

**Федеральное агентство по образованию**  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**А.В. Волошенко, В.В. Медведев,  
М.М. Григорьева**

## **ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ**

### **Лабораторные работы**

Допущено Учебно-методическим объединением вузов по образованию в области автоматизированного машиностроения (УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Автоматизированные технологии и производства»

**Издательство ТПУ  
Томск 2006**

ББК 31.32я73

УДК 621.1.002.56(075.8)

В68

**Волошенко А.В.**

В68      Теплотехнические измерения и приборы. Лабораторные работы: учебное пособие/ Волошенко А.В., Медведев В.В., Григорьева М.М. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 116 с.

В пособии приведено описание назначения, устройства и принципа действия технических измерительных приборов и преобразователей, применяемых в теплотехнических измерениях, а также рабочих эталонов, предназначенных для их поверки (калибровки). Дано описание методик их поверки и порядок оценки погрешностей, формы протоколов поверки и отчетов. Учебное пособие подготовлено для студентов вузов, обучающихся по специальности 220301 и другим теплоэнергетическим специальностям, может быть использовано при подготовке и переподготовке специалистов, осуществляющих метрологический контроль и надзор.

ББК 31.32я73

УДК 621.1.002.56(075.8)

Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор ТУСУРа

*А.А. Светлаков*

Доктор технических наук, профессор ГНУ НИИ СМ

*С.А. Карауш*

© Томский политехнический университет, 2006

© Оформление. Издательство ТПУ, 2006

© Волошенко А.В., Медведев В.В., Григорьева М.М., 2006

**СОДЕРЖАНИЕ**

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРА ПП-63 .....	5
2. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ .....	16
3. ПОВЕРКА ПИРОМЕТРИЧЕСКИХ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ .....	23
4. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИОМЕТРОВ.....	32
5. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ.....	43
6. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРОВ.....	51
7. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ С МОСТОВОЙ И КОМПЕНСАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ.....	60
8. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ МАНОМЕТРОВ.....	73
9. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА МЕМБРАННЫХ ТЯГОНАПОРОМЕРОВ.....	83
10. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА КОМПЛЕКТА РАСХОДОМЕРА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СИСТЕМОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ... ПРИЛОЖЕНИЯ.....	92 106

## **ВВЕДЕНИЕ**

Решение задач автоматизации теплоэнергетических процессов требует от будущих специалистов умения и навыков по наладке, поверке или калибровке средств измерения температуры, давления, расхода и уровня. Практические навыки можно приобрести только при выполнении лабораторных работ с использованием реальных измерительных приборов и преобразователей.

Государственный образовательный стандарт по дисциплине «Технические измерения и приборы», «Теплотехнические измерения», «Теплотехнические измерения и приборы», «Метрология, стандартизация и сертификация» предусматривает лабораторный практикум, на который отводится от 24 до 32 часов аудиторных занятий. Лабораторные работы выполняются студентами специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств (в теплоэнергетике)» и студентами всех других специальностей теплоэнергетического факультета. Лабораторный практикум необходим для закрепления теоретических знаний и главное – для более быстрой адаптации молодого специалиста на производстве, так как данный вид занятий дает студенту наглядное представление о внешнем виде и конструкции измерительных приборов и преобразователей, позволяет произвести исследование их технических и метрологических характеристик.

В учебном пособии приведено описание устройства и принципа действия поверяемых технических измерительных приборов и преобразователей, рабочих эталонов, используемых для поверки, схемы поверочных установок, последовательность проведения опытов, методика поверки и обработки результатов поверки и опытов по исследованию влияния внешних физических величин на погрешность измеряемого параметра, содержание отчета по лабораторной работе и контрольные вопросы для самопроверки.

Учебное пособие составлено авторским коллективом под руководством А.В. Волошенко. Материал между авторами распределяется следующим образом: Волошенко А.В. – введение и разделы 1, 2, 3, 5 и 6; Медведев В.В. и Волошенко А.В. – разделы 4, 7, 8 и 10; Григорьева М.М. и Волошенко А.В. – приложения и раздел 10.

Учебное пособие подготовлено для студентов вузов, обучающихся по специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» и другим теплоэнергетическим специальностям.

## **1. ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРА ПП-63**

### **1.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цель работы заключается в изучении принципа действия и устройства потенциометра ПП-63, применяемого в качестве рабочего эталона при поверке (калибровке) измерительных преобразователей и приборов температуры.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение компенсационного метода измерения ЭДС и напряжения;
- изучение принципа действия и устройства потенциометра ПП-63;
- изучение порядка работы на потенциометре ПП-63;
- измерение напряжения, силы тока и сопротивления.

## 1.2. НАЗНАЧЕНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРА ПП-63

Потенциометр постоянного тока типа ПП-63 класса точности 0,05 предназначен для измерения компенсационным методом ЭДС и напряжений в пределах от  $-5$  до  $100$  мВ и получения плавно регулируемого напряжения от  $-5$  до  $100$  мВ.

Потенциометр применяется в качестве рабочего эталона при поверке технических термоэлектрических преобразователей и измерительных приборов, работающих в комплекте с ними (магнитоэлектрических милливольтметров и автоматических потенциометров).

Основная погрешность потенциометра ПП-63 в милливольтках при температуре окружающего воздуха  $+20$  °С определяется по формуле

$$\Delta_{\text{п}} = \pm (5 \cdot 10^{-9} U + 0,5 \cdot \Delta U), \quad (1.1)$$

где  $U$  – показание потенциометра, мВ;

$\Delta U$  – цена деления шкалы реохорда, причем на пределе «х0,5»  $\Delta U = 0,025$  мВ, на пределе «х1»  $\Delta U = 0,05$  мВ, на пределе «х2»  $\Delta U = 0,1$  мВ.

## 1.3. КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭДС

Компенсационный метод измерения основан на уравнивании (компенсации) измеряемой ЭДС известной разностью потенциалов, образованной вспомогательным источником тока на калиброванном сопротивлении.

На схеме (рис. 1.1) ток от вспомогательного источника с напряжением  $E$  проходит по цепи, в которую между точками **A** и **B** включено

калиброванное сопротивление  $R_{AB}$ , называемое реохордом. Величина тока вспомогательного источника равна:

$$I_1 = E / R_{AB}. \quad (1.2)$$

Вторая цепь состоит из термопары; участка реохорда между точкой А и движком реохорда Д; нуля-индикатора НИ, предназначенного для индикации наличия или отсутствия тока в цепи термопары. Разность потенциалов  $U_{AD}$  между точками А и Д пропорциональна  $R_{AD}$ .

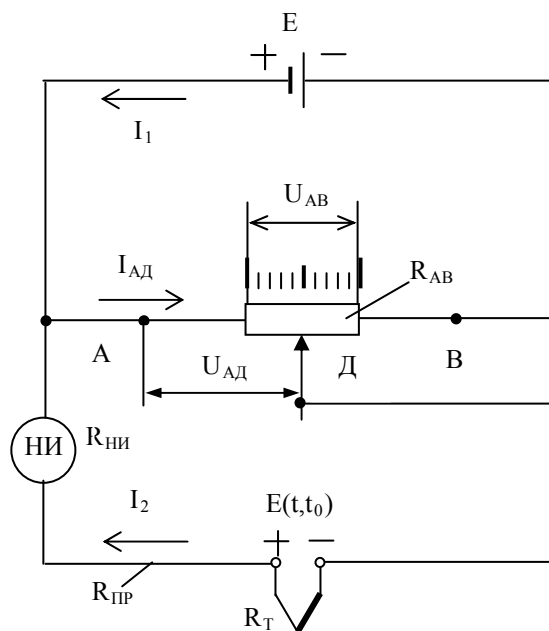


Рис. 1.1. Принципиальная схема компенсационной цепи

Термопара в цепь включена так, что ток на участке сопротивления  $R_{AD}$  идет в том же направлении, что и от вспомогательного источника. Тогда согласно первому закону Кирхгофа

$$I_{AD} = I_1 + I_2, \quad (1.3)$$

где  $I_{AD}$  – ток, протекающий по сопротивлению  $R_{AD}$ ;

$I_1$  – ток вспомогательного источника  $E$ ;

$I_2$  – ток термопары.

На основании второго закона Кирхгофа получим:

$$\begin{aligned} E(t, t_0) &= I_2 \cdot (R_{ни} + R_{вн}) + I_{AD} \cdot R_{AD} = I_2 \cdot (R_{ни} + R_{вн}) + I_1 \cdot R_{AD} + I_2 \cdot R_{AD} = \\ &= I_2 \cdot (R_{ни} + R_{вн} + R_{AD}) + I_1 \cdot R_{AD}. \end{aligned} \quad (1.4)$$

Отсюда ток  $I_2$ , протекающий через НИ, будет равен:

$$I_2 = \frac{E(t, t_0) - I_1 \cdot R_{AD}}{R_{ни} + R_{вн} + R_{AD}}, \quad (1.5)$$

где  $E(t, t_0)$  – ТЭДС термопары;

$R_{ни}$  – сопротивление нуля-индикатора;

$R_{вн} = R_{np} + R_T$  – внешнее сопротивление цепи, состоящей из проводов и термопары.

При  $E(t, t_0) < E$ , передвигая движок реохорда Д, т.е. изменяя  $R_{AD}$ , можно найти такое положение, при котором стрелка НИ установится на нулевой отметке шкалы, а ток в цепи термопары  $I_2 = 0$ . При этом

$$E(t, t_0) - I_1 \cdot R_{AD} = 0, \quad \text{иначе} \quad E(t, t_0) = I_1 \cdot R_{AD} = U_{AD}. \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) очевидно, что ТЭДС термопары компенсируется падением напряжения  $U_{AD}$  на калиброванном сопротивлении  $R_{AD}$ . Учитывая соотношение (1.2) из уравнения (1.6), найдем:

$$E(t, t_0) = I_1 \cdot R_{AD} = \frac{E}{R_{AB}} \cdot R_{AD}, \quad (1.7)$$

где  $E = \text{const}$ ;  $R_{AB} = \text{const}$ .

Следовательно, ТЭДС термопары  $E(t, t_0)$  определяется величиной падения напряжения  $U_{AD}$  на участке реохорда и не зависит от сопротивления нуля-индикатора  $R_{ни}$  и внешнего сопротивления цепи термопары  $R_{вн}$ , что следует из уравнения (1.7). Реохорд снабжен шкалой, градуированной в милливольтгах. При измерении компенсационным методом ток в цепи реохорда нужно поддерживать постоянным. Значение тока устанавливается и контролируется также компенсационным методом. Для этого необходим еще один контур, контур нормального элемента НЭ.

#### 1.4. УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПОТЕНЦИОМЕТРА

Принципиальная схема потенциометра ПП-63 приведена рис. 1.2, а внешний вид панели управления – на рис. 1.3. В состав потенциометра входит множество различного рода устройств, наименование и назначение которых приведено ниже.

Нуль-индикатор НИ (гальванометр Г) предназначен для показания наличия или отсутствия тока  $I_2$  в измерительной цепи. Ток  $I_2 = 0$ , когда стрелка гальванометра Г установлена на нуль.

Штепсельный переключатель  $B_7$  имеет три положения –  $\times 0,5$ ,  $\times 1$ ,  $\times 2$  и соответственно изменяет пределы измерения 0–25, 0–50, 0–100 мВ.

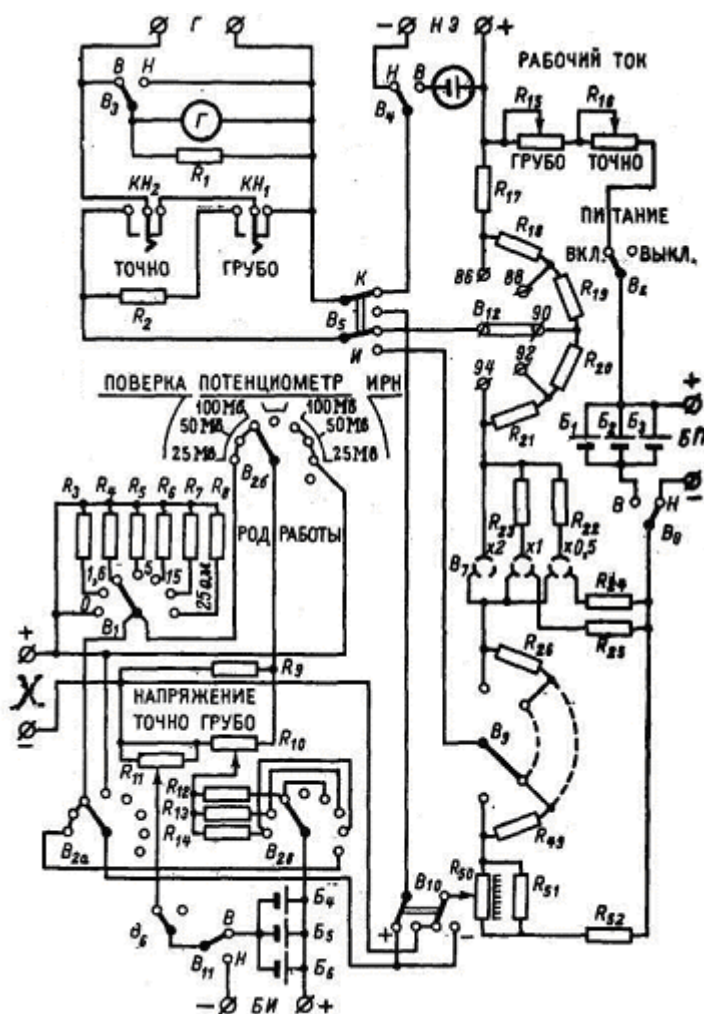


Рис. 1.2. Принципиальная схема потенциометра ПП-63

Переключатель «Род работы»  $B_2$ , расположенный на трех платах ( $B_{2a}$ ,  $B_{2b}$ ,  $B_{2в}$ ), имеет три рабочих положения: «Поверка» (25 мВ, 50 мВ,



100 мВ), «Потенциометр» и «ИРН» (25 мВ, 50 мВ и 100 мВ).

Секционный измерительный реостат  $B_9$ , состоящий из резисторов  $R_{26} - R_{49}$ , и соединенный с ним последовательно ползунковый реохорд  $R_{50}$  с подгоночными резисторами  $R_{51}$  и  $R_{52}$  представляют собой калиброванное сопротивление  $R_{AB}$  (рис. 1.1). Шкала секционного реостата имеет 24 деления, а реохорда – 40 делений. При установке переключателя  $B_7$  в положение  $x1$  цена деления реохорда  $R_{50}$  и реостата  $B_9$  соответственно равна 0,05 и 2 мВ, а их верхний предел измерения составляет 2 и 48 мВ (суммарно 50 мВ). При переводе переключателя  $B_7$  в положения  $x0,5$  и  $x2$  указанные значения соответственно уменьшаются или увеличиваются в 2 раза.

Источник питания измерительной схемы потенциометра БП состоит из параллельно соединенных батарей  $B_1 - B_3$  с напряжением 1,5 В.

Сдвоенный ползунковый реостат «Рабочий ток» предназначен для установки рабочего тока потенциометра, равного 2 мА, состоит из переменных резисторов  $R_{15}$  и  $R_{16}$  соответственно для грубой и точной (малая и большая рукоятки) регулировки тока.

Насыщенный нормальный элемент НЭ, развивающий строго постоянную ЭДС, равную 1,0185 – 1,0187 В, предназначен для установки постоянной силы рабочего тока.

