрода.

6.6 Рассказать принцип действия прибора рН-150М.

ПРИМЕЧАНИЕ. Лабораторное занятие оформляется на формате А4, где должны быть представлены принципиальные схемы и таблицы наблюдений.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.

8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.

8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.

8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.

8.5 Фарзана Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.

8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.

Таблица 1 – Значения pH образцовых буферных растворов 2-го разряда.

° С	0,05 раствор тетраоксалата калия	Насыщенный При 20 °С раствор калия ионно-кислого	0,05 М раствор калия фталиево-кислого	0,025 М раствор калия фосфорно-кислого однозамещенного и 0,025 М раствор натрия фосфорно-кислого двухзамещенного	0,01 М раствор тетраборно-кислого натрия
0	1,666	-	4,003	6,984	9,464
5	1,668	-	3,999	6,951	9,395
10	1,670	-	3,998	6,923	9,332
15	1,672	-	3,999	6,900	9,276
20	1,675	-	4,002	6,881	9,225
25	1,679	3,557	4,008	6,865	9,180
30	1,683	3,552	4,015	6,853	9,139
35	1,688	3,549	4,024	6,844	9,102
40	1,694	3,547	4,035	6,838	9,068
45	1,700	3,547	4,047	6,834	9,038
50	1,707	3,549	4,060	6,833	9,011
55	1,715	3,554	4,075	6,834	8,985
60	1,723	3,560	4,091	6,836	8,962
70	1,743	3,580	4,126	6,845	8,921
80	1,766	3,609	4,164	6,859	8,885
90	1,792	3,650	4,205	6,877	8,850
95	1,806	3,674	4,227	6,886	8,833



Таблица 2 – Результаты измерений

Исследуем ый Раствор (рН) (образцовы й)	Результат ы Измерений рН-150М	Абсолютна я погрешност ь %	Относительн ая Погрешность %	Приведенн ая погрешност ь %
1				
2				
3				
4				
5				
6				

ТЕРМОМАГНИТНЫЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР НА КИСЛОРОД МН5130У4

1 Цель занятия – изучить принцип действия и конструкцию автоматического газоанализатора типа МН5130У4, ознакомиться с правилами монтажа и эксплуатации газоанализатора и определить содержание кислорода в заранее приготовленной смеси (2-3 резиновых баллона).

2 НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОМАГНИТНОГО ГАЗОАНАЛИЗАТОРА НА КИСЛОРОД МН5130У4

Магнитные газоанализаторы предназначены для непрерывного автоматического определения процентного содержания кислорода в газовых смесях.

Принцип действия этих газоанализаторов основан на резком отличии магнитных свойств кислорода по сравнению с другими газами.

Магнитные свойства газов обычно характеризуют значениями объемной магнитной восприимчивости  $\lambda$ , являющийся коэффициентом пропорциональности между восприимчивостью намагничивания  $J$  и напряженностью магнитного поля  $H$ :

$$J = \lambda \cdot H, \quad (2.1)$$

где  $J$  - восприимчивость намагничивания;  
 $\lambda$  - объемной магнитной восприимчивости;  
 $H$  - напряженность магнитного поля.

Все известные газы по значениям  $\lambda$  разделяются на парамагнитные и диамагнитные. Для парамагнитных газов  $\lambda$  имеет положительные значения, для диамагнитных - отрицательные. Молекулы парамагнитных газов притягиваются к магниту, а диамагнитные отталкиваются.

Если принять условно магнитную восприимчивость кислорода  $\lambda_{O_2}$  за 1, то магнитная восприимчивость других газов по отношению к кислороду  $\lambda/\lambda_{O_2}$  при 0 °С будет выражаться значениями, приведенными в таблице 1.

Как видно из таблицы 1 кислород является практически единственным парамагнитным газом, имеющим высокую магнитную восприимчивость, если не считать окиси азота, которой не бывает ни в продуктах горения, ни в горючих газах.

Необходимо отметить, что объемная магнитная восприимчивость газов зависит от давления и температуры, при этом для парамагнитных и диамагнитных газов эта зависимость различна.

Объемная магнитная восприимчивость смеси газов, содержащей кислород при отсутствии химического взаимодействия определяется по формуле:

$$\lambda_{см} = U \cdot \lambda + \sum_{j=1} U_j \cdot \lambda_j \quad (2.2)$$

где  $\lambda_{см}$  – кислородная часть смеси  
 $U$  – объемная концентрация кислорода в смеси  
 $\lambda$  – магнитная восприимчивость

Первый член суммы равен произведению объемной концентрации кислорода  $U$  в долях единицы на объемную магнитную восприимчивость кислорода, а остальные члены суммы равны аналогичным произведениям не кислородных компонентов смеси. Изменение  $\lambda_{см}$  в основном определяется изменением первого члена суммы, т.е. кислородной части смеси  $\lambda_{см} \approx U\lambda$ .