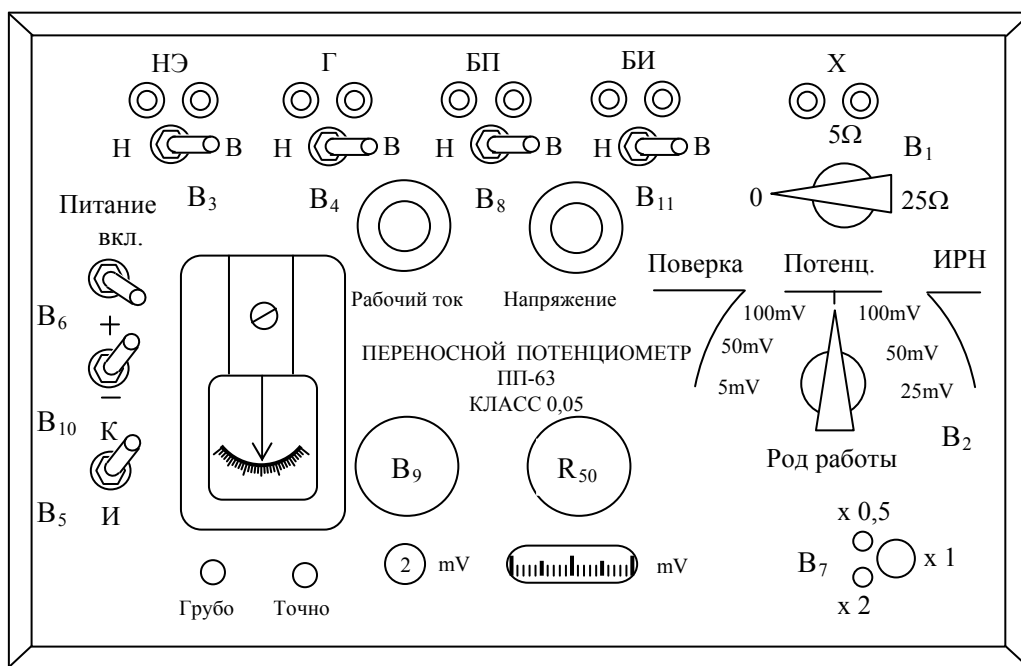


Рис. 1.3. Панель управления потенциометра ПП-63

Установка рабочего тока производится по ЭДС нормального элемента НЭ, которая сравнивается с падением напряжения на установоч-

ном резисторе  $R_{17}$  и части резисторов  $R_{18} - R_{21}$ , причем положение переключки на этих резисторах должно соответствовать величине ЭДС нормального элемента. Компенсация производится регулировкой рабочего тока при помощи резисторов  $R_{15}$  (грубо) и  $R_{16}$  (точно) «Рабочий ток». Индикатором компенсации служит гальванометр Г.

Двухполюсный переключатель  $V_5$  на два положения К (контроль рабочего тока) и И (измерение ЭДС) включает гальванометр в цепь нормального элемента при установке рабочего тока и в цепь термопары при измерении ЭДС.

Кнопки  $КН_1$  «Грубо» и  $КН_2$  «Точно» предназначены для включения гальванометра при грубой и точной настройке рабочего тока и при измерении ЭДС.

Секционированный реостат  $V_1$  с резисторами  $R_3 - R_8$  имитирует при проверке пирометрических милливольтметров сопротивление внешней цепи ( $R_{вн}$ ), соответственно, равное 0,6; 1,6; 5; 15; 16,2 и 25 Ом. При проверке автоматических потенциометров рукоятка реостата устанавливается в положение 0.

Источник регулируемого напряжения (ИРН). Питание ИРН осуществляется батареей источника питания БИ, т.е. тремя параллельно соединенными батареей  $B_4$ ,  $B_5$  и  $B_6$  с напряжением 1,5 В.

Сдвоенный ползунковый реостат «Напряжение» предназначен для регулировки напряжения ИРН при проверке милливольтметров и состоит из переменных резисторов соответственно для грубой и точной (малая и большая рукоятки) регулировки напряжения в пределах  $-1,25 \div 0 \div 25$ ;  $-2,5 \div 0 \div 50$  и  $-5 \div 0 \div 100$  мВ.

Двухполюсный переключатель  $V_{10}$  предназначен для изменения полярности компенсационного напряжения потенциометра при измерении отрицательных напряжений ИРН.

Два зажима Х предназначены для присоединения к потенциометру термопары или поверяемого прибора.

Кроме зажимов Х, потенциометр имеет дополнительные пары зажимов Г, НЭ, БП и БИ для подключения к нему, соответственно, наружных гальванометра, нормального элемента, источников питания схемы потенциометра и ИРН. Для использования внутренних и наружных устройств прибор снабжен переключателями  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_8$  и  $V_{11}$ , каждый из которых имеет два положения – В (внутренний) и Н (наружный). Включение источников питания в схему потенциометра и ИРН производится одновременно сдвоенным выключателем  $V_6$ .

Источник измеряемого напряжения или поверяемый прибор подключается только к зажимам Х навстречу падению напряжения на час-

ти измерительных резисторов  $R_{26} - R_{50}$ . От прохождения по ним строго определенного рабочего тока создается известное падение напряжения. Компенсация измеряемой ЭДС производится ступенчато – секционным реостатом  $B_9$  и плавно – реохордом  $R_{50}$ .

### 1.5. ПОРЯДОК РАБОТЫ НА ПП-63

**Перед началом работы** органы управления и регулировки должны находиться в следующих положениях:

- выключатель питания прибора  $B_6$  в положении выключено;
- переключатели питания БП и БИ, переключатели НЭ и Г в положении «В», так как используются внутренние источники питания, нормальный элемент и гальванометр;

- переключатель полярности потенциометра  $B_{10}$  в положении «+»;
- кнопки  $КН_1$  «Грубо» и  $КН_2$  «Точно» в отжатом положении.

Остальные органы управления и регулировки могут находиться в любых положениях.

Перед измерением ЭДС или проведением поверки (калибровки) измерительного прибора необходимо обязательно произвести установку (контроль) рабочего тока. **Установку рабочего тока** (электрического нуля) производят следующим образом:

- выключатель питания устанавливают в положение «Питание вкл.»;

- переключатель  $B_5$  устанавливают в положение К;

- вращением рукояток реостата «Рабочий ток» вначале грубо, а затем точно, устанавливают стрелку гальванометра на нуль при последовательно нажатых кнопках «Грубо» и «Точно».

**Измерение ЭДС и напряжения** производят в следующем порядке:

- подключают объект измерения к зажимам Х, соблюдая полярность;

- переключатель «Род работы» устанавливают в положение «Потенциометр»;

- штепсельный переключатель пределов  $B_7$  устанавливают в одно из следующих положений:  $x_{0,5}$  при измерении ЭДС до 25 мВ,  $x_1$  при измерении ЭДС до 50 мВ,  $x_2$  при измерении ЭДС до 100 мВ;

- переключатель  $B_5$  устанавливают в положение И;

- стрелку гальванометра устанавливают на нуль вращением рукояток секционного реостата  $B_9$  и реохорда  $R_{50}$  при последовательно нажатых кнопках «Грубо» и «Точно»;

– измеренное значение напряжения в милливольтмах будет равно сумме показаний шкал секционного реостата  $B_9$  и реохорда  $R_{50}$ , умноженной на множитель, установленный на переключателе пределов потенциометра  $B_7$ .

**Поверку магнитоэлектрических милливольтметров** производят в следующем порядке:

- поверяемый милливольтметр подсоединяют к зажимам X;
- переключатель «Род работы» устанавливают в положение «Поверка», соответствующее пределу измерения 25, 50 или 100 мВ;
- переключатель линий устанавливают в одно из положений, соответствующее сопротивлению линий, указанному на шкале поверяемого милливольтметра (0,6; 1,6; 5; 15; 16,2 или 25 Ом);
- плавно вращением рукояток реостата «Напряжение» подводят стрелку к поверяемой отметке шкалы милливольтметра;
- измеряют напряжение на поверяемом милливольтметре, т.е. устанавливают стрелку гальванометра на нуль вращением рукояток секционного реостата  $B_9$  и реохорда  $R_{50}$  при последовательно нажатых кнопках «Грубо» и «Точно».

**Поверку автоматических потенциометров** производят в следующем порядке:

- поверяемый потенциометр подключают к зажимам X;
- переключатель «Род работы» устанавливают в положение «Потенциометр», а переключатель пределов – в положение, соответствующее пределу измерения;
- готовят ПП-63 к измерению напряжения;
- зажимы Г закорачивают;
- при последовательно нажатых кнопках «Грубо», «Точно» вращением рукояток секционного реостата и реохорда плавно подводят стрелку автоматического потенциометра к поверяемой отметке шкалы;
- измеренное значение напряжения в милливольтмах будет равно сумме показаний шкал секционного реостата  $B_9$  и реохорда  $R_{50}$  умноженной на множитель, установленный на переключателе пределов потенциометра  $B_7$ .

**Для получения регулируемого напряжения на зажимах X:**

- переключатель «Род работы» устанавливают в положение «ИРН», соответствующее пределу 25, 50 или 100 мВ;
- вращением рукояток реостата «Напряжение» устанавливают необходимую величину напряжения.

#### **1.6. ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ**

В схеме (рис. 1.4) образцовое и неизвестное сопротивления соединены последовательно. Измерение неизвестного сопротивления  $R_x$  производится компенсационным методом. Часть схемы собрана в щите (двухполюсный переключатель  $\Pi$ , три пары клемм, образцовая катушка сопротивления  $R_{об} = 100$  Ом).

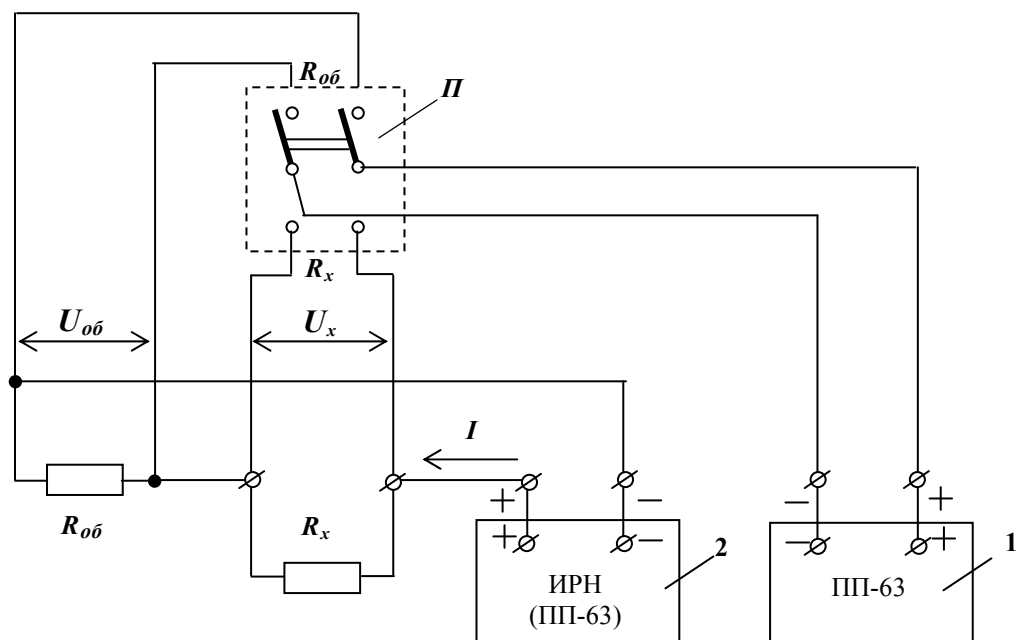


Рис. 1.4. Принципиальная схема лабораторного стенда

## 1.7. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

Собирают схему согласно рис. 1.4. Подготавливают потенциометр 1 к измерению напряжения, а потенциометр 2 включают в режим ИРН.

Для измерения падения напряжения на образцовом сопротивлении переключатель  $\Pi$  ставят в положение  $R_{об}$ . Затем с помощью секционного реостата и реохорда измеряют падение напряжения  $U_{об}$ , величина которого равна:

$$U_{об} = I \cdot R_{об}. \quad (1.8)$$

Результат измерения записывают в табл. 1.1. Зная с большой точностью величину  $R_{об}$ , находят силу тока в цепи (рис. 1.4) по уравнению

$$I = \frac{U_{об}}{R_{об}}, \quad (1.9)$$

где  $R_{об} = 100$  Ом – значение образцового сопротивления.

Если величина тока в цепи превышает 0,5 мА, то вращением рукояток реостата «Напряжение» на ИРН устанавливают необходимое значение падения напряжения на  $R_{об}$ , а следовательно, и тока  $I$ .

Таблица 1.1

Результаты измерений и расчетов

Измеряемые параметры	Обозначение	Ед. изм.	Количество измерений				
			1	2	3	4	5
Падение напряжения на образцовой катушке	$U_{об}$	мВ					
Падение напряжения на неизвестном сопротивлении	$U_x$	мВ					
Среднее значение $U_{об}$	$U_{об\text{ср}}$	мВ					
Среднее значение $U_x$	$U_{x\text{ср}}$	мВ					
Сила тока	$I$	мА					
Сопротивление $R_x = R_{об} \cdot \frac{U_{x\text{ср}}}{U_{об\text{ср}}}$	$R_x$	Ом					

Не меняя значений падения напряжения на  $R_{об}$ , чтобы сила тока в цепи оставалась постоянной, приступают к измерению неизвестного сопротивления. Для этого переключатель  $\Pi$  ставят в положение  $R_x$  и потенциометром 1 измеряют падение напряжения на неизвестном сопротивлении  $R_x$ . При этом величина падения напряжения будет равна:

$$U_x = I \cdot R_x. \quad (1.10)$$

Измерение  $U_{об}$  и  $U_x$  проводят не менее 5 раз. Поделив уравнение (1.10) на уравнение (1.8), получим:

$$R_x = R_{об} \cdot \frac{U_x}{U_{об}}. \quad (1.11)$$

Вычисление  $R_x$  по уравнению (1.11) производят для средних арифметических значений  $U_{об,ср}$  и  $U_{хср}$ . Результаты измерений и расчетов заносят в табл. 1.1.

## 1.8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Краткое описание компенсационного метода измерения.
2. Полное описание порядка работы на ПП-63.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблица результатов измерений.
5. Ответы на контрольные вопросы.

## 1.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего предназначен потенциометр ПП-63?
2. На чем основан компенсационный метод измерения?
3. Для чего предназначен гальванометр в схеме потенциометра?
4. Чем определяется ТЭДС термопары при измерении ее потенциометром?
5. Объясните назначение контура нормального элемента.
6. Объясните назначение штепсельного переключателя.
7. Объясните назначение переключателя «Род работы».
8. Какую роль играет секционный измерительный реостат и ползунковый реохорд при измерении ТЭДС?
9. Как установить рабочий ток потенциометра?
10. Объясните назначение кнопок «Грубо» и «Точно».
11. Объясните назначение реостата «Напряжение».
12. Какие параметры можно измерять с помощью ПП-63?

## 2. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

### 2.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы заключается в изучении принципа действия и устройства термоэлектрических преобразователей (ТЭП), предназначенных

для измерения температуры в комплекте с пирометрическими милливольтметрами и автоматическими потенциометрами, и освоении операций поверки технических ТЭП. Задачами лабораторной работы являются:

- изучение конструкции и принципа действия ТЭП,
- проведение поверки технических ТЭП методом сличения,
- обработка результатов поверки.