Таблица 2.1 – Магнитная восприимчивость газов

Газ	$\lambda / \lambda_{O_2}$	Газ	$\lambda / \lambda_{O_2}$
Кислород O <sub>2</sub>	1.0	Азот N <sub>2</sub>	- 0,004
Окись азота NO	0,360	Водяные пары	- 0,004
Воздух (21 % O <sub>2</sub> )	0,211	H <sub>2</sub> O	- 0,006
Двуокись азота NO <sub>2</sub>	- 0,001	Двуокись углерода CO <sub>2</sub>	- 0,006
Водород H <sub>2</sub>		Аммиак NH <sub>3</sub>	- 0,012
		Метан CH <sub>4</sub>	

$\lambda_{см}$  можно измерять в принципе объемную концентрацию кислорода в смеси. Однако, непосредственное измерение  $\lambda_{см}$  очень сложно, поэтому магнитные методы измерения содержания кислорода  $U$  в газовых смесях основаны на использовании вторичных явлений, связанных с парамагнитными свойствами кислорода.

Для этой цели могут быть использованы: изменение теплопроводности, изменение вязкости, эффект электромагнитной конвекции и т.д.

Наибольшее распространение получил метод, использующий явление термомагнитной конвекции, сущность, которой заключается в следующем: если нагретый электрическим током проводник (нагревательный элемент) поместить в неоднородном поле, в котором будет находиться анализируемая газовая смесь, то молекулы кислорода, оказавшиеся у нагретого проводника, будут частично терять свои магнитные свойства и вследствие этого выталкиваться из магнитного поля более холодными молекулами газа, стремящимися к магнитному полю. В результате вблизи проводника возникает вынужденное движение газовой смеси в направлении от больших напряженностей магнитного поля к меньшим.

В этом движении нагретая газовая смесь непрерывно вытесняется холодной. Образуются газовые потоки, называемые потоками термомагнитной конвекции или "магнитным ветром", вызывающие охлаждение нагревателя.

С увеличением содержания кислорода в газовой смеси усиливается термомагнитная конвекция и интенсивнее происходит охлаждение нагревательного элемента.

Изменение температуры нагревательного элемента вызывает изменение его электрического сопротивления, величина которого характеризует содержание кислорода в анализируемой газовой смеси. Изменение электрического сопротивления нагревательного элемента, являющиеся одновременно чувствительным элементом, измеряется компенсационно-мостовой схемой. Этот метод обладает достаточно высокой чувствительностью.

Газоанализатор кислорода МН5130У4 является промышленным автоматическим, самопищущим и показывающим термомагнитным многоблочным прибором, применяемым во взрывобезопасных помещениях, предназначенных для непрерывного измерения объемной концентрации кислорода во взрывобезопасных многокомпонентных газовых смесях, содержащих кроме кислорода окись углерода, двуокись углерода, метан, водород и азот.

Газоанализатор состоит из приемника и измерительного прибора, в качестве которого используется автоматический самопищущий прибор КСМ2-024 (в дальнейшем компаратор напряжения).

Параметры пробы анализируемых газовых смесей

- температура от 5 до 50 °С;
- относительная влажность не более 95 %;
- давление избыточное от 10 до 50 кПа (от 0,1 до 0,5 кгс/см<sup>2</sup>);
- объемный расход 12 ± 4 м<sup>3</sup>/с;
- содержание механических примесей не более 0,0012 г/м<sup>3</sup>;
- содержание коррозионно-активных примесей не более 0,01 г/м<sup>3</sup>;

**ПРИМЕЧАНИЕ.** Состав анализируемой газовой смеси должен исключать возможность образования взрыва (окиси углерода – не более 10 объемных %, Водорода – не более 2,6 объемных %, Метана – не более 2,5 объемных %).

Рабочие условия применения газоанализатора

- температура окружающего воздуха от 5 до 50 °С;
- относительная влажность окружающего воздуха: в месте установки приемника не более 90 % при температуре от 5 до 35 °С, не более 80 % при температуре от 35 до 50 °С; в месте установки компаратора и стабилизатора напряжения от 30 до 80 % при температуре от 5 до 50 °С;

- атмосферное давление от 90,6 до 104,6 кПа (от 680 до 785 мм рт. ст.);

- рабочее положение – вертикальное, допустимый наклон не более 5°;

- проба анализируемой газовой смеси сбрасывается в атмосферу;

- питание газоанализатора осуществляется переменным током частотой 50 Гц напряжением  $220 \pm 33$  В;

- напряжение питания блока приемника- стабилизированное 127 В.