## 2.2. НАЗНАЧЕНИЕ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ТЭП

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

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

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

где  $E_{AB}(t, t_0)$  – результирующая ТЭДС термопары, состоящей из разнородных по составу проводников А и В;  
 $e_{AB}(t)$ ,  $e_{AB}(t_0)$  – ТЭДС, обусловленная контактной разностью потенциалов и разностью температур рабочего спая  $t$  и свободных концов  $t_0$  термопары.

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

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

Для стандартных ТЭП путем градуировки находится зависимость (2.2), которая является номинальной статической характеристикой (НСХ) ТЭП и представлена в виде таблиц (ГОСТ Р 8.585 – 2001) при  $t_0 = 0$  °С.



В эксплуатационных условиях  $t_0$ , как правило, не равна  $0^{\circ}\text{C}$ . С изменением  $t_0$  изменяется результирующая ТЭДС, что вызывает необходимость введения поправки на температуру свободных концов ТЭП.

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

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

Следовательно, действительное значение ТЭДС равно:

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

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

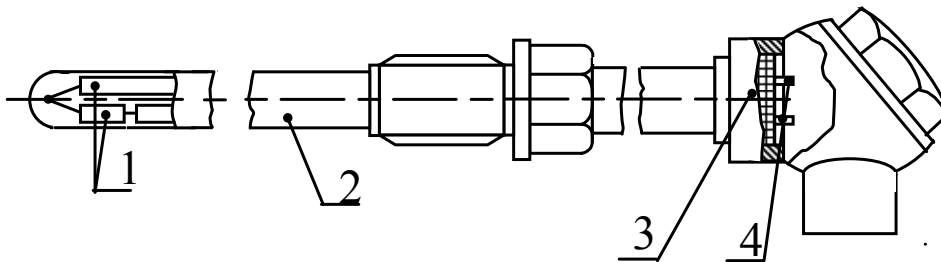


Рис. 2.1. Конструкция ТЭП

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

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

Таблица 2.1

## Метрологические характеристики ТЭП

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

Примечания: 1.  $t$  – значение измеряемой температуры.

2. Пределы допускаемых погрешностей ТЭДС термоэлектрических преобразователей  $\Delta E_d$  в мВ определяются по формуле

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

где  $\Delta t_d$  – предел допускаемой абсолютной погрешности, рассчитанный по данным табл. 2.1 для соответствующего диапазона и класса допуска;

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

### 2.3. ПОВЕРОЧНАЯ УСТАНОВКА

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

Измерительная система, состоящая из милливольтметра 8 и ТЭП 3 с НСХ К (хромель–алюмель), предназначена для измерения и регулирования температуры в электропечи. Регулирование температуры в электропечи производится следующим образом: задатчик милливольтметра с помощью отвертки устанавливается на отметку шкалы, соответствующую значению поверяемой температуры, при достижении температуры в электропечи заданного зна-

чения размыкается нормально замкнутый контакт 15 милливольтметра и выключается цепь питания электропечи.

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

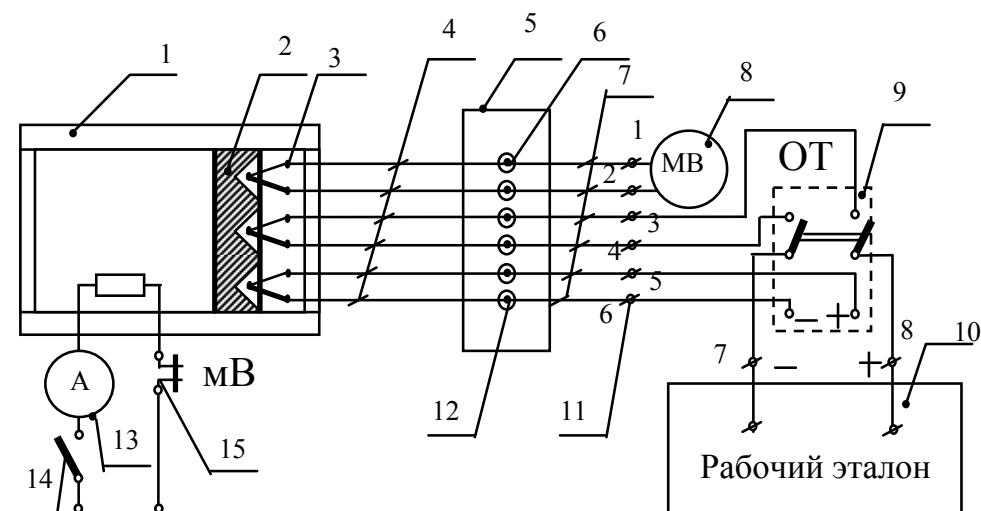


Рис. 2.2. Схема поверочной установки

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

#### 2.4. ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

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

Температура свободных концов ТЭП в процессе поверки должна поддерживаться  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$  (смесь чистого льда или снега с водой). Поверка может производиться и при иной  $t_0$ , которая долж-

на измеряться с погрешностью не более  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Окончательные результаты измерений ТЭДС должны быть приведены к  $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$ .

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

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

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

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

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

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

## 2.5. ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

Прогревается печь до заданной температуры. При этом регулирующий милливольтметр автоматически отключает питание печи и стрелка амперметра падает до нуля. Через  $1\div 2$  минуты после отключения печи скорость изменения температуры достигнет допустимой, т.е.  $\approx 0,2\div 0,4^{\circ}\text{C}$  в минуту. Измеряется потенциометром ТЭДС эталонного ТЭП. Убедившись, что ТЭДС его близка к табличному значению, продолжаем замеры, проделав их не менее четырех раз для каждого ТЭП, при поочередном подключении эталонного и поверяемого ТЭП. Измерения производятся с максимально возможной скоростью и точностью. Результаты измерения заносятся в протокол поверки.

Аналогично производятся измерения ТЭДС в последующих поверяемых точках.

## 2.6. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

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

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

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

### ПРОТОКОЛ

поверки термоэлектрического преобразователя типа \_\_\_\_\_ с НСХ \_\_\_\_\_.  
 Поверка произведена по эталонному термоэлектрическому преобразователю с НСХ \_\_\_\_\_ и эталонному потенциометру типа \_\_\_\_\_ класса точности \_\_\_\_\_.

Температура свободных концов ТЭП \_\_\_\_\_ °С.

Поправка на температуру свободных концов:

		эталонного ТЭП						мВ, поверяемого ТЭП						мВ.			
Поверяемые точки, °С	Табличная ТЭДС $E_{\text{эт}}$ , мВ	Эталонный ТЭП						Действительная температура $t_d$ , °С	Поверяемый ТЭП						Абсолютная погрешность $\Delta E$ , мВ	Допускаемая погрешность $\Delta t_d$ , °С	Допускаемая погрешность $\Delta E_d$ , мВ
		Измеренная ТЭДС, мВ					$E'_{\text{эсп}}$ , приведенная к $t_0=0$ °С		Измеренная ТЭДС, мВ					$E'_{\text{пер}}$ , приведенная к $t_0=0$ °С			
		1	2	3	4	$E'_{\text{эсп}}$			1	2	3	4	$E'_{\text{пер}}$				

Вывод: \_\_\_\_\_.

Значения пределов допускаемых абсолютных погрешностей технических ТЭП  $\Delta t_d$  в °С приведены в табл. 2.1, а  $\Delta E_d$  в мВ определяются по формуле 2.5.

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

$$\Delta E \leq \Delta E_d, \quad (2.7)$$

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

## 2.7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

## 2.8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

## 3. ПОВЕРКА ПИРОМЕТРИЧЕСКИХ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ

### 3.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

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

Задачами лабораторной работы являются:

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

### 3.2. ПИРОМЕТРИЧЕСКИЕ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРЫ

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

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

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

$$M_{BP} = \omega \cdot b \cdot l \cdot B \cdot I = \psi \cdot I, \quad (3.1)$$

где  $\omega$  – число витков в рамке;

$b, l$  – ширина и активная длина рамки;

$B$  – магнитная индукция;

$I$  – ток, протекающий по рамке;

$\psi$  – потокосцепление рамки.

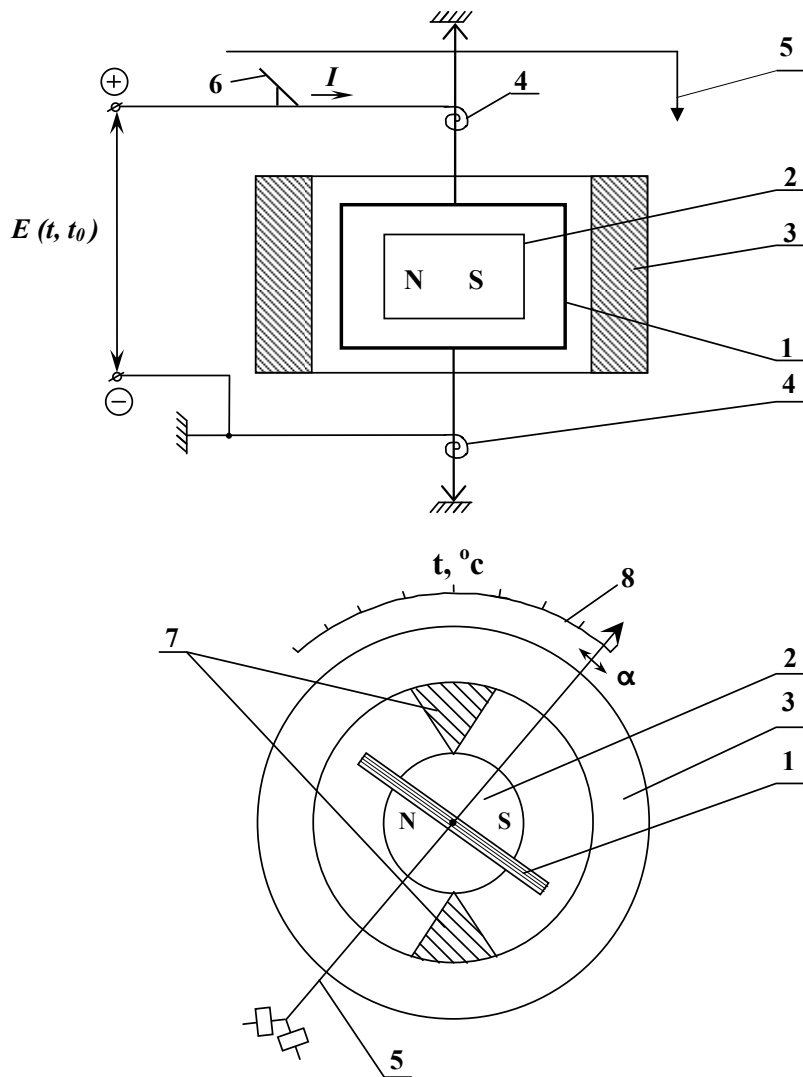


Рис. 3.1. Схема термометрического милливольтметра:  
 1 – рамка; 2 – постоянный магнит; 3 – неподвижное кольцо;  
 4 – противодействующие пружины; 5 – стрелка;  
 6 – корректор; 7 – держатели; 8 – шкала

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

$$M_{BP} = M_{PP} \quad \text{или} \quad \psi \cdot I = k \cdot \alpha,$$

где  $k$  – удельный противодействующий момент;  
 $\alpha$  – угол перемещения подвижной части механизма.

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



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

где  $S_I = \frac{\psi}{k} = \frac{\alpha}{I}$  – чувствительность измерительного механизма к току.

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

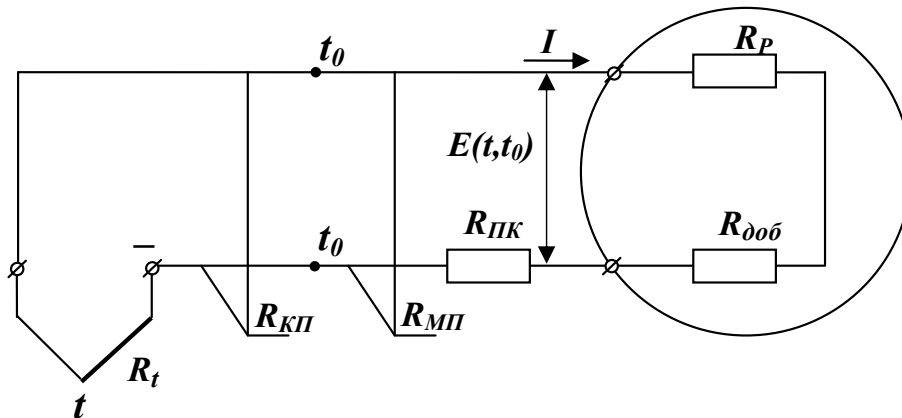


Рис. 3.2. Схема измерения ТЭДС термопары милливольтметром

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

$$I = \frac{E(t, t_0)}{R_t + R_{кп} + R_{мп} + R_{пк} + R_M}, \quad (3.3)$$

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

$R_t$  – сопротивление термопары (рис. 3.2);

$R_{кп}$  – сопротивление компенсационных проводов;

$R_{мп}$  – сопротивление медных проводов;

$R_{пк}$  – сопротивление подгоночной катушки;

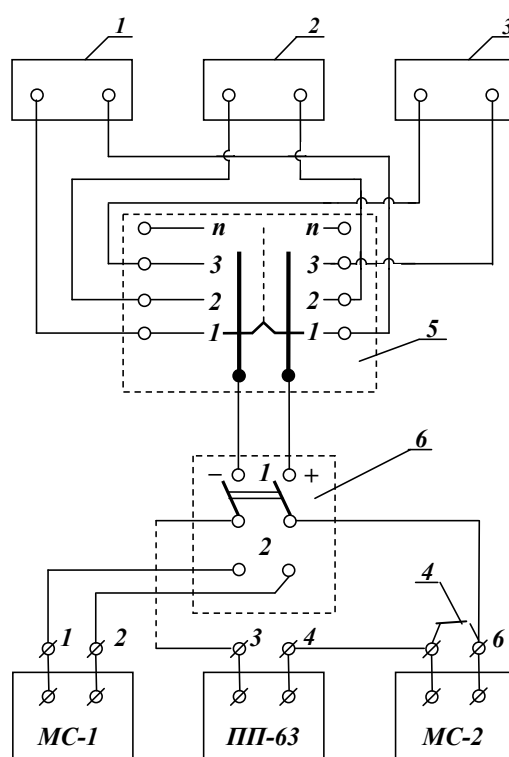
$R_M = R_p + R_{доб}$  – внутреннее сопротивление МВ, состоящее из сопротивления рамки и добавочного сопротивления.

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

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

### 3.3. УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ

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



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

В состав установки входят: проверяемые МВ 1, 2 и 3; эталонный потенциометр типа ПП-63; магазины сопротивлений МС-1 и МС-2 типа Р33, применяемые, соответственно, для измерения внутреннего сопротивления МВ и проверки влияния внешнего сопротивления на показания МВ; щеточный переключатель 5, предназначенный для

поочередного подключения поверяемых МВ; двухполюсный переключатель 6, с помощью которого подключаются к ПП-63 либо МС-1, либо МВ, при определении внутреннего сопротивления МВ; клеммы 1–6, предназначенные для подключения эталонных приборов.