Устройство газоанализатора

Приемник (рисунок 1) служит для преобразования неэлектрической величины – изменения концентрации кислорода в анализируемой смеси – в напряжение переменного тока. В приемнике использованы камеры с диффузионным подводом газа. Для включения магнитов в камерах при проверке нулевого показания газоанализатора имеется магнитный шунт 2 с рукояткой 1.

Компаратор напряжения служит для определения отношения напряжения, снимаемых с измерительных диагоналей двух мостов. Шкала компаратора напряжения градуирована в процентах объемной концентрации кислорода (%).

Для стабилизации напряжения питания приемника использован феррорезонансный стабилизатор напряжения С – 0,09.

Из технологического газопровода после прохождения через соответствующие вспомогательные устройства (газообразную трубку, блок очистки, побудитель расхода, манометр, ротаметр и т.д.). Сухой очищенный газ поступает в приемник газоанализатора с расходом  $12 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с (0,7л/мин.). Газовую систему приемника составляют рабочая камера и штуцерные устройства для входа и выхода пробы анализируемой газовой смеси.

Упрощенная схема электрической системы и принцип действия газоанализатора приведена на рисунке 2.

В схеме имеются два измерительных моста: сравнительный I и рабочий II. Плечами R2 и R2 сравнительного моста I являются чувствительные элементы (нагреватели), находящиеся в ячейках воздушной камеры, а плечами R3 и R4 этого же моста-постоянные резисторы. Плечи R5 и R6 рабочего моста II – это чувствительные элементы, находящиеся в ячейках рабочей камеры через, которые протекает анализируемая газовая смесь, а плечи R7 и R8 – также постоянные резисторы. Чувствительные элементы (плечи) R2 и R6 находятся в неоднородном магнитном поле. Постоянные резисторы (плечи) R3, R4, R7 и R8 размещены вне камер и вне магнитного поля.

В измерительную диагональ АВ сравнительного моста включен R<sub>p</sub>, по которому скользит движок К. Этот движок и вершина Д рабочего моста подключены на вход электронного усилителя ЭУ, управляющего реверсивным двигателем РД. Если падение напряжения в измерительной диагонали СД рабочего моста равно падению напряжения на участке ЕК реохорда, то схема находится в равновесии, сигнал на вход электронного усилителя не подается, реверсивный двигатель не работает и стрелка, кинематически связанная с двигателем, указывает какое-то значение содержания кислорода.

При изменении концентрации кислорода в газовой смеси напряжения в измерительной диагонали рабочего моста изменяется и на вход усилителя подается напряжение, которое, будучи усиленным, приводит в действие реверсивный двигатель, перемещающий движок по реохорду. Движок перемещается до тех пор, пока напряжение в измерительной диагонали рабочего моста

не уравнивается напряжением на соответствующем участке реохорда, т.е. до нового положения равновесия. С движком реохорда кинематически связана стрелка, указывающая содержание кислорода в газовой смеси.

Полная схема электрической системы

Полная схема электрической системы газоанализатора МН5130У4 приведена на рисунке

3.

Основными элементами приемника являются два моста: рабочий I и сравнительный II. Плечами мостов являются чувствительные элементы R1, R2, R5 и R6 и постоянные манганитовые резисторы R3, R4, R7 и R8.

Мосты питаются от двух вторичных обмоток на 24 В трансформатора Тр, через балластные резисторы R15 и R17.

Первичная обмотка трансформатора питается от стабилизатора напряжения.

В цепи питания сравнительного моста, кроме балластного резистора R15 имеется резистор R16 для регулировки чувствительности газоанализатора. Резистором R9 регулируется нулевое показание в процессе эксплуатации газоанализатора.

Резисторы R10 и R11 служат для регулировки тока питания моста II, а резисторы R13 и R14 – для регулировки тока питания моста I в процессе наладки газоанализатора на заводе-изготовителе.

Для подгонки сопротивления проводов, соединяющих приемник с компаратором напряжения, в системе последнего предусмотрены подгоночные резисторы (на схеме не показаны).

В системе приемника имеются также предохранители Пр1, Пр2 и выключатель В1.

В рабочем и сравнительных мостах последовательно с R3 и R4 (сравнительный мост II), а также с R7 и R8 (рабочий мост I) включаются медные резисторы R19 и R20, предназначенные для температурной компенсации.

Схема установки для проведения лабораторного занятия

Для проведения лабораторного занятия собрана установка с газоанализатором МН5130У4, с пределами измерения от 0 до 21 % кислорода и упрощенной газовой схемой, приведенной на рисунок 4. Атмосферный воздух или анализируемая газовая смесь из баллона 1 при помощи электрического побудителя расхода типа ПР-7-2348 подается в приемник газоанализатора 3. Переключение газовой схемы производится вакуумными клапанами ВК1 и ВК2. Отсчет показаний производится по шкале компаратора 4.