### 3.4. ПОВЕРКА МИЛЛИВОЛЬТМЕТРОВ

#### 3.4.1. Определение основной погрешности и вариации показаний

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

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

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

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

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

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

## ПРОТОКОЛ

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

Поверка проведена по эталонному потенциометру типа \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_, класса точности \_\_\_\_\_.

Температура поверяемого прибора \_\_\_\_\_ °С.

Внешнее сопротивление \_\_\_\_\_ Ом.

Результаты поверки

Внутреннее сопротивление \_\_\_\_\_ Ом.

Отметка шкалы поверяемого прибора		Отсчет по эталонному прибору		Погрешность поверяемого прибора		Вариация показаний прибора $\Delta e_v$
		При увеличении показаний $e_1$	При уменьшении показаний $e_2$	При увеличении показаний $\Delta e_1$	При уменьшении показаний $\Delta e_2$	
°С	мВ	мВ				

Предел допускаемой основной погрешности  $\Delta e_{don} =$  \_\_\_\_\_ мВ.

Предел допускаемой вариации  $\Delta e_{v, don} =$  \_\_\_\_\_ мВ.

Максимальная абсолютная погрешность \_\_\_\_\_ мВ.

Максимальная вариация \_\_\_\_\_ мВ.

Вывод \_\_\_\_\_.

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

Увеличивая значение входного сигнала, выводят стрелку за верхний предел измерения прибора. Затем, уменьшая значение входного сигнала (обратный ход), вновь последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы прибора. Значения входного сиг-

нала при обратном ходе, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы, заносят в протокол поверки.

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний прибора для каждой оцифрованной отметки шкалы при прямом  $\Delta e_1$  и обратном  $\Delta e_2$  ходе и вариацию показаний  $\Delta e_v$  прибора по формулам

$$\begin{aligned}\Delta e_1 &= e_1 - e_p, \\ \Delta e_2 &= e_2 - e_p, \\ \Delta e_v &= |e_1 - e_2|,\end{aligned}\tag{3.4}$$

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

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

$e_p$  – действительное значение ТЭДС для оцифрованной отметки шкалы, найденное по номинальной статической характеристике ТЭП, мВ.

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

$$\pm \Delta e_{\text{дон}} = \Delta e_{v, \text{дон}} = \frac{e_k \cdot \gamma}{100},\tag{3.5}$$

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

$\Delta e_{v, \text{дон}}$  – допускаемая вариация показаний МВ, мВ;

$e_k$  – верхний предел измерения поверяемого МВ, мВ;

$\gamma$  – предел допускаемой основной приведенной погрешности поверяемого МВ, %.

По результатам поверки определяют годность МВ к эксплуатации или соответствие погрешностей  $\Delta e_1$ ,  $\Delta e_2$  и вариации  $\Delta e_v$ , рассчитанных для каждой поверяемой отметки шкалы, допускаемым значениям:

$$\Delta e_1 \leq \Delta e_{\text{дон}}; \Delta e_2 \leq \Delta e_{\text{дон}}; \Delta e_v \leq \Delta e_{v, \text{дон}}.\tag{3.6}$$

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

### 3.4.2. Определение внутреннего сопротивления МВ методом замещения

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

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

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

### 3.4.3. Влияние величины внешнего сопротивления на показания МВ

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

На магазине сопротивлений МС-2 выставляют значение внешнего сопротивления, увеличенное на  $+\Delta R_{BH}$ . Величина  $+\Delta R_{BH}$  указывается преподавателем. Следовательно,  $R'_{BH} = R_{BH} + \Delta R_{BH}$ . Производят поверку показаний МВ в трех точках шкалы (начальной, средней и конечной). Данные заносят в таблицу 3.1.

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

По данным протокола и таблицы 3.1 строят график абсолютных погрешностей МВ при  $R_{BH} = 5$  Ом,  $R'_{BH}$  и основной допускаемой абсолютной погрешности в координатах  $\Delta e$  [мВ] –  $t$  [°C]: по оси абсцисс откладывают значения температуры, а по оси ординат – значения абсолютных погрешностей.

Таблица 3.1

Влияние  $R_{BH}$  на показания МВ

Отметка шкалы поверяемого прибора		Отсчет по эталонному потенциометру		Погрешности поверяемого МВ	
		При увеличении показаний $e_1'$	При уменьшении показаний $e_2'$	При увеличении показаний $\Delta e_1'$	При уменьшении показаний $\Delta e_2'$
$^{\circ}\text{C}$	мВ	мВ			

Вывод: \_\_\_\_\_.

### 3.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

### 3.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

## 4. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИОМЕТРОВ

#### 4.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

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

Задачами лабораторной работы являются:

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

#### 4.2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРЫ

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

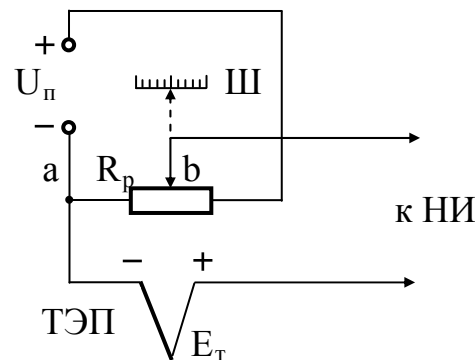


Рис. 4.1. Измерительная схема потенциометра

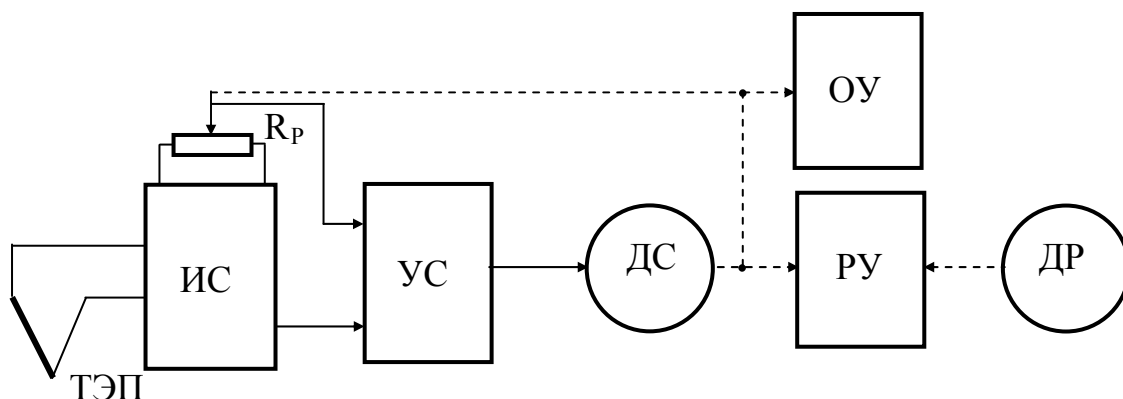
Термоэлектрический преобразователь ТЭП (рис.4.1) подключен к делителю напряжения (реохорду)  $R_p$  таким образом, что падение напряжения  $U_{ab}$  между точками  $a$  и  $b$  на части делителя напряжения  $R_p$  подключено навстречу термоЭДС  $E_T$  термоэлектрического преобразователя ТЭП. Перемещая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



жение движка, при котором  $U_{ab} = E_T$ .

В этом случае термоЭДС  $E_T$  уравнивается падением напряжения  $U_{ab}$ , ток в цепи ТЭП отсутствует и стрелка нуль-индикатора НИ установится на нулевую отметку. По положению стрелки – указателя потенциометра, перемещающейся вдоль шкалы Ш, можно определить значение термоЭДС или значение измеряемой температуры.

Структурная схема автоматического потенциометра приведена на рис. 4.2.



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

На рис. 4.3 приведена полная измерительная схема автоматического потенциометра. На измерительной схеме приняты следующие обозначения:

- $R_{ш}$  – шунт реохорда, предназначенный для подгонки параллельно соединенных сопротивлений реохорда  $R_p$  и шунта реохорда  $R_{ш}$  до стандартного значения;
- $R_n$  – резистор для подгонки нижнего предела измерений прибора;
- $R_v$  – резистор для подгонки верхнего предела измерений прибора;
- $R_1$  – резистор для установки номинального значения тока в рабочей ветви измерительной схемы;
- $R_2$  – резистор для установки номинального значения тока во вспомогательной ветви измерительной схемы;
- $R_m$  – резистор для введения поправки на температуру свободных концов ТЭП;

$R_0$  – резистор, используемый при проверке прибора;

$R_{\Pi}$  – резистор для ограничения тока источника питания ИП.

Рабочая ветвь измерительной схемы содержит резисторы  $R_1$ ,  $R_{\Pi}$ ,  $R_{\text{В}}$ ,  $R_{\text{Ш}}$  и сопротивление реохорда  $R_{\text{Р}}$ . Вспомогательная ветвь измерительной схемы содержит резистор  $R_2$  и, в зависимости от положения переключателя  $\Pi$ , резистор  $R_{\text{М}}$  или резистор  $R_0$ .

Резистор  $R_{\text{М}}$  представляет собой катушку, намотанную медным проводом и размещенную в непосредственной близости от места подключения в измерительную схему свободных концов термоэлектрического преобразователя ТЭП.

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

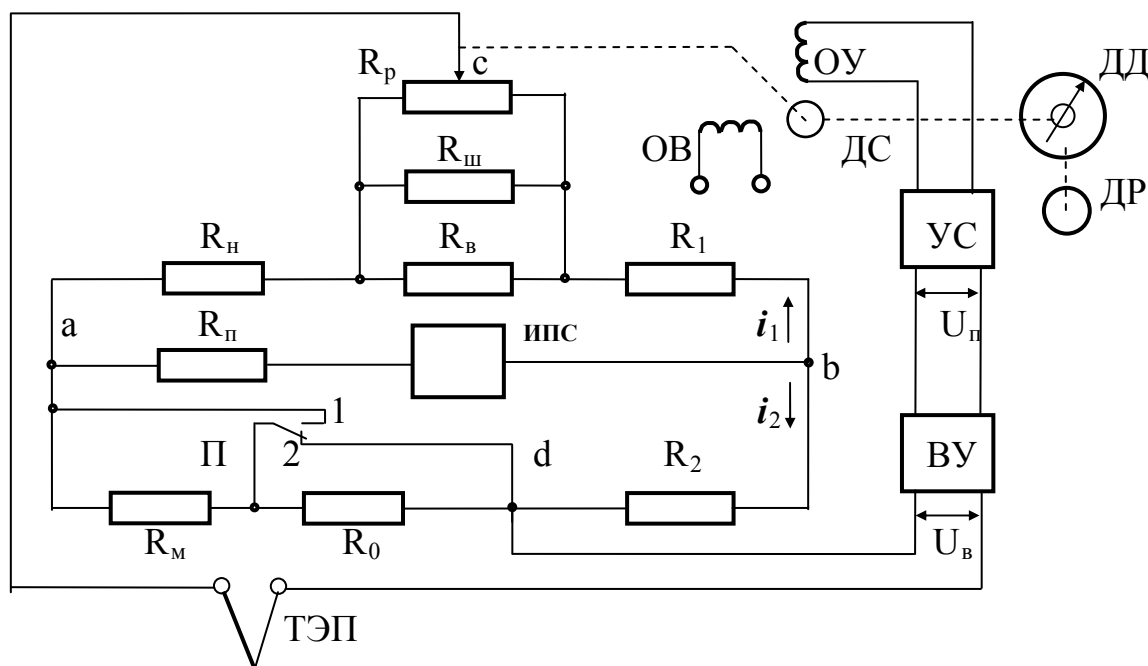


Рис. 4.3. Измерительная схема автоматического потенциометра

Напряжение  $U_{\text{В}}$  на входе входного устройства ВУ равно разности измеряемой термоЭДС  $E_m$  термоэлектрического преобразователя ТЭП и падения напряжения при прохождении тока  $i_1$  по части  $m$  эквивалентного сопротивления  $R_{\text{Э}}$  реохорда, состоящего из трех параллельно включенных сопротивлений  $R_{\text{Р}}$ ,  $R_{\text{Ш}}$ ,  $R_{\text{В}}$ , сопротивлению  $R_{\text{П}}$ , а также паде-

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

$$U_6 = E_m - i_1(m \cdot R_{\text{Э}} + R_n) - i_2 R_m . \quad (4.1)$$

Если

$$E_m = i_1(m \cdot R_{\text{Э}} + R_n) - i_2 R_m , \quad (4.2)$$

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

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

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

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

личении измеряемой температуры. Движок реохорда  $R_p$  останавливается в положении, соответствующем новому состоянию равновесия измерительной схемы с подключенным ТЭП. Стрелка автоматического потенциометра вновь устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре.

При изменении измеряемой температуры изменяется значение термоЭДС  $E_m$  и равенство (4.2) нарушается. На выходе измерительной схемы появляется напряжение  $U_b$ , которое подается на вход входного устройства ВУ. Входное устройство ВУ преобразует напряжение  $U_b$  постоянного тока в напряжение  $U_n$  переменного тока. Напряжение  $U_n$  усиливается до значения напряжения трогания электродвигателя ДС, достаточного для приведения его в действие. Вал электродвигателя ДС с помощью механической связи перемещает движок реохорда, устанавливая новое состояние равновесия измерительной схемы, при котором  $U_b = 0$ . Одновременно стрелка и пишущий узел прибора перемещаются в новое положение, соответствующее значению измеряемой температуры.

На рис. 4.4 изображена структурная схема автоматического электронного потенциометра типа ДИСК-250.

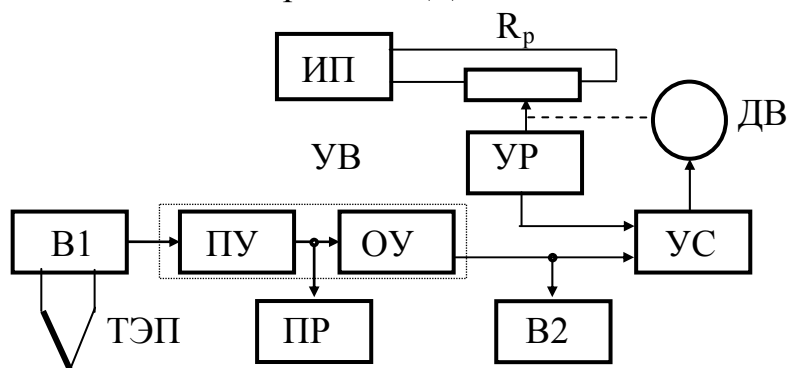


Рис. 4.4. Структурная схема автоматического прибора ДИСК-250:

- В1 – входное устройство; УВ – усилитель входного сигнала;
- ПУ – предварительный усилитель; ОУ – окончательный усилитель;
- УР – усилитель сигнала реохорда; ПР – устройство преобразования;
- В2 – выходные устройства; УС – усилитель следящей системы;
- ДВ – электродвигатель; ИП – источник питания

Входное устройство В1 (рис. 4.4) нормализует значение термоЭДС термоэлектрического преобразователя ТЭП по нижнему пределу измерения прибора. В усилителе входного сигнала УВС значение термоЭДС термоэлектрического преобразователя ТЭП нормализуется по верхнему

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

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

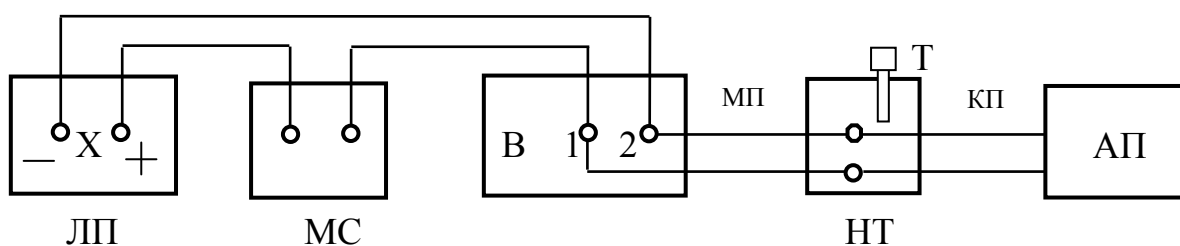
Напряжение с выхода ПУ подается на вход устройства преобразования ПР, предназначенного для преобразования выходного напряжения ПР в унифицированный сигнал  $0 - 5$  мА или  $0 - 20$  мА. Напряжение с выхода УВ подается на входы выходных устройств В2, предназначенных для выполнения дополнительных функций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

### **4.3. ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИОМЕТРОВ**

#### **4.3.1. Схема подключений автоматических потенциометров**

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

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



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

#### 4.3.2. Подготовка к поверке лабораторной установки и автоматического потенциометра

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

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

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

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

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

Включают питание лабораторной установки и питание поверяемого автоматического потенциометра с помощью соответствующих тумблеров (тумблеры «Сеть» и «Диск-250» перевести в положение «Питание ~220 В включено»). Поверка автоматического потенциометра производится через 30 минут после включения питания.

#### 4.3.3. Поверка автоматического потенциометра

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

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

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

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

### ПРОТОКОЛ

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

Поверка проводилась по эталонному потенциометру типа \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_, класса точности \_\_\_\_\_.

Время прохождения стрелкой прибора всей шкалы \_\_\_\_\_ с.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

Оцифрованные отметки шкалы	Значение ТЭДС по НСХ	Отсчет по рабочему эталону		Абсолютная погрешность прибора		Вариация
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	
		$E_{nx}$	$E_{ox}$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	
°С		мВ				

Предел допускаемой основной погрешности прибора \_\_\_\_\_ мВ.

Максимальная погрешность прибора \_\_\_\_\_ мВ.

Предел допускаемой вариации прибора \_\_\_\_\_ мВ.

Максимальная вариация прибора \_\_\_\_\_ мВ.

Вывод \_\_\_\_\_

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

$$\Delta_{дон} = \pm \gamma (E_{en} - E_{nn}) / 100, \quad (4.3)$$

$$V_{дон} = 0,5 \cdot \gamma (E_{en} - E_{nn}) / 100, \quad (4.4)$$

где  $E_{en}$ ,  $E_{nn}$  – значения термоЭДС, соответствующие верхнему и нижнему пределам измерений прибора, мВ;

$\gamma$  – предел допускаемой основной приведенной погрешности прибора, %.

Перед поверкой АП необходимо:

- включить питание лабораторного потенциометра;
- установить рабочий ток эталонного потенциометра;
- перевести переключатель «Род работы» эталонного потенцио-



метра в положение «Потенциометр»;

– перевести переключатель сопротивления линии в положение «0».

Проверка автоматического потенциометра производится в следующем порядке.

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

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

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний прибора для каждой оцифрованной отметки шкалы при прямом  $\Delta_1$  и обратном  $\Delta_2$  ходе и вариацию  $V$  прибора по формулам

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= E_{nx} - E_0 - E_m, \\ \Delta_2 &= E_{ox} - E_0 - E_m, \end{aligned} \quad (4.5)$$
$$V = |E_{nx} - E_{ox}|,$$

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

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

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

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

Если выполняются условия:

$$|\Delta_{max}| \leq \Delta_{дон} , \quad (4.6)$$

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

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

#### 4.4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

#### 4.5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

## 5. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

### 5.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

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

Задачами лабораторной работы являются:

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

### 5.2. ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

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

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

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

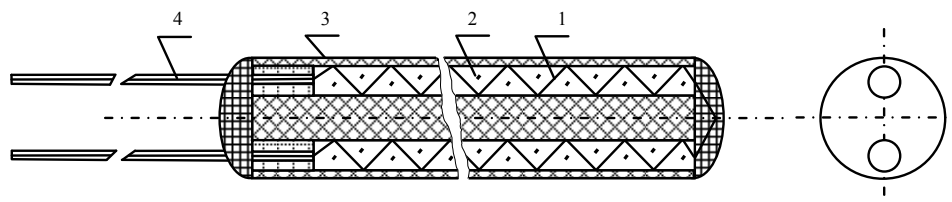


Рис. 5.1. Чувствительный элемент платиновых ТПС

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

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

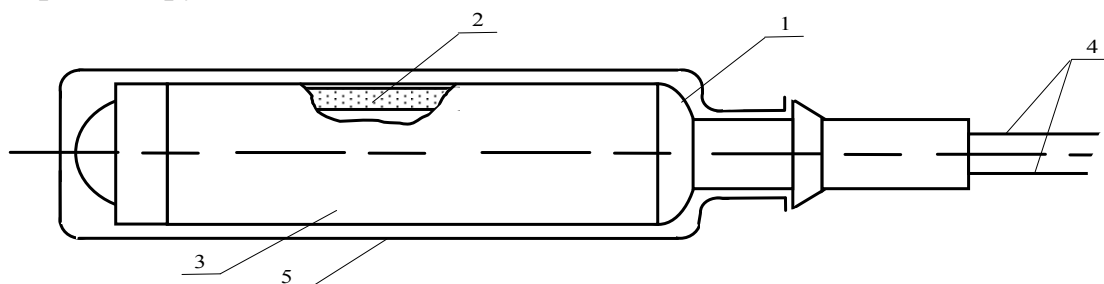


Рис. 5.2. Чувствительный элемент медных ТПС

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

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

Таблица 5.1

Условные обозначения НСХ и технические характеристики ТПС

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

Для технических ТПС допускаемые отклонения (погрешности) сопротивления чувствительного элемента при 0 °С ( $R_0$ ) и отношения  $R_{100}/R_0$ , соответствуют значениям, приведенным в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Допускаемые отклонения (погрешности) технических ТПС

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

Примечание. Plusовое допускаемое отклонение  $R_{100}/R_0$  не нормируется.

### 5.3. УСТРОЙСТВО ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

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

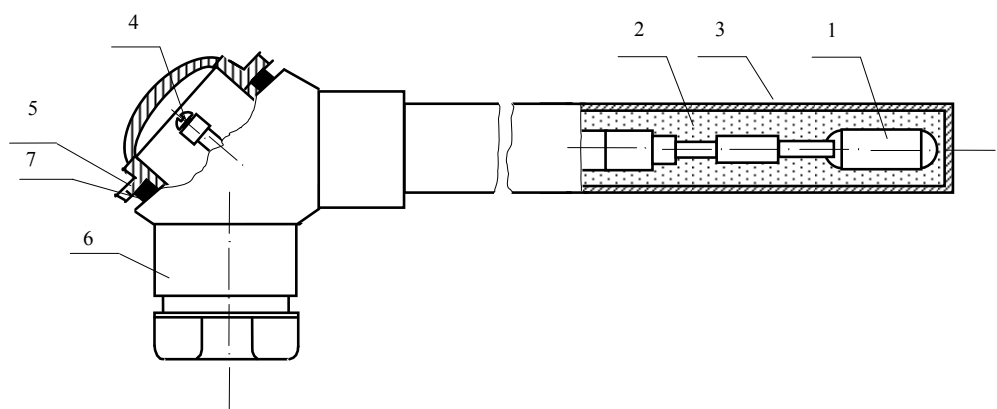


Рис. 5.3. Конструкция термopреобразователя сопротивления

Свободное пространство между чувствительным элементом и защитным чехлом заполнено порошком окиси алюминия 2 для улучшения теп-

лопередачи. Головка ТПС состоит из корпуса, в котором находятся контактные клеммы 4, штуцер под кабель 6, крышка 5 и прокладка 7.

#### 5.4. УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЕРКИ ТПС

Поверочная установка представлена на рис. 5.4. Для поверки технических ТПС  $R_{ТС}$  используются следующие эталонные средства измерения: потенциометр типа ПП-63 с классом точности 0,05; ртутные термометры типа ТЛ-4 с ценой деления  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и с пределами измерения  $-30 \div +20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $50 - 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; эталонная катушка сопротивления  $R_{Э} = 100\text{ Ом}$ . В качестве источника регулируемого напряжения (ИРН) можно использовать потенциометр типа ПП-63, установив соответствующий режим работы.

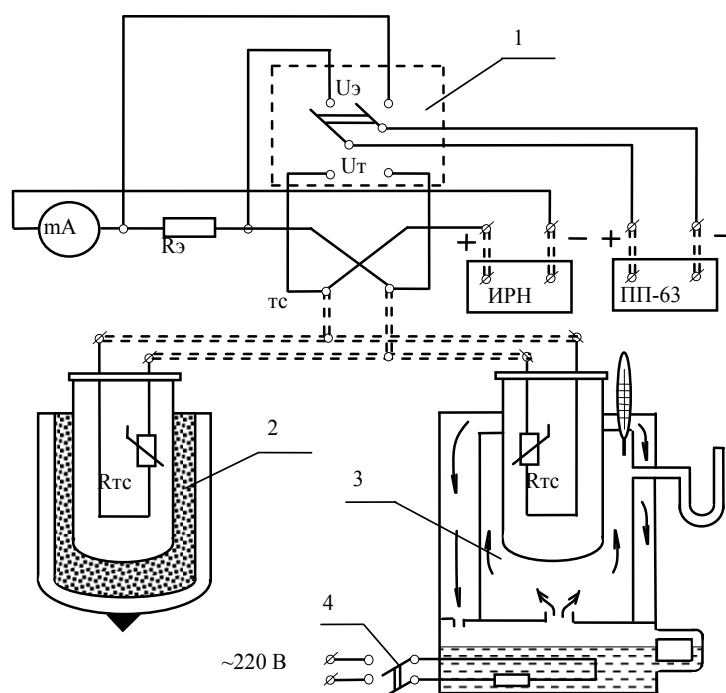


Рис. 5.4. Схема установки для поверки технических ТПС

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

Поверка технических ТПС сводится к оценке сопротивления чувствительного элемента в 2-х точках температурной шкалы при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Измерение сопротивления термопреобразователя производится косвенным методом. С помощью потенциометра измеряется падение

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

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

### 5.5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

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

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

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

Переключатель 1 ставится в положение, соответствующее измерению падения напряжения на эталонном сопротивлении  $R_{\Sigma}$ . Подается от источника питания ИРН такое напряжение, чтобы ток в цепи при поверке

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

### ПРОТОКОЛ

поверки технического ТПС типа \_\_\_\_ класса допуска \_\_\_\_ НСХ \_\_\_\_ .

Эталонные средства измерения:

потенциометр типа \_\_\_\_ № \_\_\_\_, термометр типа \_\_\_\_ № \_\_\_\_, катушка сопротивления  $R_0 = 100 \text{ Ом}$ .

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

Показания потенциометра	Ед. изм	Поверяемые точки							
		0 °С				100 °С			
		1	2	3	4	1	2	3	4
На эталонной катушке, $U_{\Sigma}$	мВ								
Среднее, $U_{\Sigma\text{CP}}$	мВ								
На ТПС, $U_T$	мВ								
Среднее, $U_{T\text{CP}}$	мВ								
$R_{TC} = \frac{U_{T\text{CP}}}{U_{\Sigma\text{CP}}} \cdot R_{\Sigma}$	Ом	$R_0 =$				$R_{100} =$			
$R_{100} / R_0$									
Номинальное значение $R_{0H}$	Ом	$R_{0H} =$ (табл.5.1)							
Номинальное значение $R_{100} / R_0$	—	$(R_{100} / R_0)_H =$ (табл.5.2)							
Абсолютная погрешность $R_0$ и $R_{100} / R_0$	Ом	$\Delta R_0 = R_0 - R_{0H} =$							
	—	$\Delta (R_{100} / R_0) = R_{100} / R_0 - (R_{100} / R_0)_H =$							
Допускаемые погрешности по классу допуска	Ом	$\Delta R_{0д} =$ (табл. 5.2)							
	—	$\Delta (R_{100} / R_0)_{д} =$ (табл. 5.2)							

Вывод: ТПС (не)годен по классу допуска \_\_\_\_ .

Переключатель 1 переводится в положение, соответствующее измерению падения напряжений на ТПС  $R_{TC}$ . Не изменяя значения напря-



жения питания, нужно измерить значение падения напряжения  $U_T$  на ТПС. Измерение должно проводиться 4 раза при поочередном подключении  $R_{Э}$  и  $R_{ТС}$ .

Вычисляется значение сопротивления термопреобразователя  $R_{ТС}$  по формуле

$$R_{ТС} = \frac{U_{ТСР}}{U_{ЭСР}} \cdot R_{Э}, \quad (5.1)$$

где  $U_{ТСР}$  и  $U_{ЭСР}$  – среднее арифметическое значение падения напряжения на ТПС и эталонной катушке сопротивления.

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

Проводится поочередно по 4 замера падения напряжения на эталонной катушке сопротивления  $U_{Э}$  и ТПС  $U_{ТС}$ . Результаты замеров заносятся в протокол. Рассчитывается  $R_{ТС}$  значение сопротивления ТПС при температуре паров кипящей воды по формуле 5.1. Если значение температуры паров кипящей воды менее  $100^{\circ}\text{C}$ , то сопротивление ТПС  $R_{100}$  при температуре  $100^{\circ}\text{C}$  вычисляют по формуле

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

где  $\Delta R$  – поправка, рассчитанная по таблице 5.3.

Значение этой поправки соответствует разности температур:

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

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

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

Полученные абсолютные погрешности  $\Delta R_0$  и  $\Delta (R_{100} / R_0)$  сравниваются с допускаемыми погрешностями этих величин для класса допуска, указанного в паспорте на ТПС или более низкого. Термопреобразователь сопротивления считается годным к практическому применению, если полученные значения  $\Delta R_0$  и  $\Delta (R_{100} / R_0)$  меньше допускаемых значений, указанных в таблице 5.2.