### 3 ЗАДАНИЕ

3.1 Усвоить теоретический материал;

3.2 Ознакомиться с принципом действия газоанализатора МН5130У4 и порядком работы с ним;

3.3 Произвести проверку нулевого значения;

3.4 Произвести проверку чувствительности;

3.4 Определить содержание кислорода в газовых смесях, предложенных преподавателем;

### 4 ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- газоанализатор МН 5130У4
- побудитель расхода ПР-7-2348
- компаратор КСМ2-029
- вакуумные клапаны
- баллон с анализируемой газовой смесью

### 5 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### 5.1 Проверка нулевого показания

Для проверки нулевого показания следует включить газоанализатор и компаратор и дать им прогреться в течении 10 минут. Вакуумные клапаны ВК1 и ВК2 закрыты. Затем включить побудитель расхода ПР-7-2348, открыть клапан ВК2 и, пропуская через рабочую камеру воздух, опустить магнитный шунт вращением его рукоятки против движения часовой стрелки.

При опускании шунта магнитные полюса замыкаются, поле "выключаются" и стрелочный указатель компаратора напряжения должен за 5-10 минут установиться в зоне, отмеченной зеленой тушью.

Если стрелочный указатель за указанное время не установился в отмеченной зоне, необходимо ослабить гайку цангового зажима нулевого резистора и, вращая ось резистора отверткой, установить стрелочный указатель на красную риску.

После корректировки нуля необходимо снова затянуть гайку цангового зажима и поднять магнитный шунт вращением рукоятки по часовой стрелке до упора.

### 5.2 Проверка чувствительности

Для проверки чувствительности газоанализатора необходимо включить побудитель расхода типа ПР-7-2348 и открытием клапана ВК1 подать воздух в рабочую камеру приемника. Расход воздуха равный  $12 \times 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$  (0,7л/мин) устанавливается автоматически побудителем расхода.

При нормальной чувствительности стрелочный указатель компаратора напряжения при опускании воздуха должен установиться на контрольной отметке (красной) в конце шкалы, соответствующей 21 объемным % кислорода.

Если стрелочный указатель не установился на контрольной отметке, необходимо ослабить гайку цангового зажима потенциометра регулировки чувствительности, и вращая ось потенциометра отверткой, добиться требуемого положения стрелочного указателя.

Для увеличения чувствительности газоанализатора ось потенциометра необходимо вращать по часовой стрелке.

### 5.3 Определения содержания кислорода в газовой смеси

Закрывать вакуумные клапаны ВК1 и ВК2 и к штуцеру последнего подсоединить баллон 1 с неизвестной газовой смесью.

Открыть клапан ВК2, включить побудитель расхода 2 и после установления показаний компаратора произвести отсчет показаний.

Закрывать клапан ВК2, отсоединить первый баллон и заменить его на второй баллон с неизвестной газовой смесью.

Аналогичным образом определить содержание кислорода во втором баллоне.

Закрывать клапан ВК2, отключить побудитель расхода, выключить преобразователь и компаратор.

## 6 СОДЕЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- наименование и цель занятия;
- принципиальную электрическую схему;
- описание приборов;
- таблицы полученных результатов;
- вывод;
- упрощенную схему электрической системы газоанализатора, схему установки для проведения лабораторного занятия и результаты замеров содержания кислорода в газовых смесях.

## 7 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 7.1 Объяснить значение магнитных газоанализаторов.
- 7.2 Объяснить принцип действия магнитных газоанализаторов на кислород.
- 7.3 Объяснить сущность термомагнитной конвекции.
- 7.4 Рассказать принципиальную электрическую схему газоанализатора на кислород.
- 7.5 Назначение манометра и ротаметра в полной газовой схеме газоанализатора.
- 7.6 Рассказать порядок проверки, регулировки и работы с газоанализатором.

## 8 ЛИТЕРАТУРА

- 8.1 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. – М.: Издательский дом «Додэка – XXI», 2010. -384с.
- 8.2 Иванов Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Энергоиздат, 2009. -229с.
- 8.3 Старостин В.А Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. -М.: Стройиздат, 2011.-303с.
- 8.4 Трофимов А.И. Справочник слесаря КИП и А.- М.: Энергоатомиздат, 2009-256с.
- 8.5 Фарзанае Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Теплотехнические измерения и приборы. –М.: Высшая школа, 2011.-456с.
- 8.6 Швецов Е.К. Справочник по проверке и наладке приборов. –Киев: Техника, 2010.-195с.