Таблица 5.3

Поправки  $\Delta R$  для вычисления  $R_{100}$  на отклонение температуры

насыщенных паров кипящей воды от 100 °С

$\Delta t, ^\circ\text{C}$	Медные	Платиновые	При $t_k = 98,6 ^\circ\text{C}$ сопротивление медного ТПС с НСХ 50М равно 71,2 Ом. $\Delta t = 100 - 98,6 = 1,4 ^\circ\text{C}$ . По таблице находим: <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;"><math>\Delta t</math></td> <td style="padding: 0 10px;"><math>\Delta R</math></td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">1</td> <td style="padding: 0 10px;">0,214</td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">+ 0,4</td> <td style="padding: 0 10px;">+ 0,085</td> </tr> <tr> <td style="border-top: 1px solid black; padding: 0 10px;">1,4</td> <td style="border-top: 1px solid black; padding: 0 10px;">0,299 <math>\approx</math> 0,3</td> </tr> </table> Ом	$\Delta t$	$\Delta R$	1	0,214	+ 0,4	+ 0,085	1,4	0,299 $\approx$ 0,3
	$\Delta t$	$\Delta R$									
1	0,214										
+ 0,4	+ 0,085										
1,4	0,299 $\approx$ 0,3										
	50М	50П									
1	0,214	0,192									
2	0,428	0,384									
3	0,642	0,576									
4	0,856	0,768									
5	1,070	0,960									
6	1,284	1,152									
7	1,498	1,344									
8	1,712	1,536									
9	1,926	1,728									

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

### 5.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

### 5.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

### 6. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРОВ

## 6.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

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

Задачами лабораторной работы являются:

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

## 6.2. ЛОГОМЕТРЫ

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

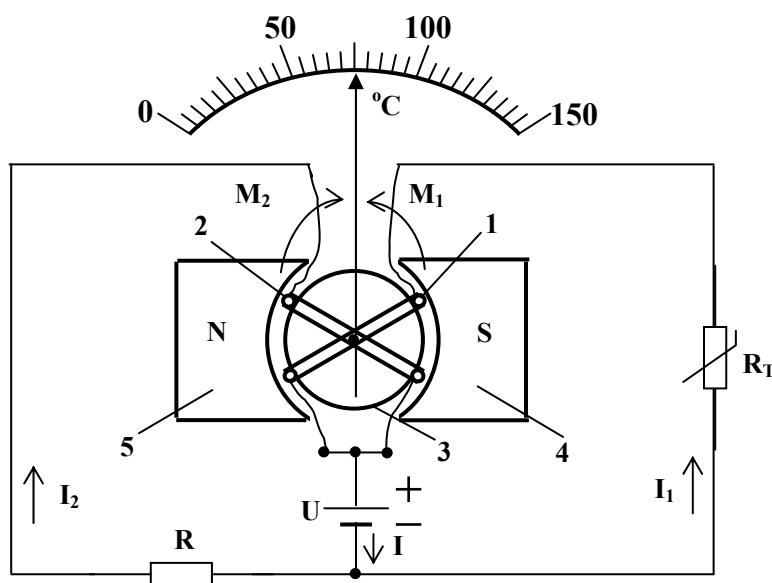


Рис. 6.1. Принципиальная схема логометра:  
1,2 – рамки; 3 – сердечник; 4,5 – полюса постоянного магнита;  
R – постоянный резистор;  $R_T$  – ТПС

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

Для подвода тока к рамкам применяют безмоментные вводы. Обе рамки питаются от общего источника постоянного напряжения. Последовательно с рамкой 1 включен ТПС с сопротивлением  $R_T$ , а с рамкой 2 – постоянный резистор  $R$ . Рамки логометра включены таким образом, что при протекании по ним токов  $I_1$  и  $I_2$  создаются магнитные поля, в результате взаимодействия которых с полем постоянного магнита возникают вращающие моменты  $M_1$  и  $M_2$ , направленные навстречу друг другу.

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

Если сопротивление  $R_T$  вследствие увеличения измеряемой температуры, а следовательно, нагрева ТПС, возрастет, то ток  $I_1$  уменьшится. Вращающий момент рамки 1 будет меньше момента рамки 2, т.к.  $I_1$  меньше  $I_2$ . Подвижная система начнет поворачиваться в направлении большего момента, т.е. в сторону увеличения показания температуры. При этом рамка 1 с меньшим вращающим моментом попадет в более сильное магнитное поле и её момент увеличивается, а рамка 2, наоборот, попадет в более слабое магнитное поле и её момент уменьшается.

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

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

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

$B_1$  и  $B_2$  – магнитные индукции в местах расположения рамок.

Из уравнения (6.1) следует, что

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{K_2 \cdot B_2}{K_1 \cdot B_1}.$$

(6.2)

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

$$\varphi = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right).$$

(6.3)

В соответствии с законом Ома токи будут равны:

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

(6.4)

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

$$\varphi = F\left(\frac{R_{P2} + R}{R_{P1} + R_T}\right).$$

(6.5)

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

$$\varphi = F(R_T),$$

(6.6)

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

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

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

Номинальное значение сопротивления линий, соединяющих логометр с ТПС, указывается на шкале логометра и равно 5 Ом. Заданное значение сопротивления линии обеспечивается с помощью двух подгоночных катушек с сопротивлением  $R_{л} \cong 2,5 \text{ Ом}$ .

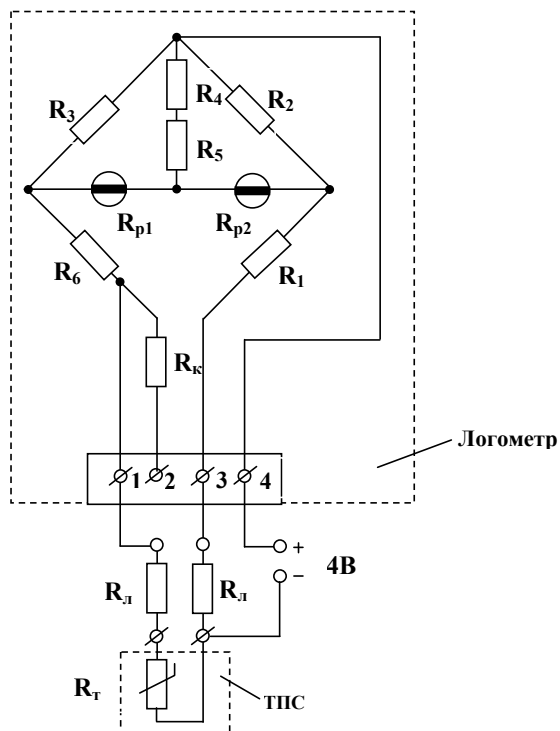


Рис. 6.2. Принципиальная схема логометра с ТПС, включенным по трехпроводной схеме

### 6.3. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОВЕРКИ ЛОГОМЕТРА

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

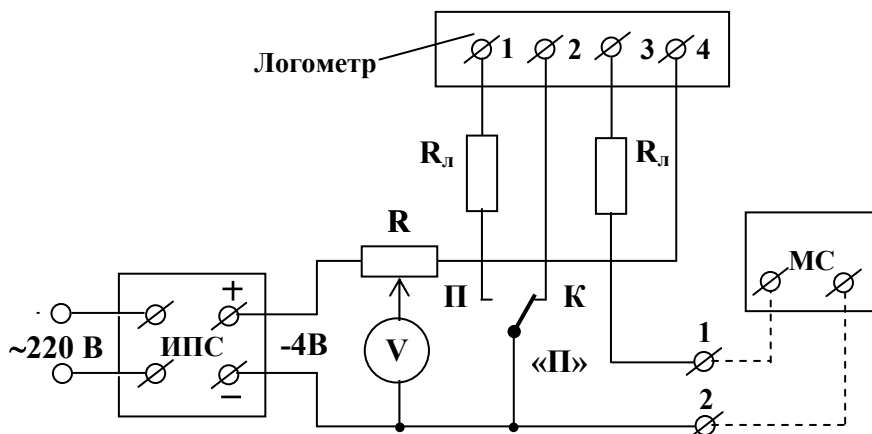


Рис. 6.3. Схема установки для поверки логометра

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

## 6.4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ ЛОГОМЕТРА

### 6.4.1. Определение основной погрешности и вариации показаний

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

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

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

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

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

### ПРОТОКОЛ

поверки логометра типа \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ НСХ \_\_\_\_\_  
с пределами измерения от \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_<sup>0</sup>С класса \_\_\_\_\_.  
Поверка производилась по эталонному магазину сопротивлений  
типа \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ класса точности \_\_\_\_\_.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ ПОКАЗАНИЙ

Поверяемые отметки	Сопротивления по	Показания эталонного прибора	Основная абсолютная погрешность и вариация поверяемого логометра



шкалы	НСХ $R_0$	Прямой ход $R_1$	Обрат- ный ход $R_2$	Прямой ход $\Delta_1$	Обратный ход $\Delta_2$	Вариация $V$
°С	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом

Предел основной допускаемой погрешности логометра \_\_\_\_\_ Ом.

Максимальная погрешность логометра \_\_\_\_\_ Ом.

Предел допускаемой вариации логометра \_\_\_\_\_ Ом.

Максимальная вариация логометра \_\_\_\_\_ Ом.

Вывод \_\_\_\_\_ .

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

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

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

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний логометра для каждой оцифрованной отметки шкалы при прямом  $\Delta_1$  и обратном  $\Delta_2$  ходе и вариацию  $V$  показаний по формулам

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= R_{nx} - R_0, \\
 \Delta_2 &= R_{ox} - R_0, \\
 (6.7) \quad V &= |R_{nx} - R_{ox}|,
 \end{aligned}$$

где  $R_0$  – значение сопротивления ТПС, определяемое по номиналь-

ной статической характеристике, соответствующее оцифрованной отметке шкалы, Ом;

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

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

$$\Delta_{дон} = \pm \gamma_{дон} \cdot (R_{вн} - R_{ин}) / 100, \quad (6.8)$$

$$V_{дон} = \gamma_{дон} \cdot (R_{вн} - R_{ин}) / 100,$$

(6.9)

где  $R_{вн}$ ,  $R_{ин}$  – значения сопротивлений, соответствующие верхнему и нижнему пределам измерений логометра, Ом;

$\gamma_{дон}$  – предел допускаемой основной приведенной погрешности логометра, %.

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

$$|\Delta_{max}| \leq \Delta_{дон}, \quad (6.10)$$

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

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

#### 6.4.2. Определение влияния изменения напряжения питания на показания логометров

Определение влияния изменения напряжения питания логометра типа Ш69000 на его показания производится в трёх числовых отметках шкалы (начальной, средней и конечной). С помощью переменного резистора  $R$  устанавливают на вольтметре  $V$  напряжение питания логометра

на 20 % меньше номинального, а стрелку логометра устанавливают поочередно на заданные отметки шкалы (прямой ход). Результаты измерений записывают в таблицу 6.1. Затем повторяют измерения на тех же отметках при напряжении питания на 20 % больше номинального.

Таблица 6.1

Оценка погрешности от изменения напряжения питания

Проверяемые отметки		Показания эталонного магазина сопротивлений		Дополнительная погрешность от изменения напряжения питания	
t	R <sub>I</sub>	U <sub>пит</sub> = -20%U <sub>н</sub>	U <sub>пит</sub> =+20%U <sub>н</sub>	U <sub>пит</sub> = -20%U <sub>н</sub>	U <sub>пит</sub> =+20%U <sub>н</sub>
		R <sub>I</sub> '	R <sub>I</sub> ''	Δ <sub>1</sub> '	Δ <sub>1</sub> ''
°C	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом

Вывод: \_\_\_\_\_ .

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

$$\Delta_1' = R_I' - R_I, \quad (6.12)$$

$$\Delta_1'' = R_I'' - R_I,$$

где  $R_I$  – отсчёт сопротивлений по МС для начальной, средней и конечной отметки при номинальном напряжении питания;  $R_I'$  и  $R_I''$  – отсчёт по магазину сопротивлений для начальной, средней и конечной отметки при напряжении питания логометра меньшим на 20 % и большим на 20 % номинального.

Оценка дополнительной абсолютной погрешности производится по наибольшей из разностей  $\Delta_1'$  и  $\Delta_1''$ .

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

### 6.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

## 6.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

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

## 7. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ С МОСТОВОЙ И КОМПЕНСАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ

### 7.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы заключается в изучении автоматических приборов для измерения температуры, работающих в комплекте со стандартными термопреобразователями сопротивления, изучении образцовых средств, применяемых для поверки автоматических приборов с мостовой и компенсационной измерительной схемой, приобретении навыков работы с образцовыми средствами и освоении поверки автоматических приборов для измерения температуры. В качестве рабочего эталона используется магазин сопротивлений типа Р4831.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение принципа действия и устройства автоматических приборов для измерения температуры;
- поверка автоматических приборов с мостовой и компенсационной измерительной схемой и обработка результатов поверки;
- определение погрешностей измерительных систем с двух- и трехпроводными схемами включения термопреобразователей сопротивления.

## 7.2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ УРАВНОВЕШЕННЫЕ МОСТЫ

Автоматические уравновешенные мосты предназначены для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями сопротивления (ТПС). В автоматических уравновешенных мостах используется измерительная схема, реализующая нулевой метод измерения значения сопротивления ТПС. Простейшая измерительная схема уравновешенного моста изображена на рис. 7.1.

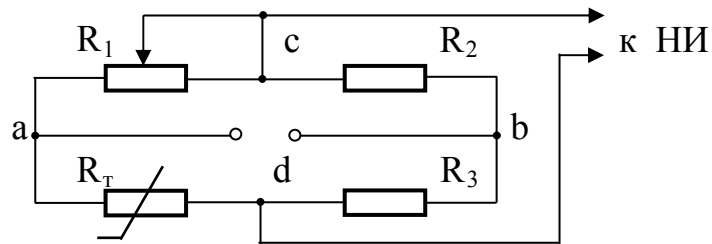


Рис. 7.1. Измерительная схема уравновешенного моста

Измерительная схема представляет собой последовательно соединенные между собой в замкнутую цепь ТПС  $R_T$  и резисторы  $R_1 - R_3$ .

Точки **a**, **b**, **c**, **d** между резисторами  $R_1 - R_3$  и термопреобразователем сопротивления  $R_T$  принято называть вершинами измерительной схемы уравновешенного моста. Электрические цепи между соседними вершинами измерительной схемы, например вершинами **a** и **c**, называют плечами моста. Электрические цепи между вершинами, разделенными двумя плечами моста, например между вершинами **c** и **d**, называют диагоналями моста. Электрическую цепь между вершинами **c** и **d**, в которую включают индикатор наличия тока НИ (нуль-индикатор), называют измерительной диагональю моста. Измерительную цепь между вершинами **a** и **b**, в которую включают источник питания, называют диагональю питания моста.

Равновесие измерительной схемы уравновешенного моста характеризуется отсутствием тока в измерительной диагонали моста, которому соответствует равенство произведений значений сопротивлений противоположных плеч моста  $R_1 R_3 = R_2 R_T$ . При нарушении равновесия измерительной схемы, например при изменении значения сопротивления термопреобразователя сопротивления  $R_T$ , схему можно привести в состояние равновесия путем изменения значения переменного сопротивления  $R_1$ . По положению движка переменного сопротивления  $R_1$  можно судить о значении сопротивления ТПС, так как  $R_T = R_1 R_3 / R_2$ , а отношение  $R_3 / R_2$  является постоянной величиной. В измерительных схемах

автоматических приборов в качестве переменных сопротивлений используют сопротивления специальной конструкции (реохорд).

Структурная схема автоматического уравновешенного моста приведена на рис. 7.2.

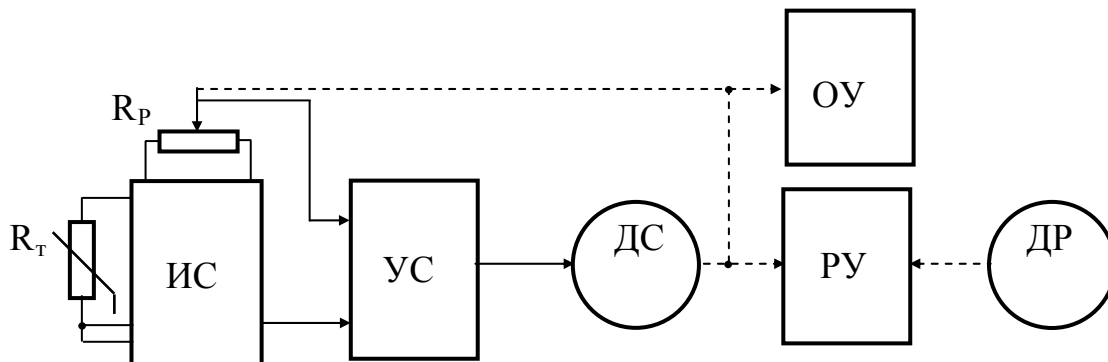


Рис. 7.2. Структурная схема автоматического моста:

ИС – измерительная схема;  $R_P$  – реохорд; УС – усилитель следящей системы; ДС, ДР – электродвигатели следящей системы и регистрирующего устройства; ОУ – отсчетное устройство; РУ – регистрирующее устройство

На рис. 7.3 приведена полная измерительная схема уравновешенного автоматического моста. На ней приняты следующие обозначения:

$R_{ш}$  – шунт реохорда, предназначенный для подгонки параллельно соединенных сопротивлений реохорда  $R_P$  и шунта реохорда  $R_{ш}$  до стандартного значения;

$R_n$  – резистор для подгонки нижнего предела измерений;

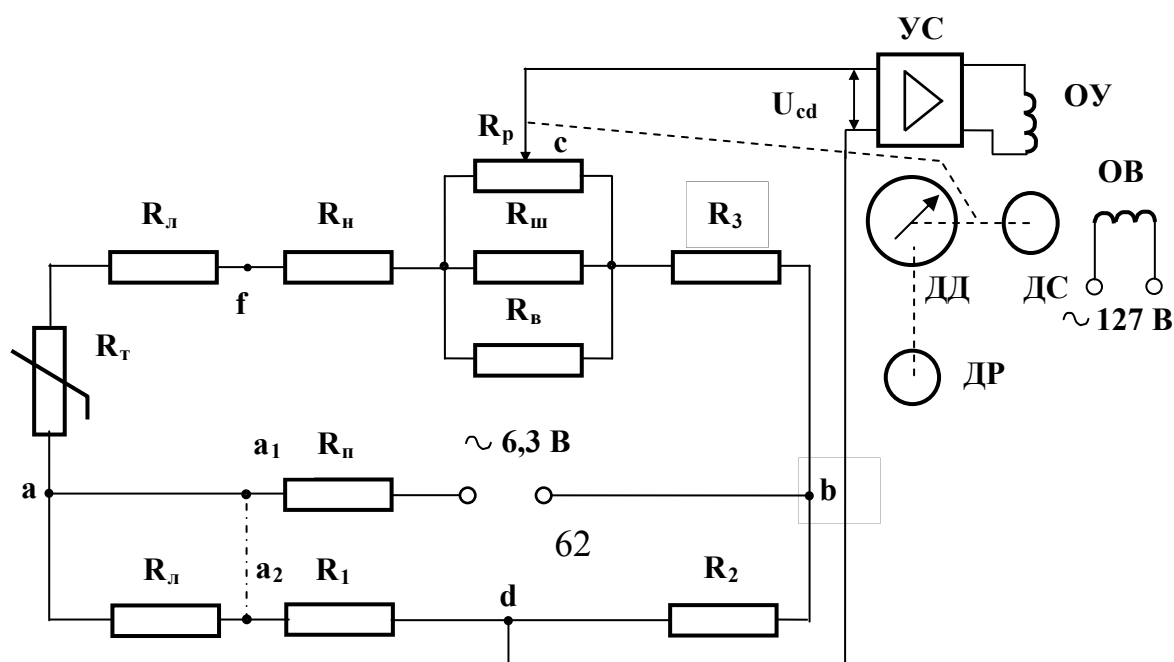
$R_v$  – резистор для подгонки верхнего предела измерений;

$R_1, R_2, R_3$  – резисторы измерительной схемы;

$R_n$  – резистор для ограничения тока в цепи питания;

$R_T$  – термопреобразователь сопротивления;

$R_{л}$  – подгоночные катушки для установки стандартных значений сопротивлений линий связи ТПС с автоматическим мостом.



*Рис. 7.3. Измерительная схема автоматического уравновешенного моста*

Следящая система автоматического моста состоит из усилителя УС, электродвигателя ДС, механически связанного с движком реохорда  $R_p$ . Отсчетное устройство содержит шкалу и стрелку. Регистрирующее устройство включает пишущий узел и лентопротяжный механизм диаграммной ленты или устройство перемещения диаграммного диска ДД, связанные с электродвигателем ДР регистрирующего устройства. Механические связи показаны на схеме (рис. 7.3) пунктирными линиями.

Если значение измеряемой температуры равно нижнему пределу измерений, то измерительная схема автоматического моста находится в состоянии равновесия и напряжение  $U_{cd}$  на ее выходе отсутствует. Стрелка отсчетного устройства находится на отметке шкалы, соответствующей нижнему пределу измерений автоматического моста.

Если измеряемая температура увеличивается, то значение сопротивления ТПС увеличивается и равновесие измерительной схемы автоматического моста нарушается. На выходе измерительной схемы появляется напряжение  $U_{cd}$ , которое подается на вход усилителя УС. Напряжение с выхода усилителя УС поступает на обмотку управления ОУ реверсивного электродвигателя ДС следящей системы. Напряжение питания обмотки возбуждения ОВ электродвигателя ДС составляет 127 В переменного тока. Когда напряжение на обмотке управления ОУ достигает значения напряжения трогания, реверсивный электродвигатель ДС начинает работать. С помощью механической связи электродвигатель ДС перемещает движок реохорда  $R_p$  в направлении равновесия измерительной схемы. В момент равновесия измерительной схемы  $U_{cd} = 0$  и электродвигатель ДС отключается. Стрелка отсчетного устройства устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре.

Если измеряемая температура уменьшается, то значение сопротивления ТПС уменьшается и равновесие измерительной схемы автоматического моста вновь нарушается. На выходе измерительной схемы появляется напряжение  $U_{cd}$ , фаза которого противоположна фазе напряжения  $U_{cd}$  при увеличении измеряемой температуры. Реверсивный элек-

термодвигатель ДС перемещает движок реохорда  $R_p$  в направлении, противоположном направлению перемещения движка реохорда при увеличении измеряемой температуры. Движок реохорда  $R_p$  останавливается в положении, соответствующем новому состоянию равновесия измерительной схемы. Стрелка вновь устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре.

Термопреобразователь сопротивления включают в измерительную схему автоматического моста по двух- и трехпроводной схеме. На рис. 7.3 показана трехпроводная схема включения ТПС в измерительную схему. При трехпроводной схеме включения ТПС подключают в измерительную схему с помощью трех линий связи, одна из которых соединяется с измерительной схемой уравновешенного моста в точке  $a_1$ , вторая – в точке  $a_2$ , а третья – в точке  $f$ . Таким образом, при трехпроводной схеме включения ТПС источник питания подключают с помощью третьей линии связи непосредственно к ТПС. Условие равновесия при трехпроводной схеме включения ТПС в измерительную схему описывается уравнением

$$(R_1 + R_l)(R_3 + mR_{np}) = R_2 [R_m + R_l + R_n + (1 - m) \cdot R_{np}], \quad (7.1)$$

где  $R_{np}$  – приведенное сопротивление реохорда,  $R_{np} = R_c R_e / (R_c + R_e)$ ,  $R_c = R_p R_w / (R_p + R_w)$ ;  $m = R'_{np} / R_{np}$ ,  $R'_{np}$  – часть приведенного сопротивления реохорда правее вершины «с» моста.

При двухпроводной схеме включения термопреобразователь сопротивления подключают в измерительную схему с помощью двух линий связи, одна из которых соединяется с измерительной схемой уравновешенного моста в точке  $a_2$ , а вторая – в точке  $f$ . Условие равновесия при двухпроводной схеме включения ТПС в измерительную схему определяется уравнением

$$R_1(R_3 + mR_{np}) = R_2 [R_m + 2R_l + R_n + (1 - m)R_{np}]. \quad (7.2)$$

Так как при двухпроводной схеме включения ТПС в измерительную схему сопротивления  $R_l$  находятся в одном плече моста, возникает дополнительная погрешность измерения температуры из-за изменения сопротивлений  $R_l$  при изменении температуры окружающей среды. При трехпроводной схеме включения ТПС в измерительную схему автоматического уравновешенного моста дополнительная температурная погрешность измерения температуры уменьшается, так как сопротив-



ления  $R_{л}$  находятся в соседних плечах измерительной схемы прибора.

### 7.3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ С КОМПЕНСАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ

Автоматические приборы с компенсационной измерительной схемой предназначены для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями сопротивления. В таких приборах реализуется компенсационный метод измерения.

Простейшая компенсационная измерительная схема изображена на рис. 7.4.

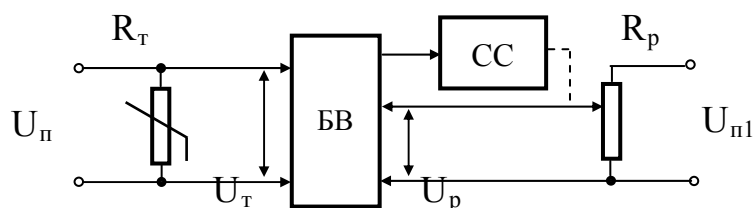


Рис. 7.4. Компенсационная измерительная схема

В блоке вычитания БВ из значения падения напряжения  $U_T$  на термопреобразователе сопротивления  $R_T$  вычитается значение падения напряжения  $U_p$  на части реохорда  $R_p$ . Если разность  $U_T$  и  $U_p$  отлична от нуля, то следящая система СС с помощью механической связи перемещает движок реохорда  $R_p$  до момента равенства  $U_T$  и  $U_p$ . В момент равенства  $U_T$  и  $U_p$  положение движка реохорда  $R_p$  соответствует значению сопротивления термопреобразователя сопротивления  $R_T$ .

На рис. 7.5 изображена структурная схема автоматического прибора типа КП1Т с компенсационной измерительной схемой.

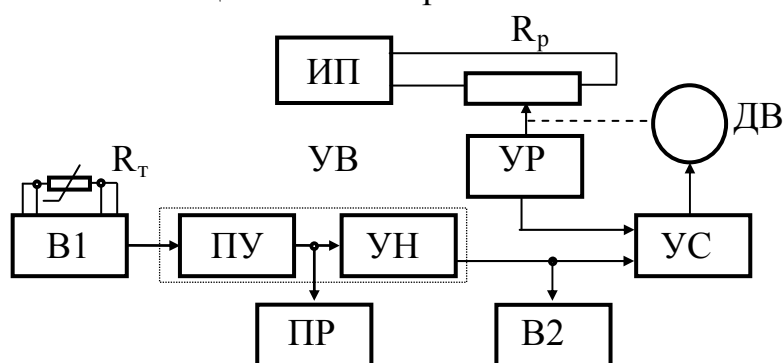


Рис. 7.5. Структурная схема прибора типа КП1Т:

$B1$  – входное устройство;  $УВ$  – усилитель входного сигнала;  
 $У$  – предварительный усилитель;  $УН$  – усилитель напряжения;  
 $УР$  – усилитель сигнала реохорда;  $ПР$  – устройство преобразования;

*В2 – выходные устройства; УС – усилитель следящей системы;  
ДС – электродвигатель; ИП – источник питания*

Термопреобразователь сопротивления  $R_T$  соединен с входным устройством В1 четырьмя линиями связи. Входное устройство В1 содержит источник тока, соединенный с ТПС  $R_T$  двумя линиями связи. Две другие линии связи предназначены для подачи на вход входного устройства В1 значения падения напряжения на ТПС  $R_T$ . Входное устройство В1 нормализует значение падения напряжения на ТПС  $R_T$  по нижнему пределу измерений прибора. В усилителе входного сигнала УС значение падения напряжения на ТПС  $R_T$  нормализуется по верхнему пределу измерений прибора.

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

На входе усилителя следящей системы УС из значения напряжения, поступающего с выхода УВ, вычитается усиленное усилителем сигнала реохорда УР значение падения напряжения на части реохорда  $R_p$ . Разность значения напряжения, поступающего на вход УС с выхода УВ, и значения напряжения, поступающего на вход УС с выхода УР, усиливается и подается на обмотку управления электродвигателя ДС следящей системы автоматического прибора. Когда напряжение на обмотке управления электродвигателя ДС достигает значения напряжения трогания, реверсивный электродвигатель ДС начинает работать. С помощью механической связи электродвигатель ДС перемещает движок реохорда  $R_p$  в таком направлении, при котором значение напряжения на обмотке управления электродвигателя ДС уменьшается. В момент равенства нулю разности значений напряжения, поступающего на вход УС с выхода УВ, и напряжения, поступающего на вход УС с выхода УР, электродвигатель ДС отключается. Стрелка отсчетного устройства, связанная с движком реохорда, устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре. При изменении измеряемой температуры изменяется значение падения напряжения на термопреобразователе сопротивления  $R_T$  и электродвигатель ДС вновь начинает работать, перемещая движок реохорда в положение, соответствующее измеряемой температуре. Стрелка отсчетного устройства вновь устанавливается на отметке шкалы, соответствующей измеряемой температуре. Таким образом, каждому значению измеряемой температуры соответствует определенное положение движка реохорда и связанной с ним стрелки отсчетного устройства.

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

#### 7.4. ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ С МОСТОВОЙ И КОМПЕНСАЦИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ

##### 7.4.1. Схема подключений для поверки автоматических мостов

Схема подключений для поверки автоматического уравновешенного моста типа КСМЗ представлена на рис. 7.6. Схема включает магазины сопротивлений МС1 и МС2 и панель переключателей А. Магазин сопротивлений МС1 типа Р4831 класса точности 0,02 является мерой входного сигнала автоматического моста, а магазин сопротивлений МС2 типа Р33 класса точности 0,2 предназначен для изменения значения сопротивления линии связи ТПС с автоматическим мостом.

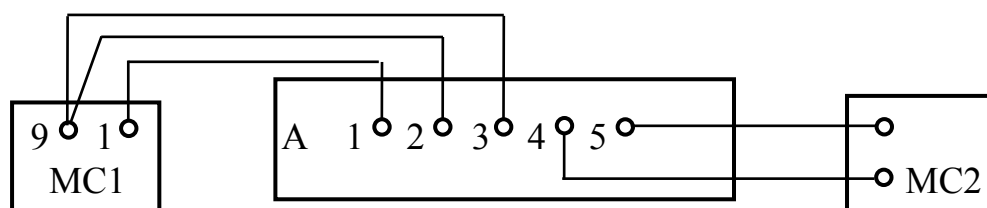


Рис. 7.6. Схема подключений для поверки автоматических мостов

##### 7.4.2. Подготовка к поверке лабораторной установки и автоматического моста

Перед поверкой автоматического моста типа КСМЗ необходимо собрать схему подключений в соответствии с рис. 7.6. Монтаж схемы следует производить при отключенном питании лабораторной установки (тумблер «Сеть» в отключенном положении). Переключатель П1 устанавливают в положение 1, в котором клеммы автоматического моста типа КСМЗ соединяются с клеммами 1 – 5 панели переключателей А. К клеммам 1 – 3 панели переключателей А, соединенным с входными клеммами автоматического моста типа КСМЗ, подключают клеммы «1», «9» магазина сопротивлений типа Р4831. К клеммам 4 и 5 панели переключателей А, включенным в разрыв линии связи автоматического моста,

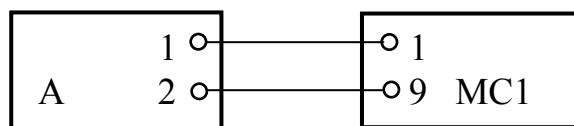
та с мерой входного сигнала, подключают клеммы «0», «9,9» магазина сопротивлений типа Р33. Устанавливают значение сопротивления МС2, равное 2,4 Ом (стандартное значение сопротивления линии).

Устанавливают значение сопротивления МС1, соответствующее нижнему пределу измерения автоматического моста. Номинальная статическая характеристика автоматического моста указана на его шкале.

Включают питание лабораторной установки и питание автоматического моста типа КСМЗ с помощью соответствующих тумблеров (тумблеры «Сеть» и «КСМЗ» переводят в положение «Питание ~220 В включено»). Проверка автоматического моста производится через 30 минут после включения питания.

#### 7.4.3. Схема подключений для поверки автоматических приборов с компенсационной измерительной схемой

Схема подключений для поверки автоматических приборов типов КП1Т и А100Н с компенсационной измерительной схемой представлена на рис. 7.7. Схема включает магазин сопротивлений МС1 и панель переключателей А. Магазин сопротивлений МС1 типа Р4831 класса точности 0,02 является мерой входного сигнала автоматических приборов с компенсационной измерительной схемой.



*Рис. 7.7. Схема подключений для поверки автоматических приборов с компенсационной измерительной схемой*

#### 7.4.4. Подготовка к поверке лабораторной установки и автоматических приборов с компенсационной измерительной схемой

Перед поверкой автоматических приборов типов КП1Т и А100Н необходимо собрать схему подключений в соответствии с рис. 7.7. Монтаж схемы следует производить при отключенном питании лабораторной установки (тумблер «Сеть» в отключенном положении). Переключатель П1 устанавливают в положение (табл. 7.1), при котором клеммы автоматического прибора типа КП1Т или типа А100Н соединяются с клеммами 1, 2 панели переключателей А. К клеммам 1, 2 панели переключателей А, соединенным с входными клеммами прибора типа КП1Т или типа А100Н, подключают клеммы «1», «9» магазина сопро-

тивлений типа Р4831.

Таблица 7.1

Положение переключателя П1

Поверяемый прибор	Положение переключателя П1
КП1Т	2
А100Н (1-й канал)	4
А100Н (2-й канал)	5

Устанавливают значение сопротивления МС1, соответствующее нижнему пределу измерения автоматического моста. Номинальная статическая характеристика автоматического моста указана на его шкале.

Включают питание лабораторной установки и питание автоматического прибора типа КП1Т или типа А100Н с помощью соответствующих тумблеров (тумблеры «Сеть» и «КП1Т» или «А100Н» переводят в положение «Питание ~220 В включено»). Проверка автоматических приборов производится через 30 минут после включения питания.

7.4.5. Проверка автоматических приборов с мостовой и компенсационной измерительной схемой

Целью проверки автоматических приборов с мостовой и компенсационной измерительной схемой является установление соответствия метрологических характеристик приборов паспортным данным. Установление этого соответствия производится путем сравнения максимальных значений основной абсолютной погрешности и вариации поверяемого прибора с пределами допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации показаний прибора.

Основную погрешность поверяемого прибора определяют для всех оцифрованных отметок шкалы. Основную погрешность вычисляют как разность значения сопротивления, соответствующего оцифрованной отметке шкалы и определяемого по номинальной статической характеристике ТПС, и значения сопротивления магазина сопротивлений МС1, соответствующего расположению стрелки на той же оцифрованной отметке шкалы.

Перед проверкой автоматического прибора необходимо подготовить протокол проверки, форма которого представлена ниже. Протокол проверки выполняется на отдельном листе отчета по лабораторной работе. В первый столбец протокола проверки заносят значения температур, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы поверяемого прибо-

ра. Во второй столбец протокола поверки заносят значения сопротивлений, соответствующие этим значениям температур по номинальной статической характеристике ТПС (см. приложения).

Определяют пределы допускаемой основной абсолютной погрешности и вариации показаний прибора по формулам:

$$\Delta_{доп} = \pm \gamma (R_{вн} - R_{нн}) / 100, \quad (7.3)$$

$$V_{доп} = 0,5 \cdot \gamma (R_{вн} - R_{нн}) / 100, \quad (7.4)$$

где  $R_{вн}, R_{нн}$  – значения сопротивлений, соответствующие верхнему и нижнему пределам измерений прибора, Ом;

$\gamma$  – предел допускаемой основной приведенной погрешности прибора, %.

Изменяя сопротивление МС1, устанавливают стрелку прибора на оцифрованную отметку шкалы, соответствующую нижнему пределу измерений прибора. Увеличивая сопротивление МС1 (прямой ход), последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы. Значения сопротивлений МС1, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы, заносят в протокол поверки.

#### ПРОТОКОЛ

поверки прибора типа \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_, НСХ \_\_\_\_\_, предел измерения \_\_\_\_\_ °С, класс точности \_\_\_\_\_.

Поверка проводилась по магазину сопротивлений типа \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_, класса точности \_\_\_\_\_.

Время прохождения стрелкой прибора всей шкалы \_\_\_\_\_.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

Оцифрованные отметки шкалы	Значение сопротивления ТПС по НСХ	Отсчет по магазину сопротивлений		Абсолютная погрешность прибора		Вариация
		Прямой ход	Обратный ход	Прямой ход	Обратный ход	
	$R_0$	$R_{нх}$	$R_{ох}$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$V$
°С	Ом					

Предел допускаемой основной погрешности прибора \_\_\_\_\_ Ом.

Предел допускаемой вариации прибора \_\_\_\_\_ Ом.

Вывод \_\_\_\_\_.

Максимальная погрешность прибора \_\_\_\_\_ Ом.

Максимальная вариация прибора \_\_\_\_\_ Ом.

Увеличивая сопротивление МС1, выводят стрелку за верхний предел измерений прибора. Затем, уменьшая сопротивление МС1 (обратный ход), вновь последовательно устанавливают стрелку на все оцифрованные отметки шкалы прибора. Значения сопротивлений МС1, соответствующие оцифрованным отметкам шкалы при обратном ходе, заносят в протокол поверки.

Рассчитывают абсолютные погрешности показаний прибора для оцифрованной отметки шкалы при прямом  $\Delta_1$  и обратном  $\Delta_2$  ходе и вариацию  $V$  показаний прибора по формулам

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= R_{nx} - R_0, \\ \Delta_2 &= R_{ox} - R_0, \end{aligned} \quad (7.5)$$

$$V = |R_{nx} - R_{ox}|,$$

где  $R_0$  – значение сопротивления ТПС по таблице номинальной статической характеристики, соответствующее оцифрованной отметке шкалы, Ом;

$R_{nx}$  и  $R_{ox}$  – значения сопротивлений МС1, соответствующие оцифрованной отметке шкалы при прямом и обратном ходе, Ом.

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

$$|\Delta_{max}| \leq \Delta_{дон}, \quad (7.6)$$

$$V_{max} \leq V_{дон}, \quad (7.7)$$

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

#### 7.4.6. Определение дополнительных погрешностей измерительных систем

Определение дополнительных погрешностей измерительных систем производится для оцифрованной отметки шкалы, близкой к половине диапазона измерений прибора, с целью проверки влияния изменения сопротивлений соединительных линий на точность показаний прибора

при трех- и двухпроводной схемах включения ТПС. Дополнительную погрешность измерительной системы определяют как разность абсолютной погрешности системы в нормальных условиях и абсолютной погрешности системы в условиях, отличных от нормальных (эксплуатационных). Нормальным считают условие, при котором значение сопротивления линии равно стандартному значению 2,5 Ом, а схема включения ТПС является трехпроводной. Сопротивление линии устанавливают с помощью магазина сопротивлений МС2.

Определяют основную погрешность прибора в нормальных условиях при прямом ходе. Результаты заносят в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

Погрешности измерительных систем

Схема включения ТПС	Значение сопротивления ТПС по НСХ	Значение сопротивления магазина МС1	Погрешность		
			абсолютная при условиях		дополнительная
			нормальных	эксплуатационных	
Ом					
Трехпроводная		2,5			
		3,0			
Двухпроводная		2,5			
		3,0			

Увеличивают сопротивление на МС2 до 3 Ом, что соответствует значению температуры окружающей среды, равному 50 °С. Определяют основную и дополнительную погрешности прибора при прямом ходе. Результаты заносят в таблицу 7.2.

Собирают двухпроводную схему включения ТПС. В схеме подключений (рис. 7.6) клемму 2 соединяют вместо клеммы 9 МС1 с клеммой 5 панели переключателей А. Определяют основную и дополнительную погрешности прибора при прямом ходе для сопротивлений линии равных 2,5 и 3 Ом. Результаты заносят в таблицу 7.2.

На основании данных таблицы 7.2 делают вывод, каким образом влияет изменение сопротивлений соединительной линии и изменение схемы подключения ТПС на показания прибора.

## 7.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Описание принципа действия и устройства поверяемого прибора.
2. Схема подключений для поверки автоматического прибора.
3. Поверка автоматического прибора.



4. Протокол поверки.
5. Ответы на контрольные вопросы.

### **7.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. В чем заключается назначение автоматических приборов с мостовой уравновешенной измерительной схемой?
2. В чем заключается преимущество автоматических приборов с компенсационной измерительной схемой по сравнению с автоматическими мостами?
3. Что представляет собой структура системы измерения температуры, включающей технические средства измерения?
4. Какие соотношения отвечают условиям равновесия измерительной схемы автоматического моста с двух- и трехпроводной схемой включения ТПС при крайних положениях движка реохорда?
5. Из чего состоит следящая система автоматического прибора?
6. В чем заключается назначение следящей системы автоматического моста и прибора с компенсационной измерительной схемой?
7. В чем заключается преимущество трехпроводной схемы подключения ТПС?
8. Какой вид погрешности измерительной системы уменьшается при четырехпроводной схеме подключения ТПС?

## **8. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ МАНОМЕТРОВ**

### **8.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

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

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

Задачами лабораторной работы являются:

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

### **8.2. ГРУЗОПОРШНЕВЫЕ МАНОМЕТРЫ**

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

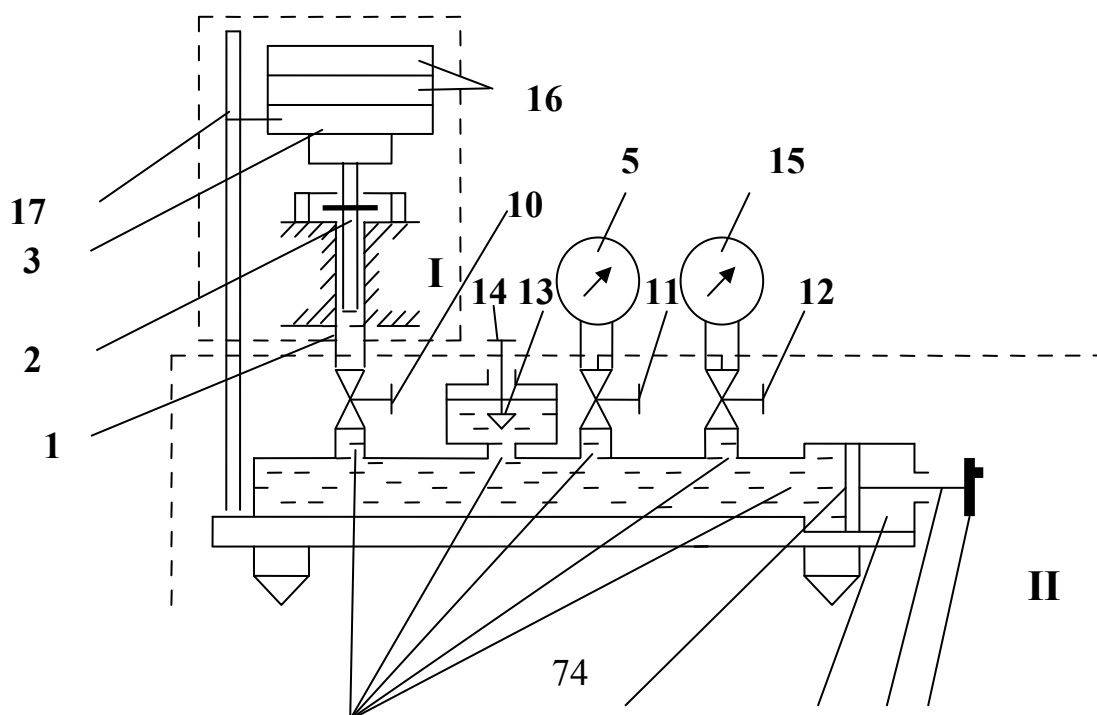
сти. Они являются рабочими эталонами, воспроизводящими с высокой точностью единицы давления кгс/см<sup>2</sup> или МПа.

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

Принцип действия грузопоршневых манометров основан на уравновешивании давления измеряемой среды на свободно перемещающийся в цилиндре поршень силой, создаваемой калиброванным грузом. Между поршнем, представляющим собой стержень правильной цилиндрической формы, и стенками цилиндра имеется зазор в  $1 \div 5$  мкм, заполненный рабочей жидкостью. В зависимости от верхнего предела измерения в качестве рабочей жидкости используются трансформаторное и касторовое масло или керосин.

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

На рис. 8.1 показана схема ГПМ типа МП-60 с диапазоном измерения  $1 \div 60$  кгс/см<sup>2</sup> (6 МПа). ГПМ включает колонку I и гидравлический винтовой пресс II, конструктивно объединенные в одном корпусе. В состав ГПМ входит набор калиброванных грузов, который обеспечивает давление равное верхнему пределу измерения.



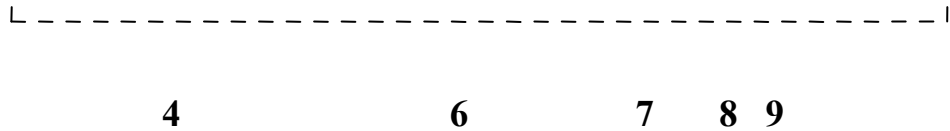


Рис. 8.1. Схема грузопоршневого манометра

Грузовая колонка содержит полый цилиндр 1, заполненный рабочей жидкостью. Внутри цилиндра находится поршень 2 с грузоприемной тарелкой 3. Внутренняя полость цилиндра соединена каналами 4 с поверяемым прибором 5 и гидравлическим прессом. Гидравлический пресс содержит уплотненный манжетами поршень 6 в цилиндре 7 и винт 8 с рукояткой 9, при вращении которой поршень перемещается в цилиндре. Каналы 4 могут перекрываться вентилями 10–12. Для заполнения гидравлической системы ГПМ рабочей жидкостью предусмотрена емкость 13 с игольчатым вентилем 14. К грузопоршневому манометру можно подключить поверяемый манометр 5 и эталонный деформационный манометр 15, либо одновременно два поверяемых манометра.

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

В состоянии равновесия для ГПМ справедливо равенство

$$P = \frac{m_1 + m_2}{F_n} \cdot g \cdot \frac{1 - \rho_6}{\rho_2}, \quad (8.1)$$

где  $P$  – измеряемое давление,

$m_1$  – масса поршня,

$m_2$  – масса грузов,

$\rho_6$  – плотность воздуха,

$\rho_2$  – плотность материала грузов,

$F_n$  – приведенная площадь поршня,

$g$  – ускорение свободного падения.

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

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

### 8.3. ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МАНОМЕТРЫ

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

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

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

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

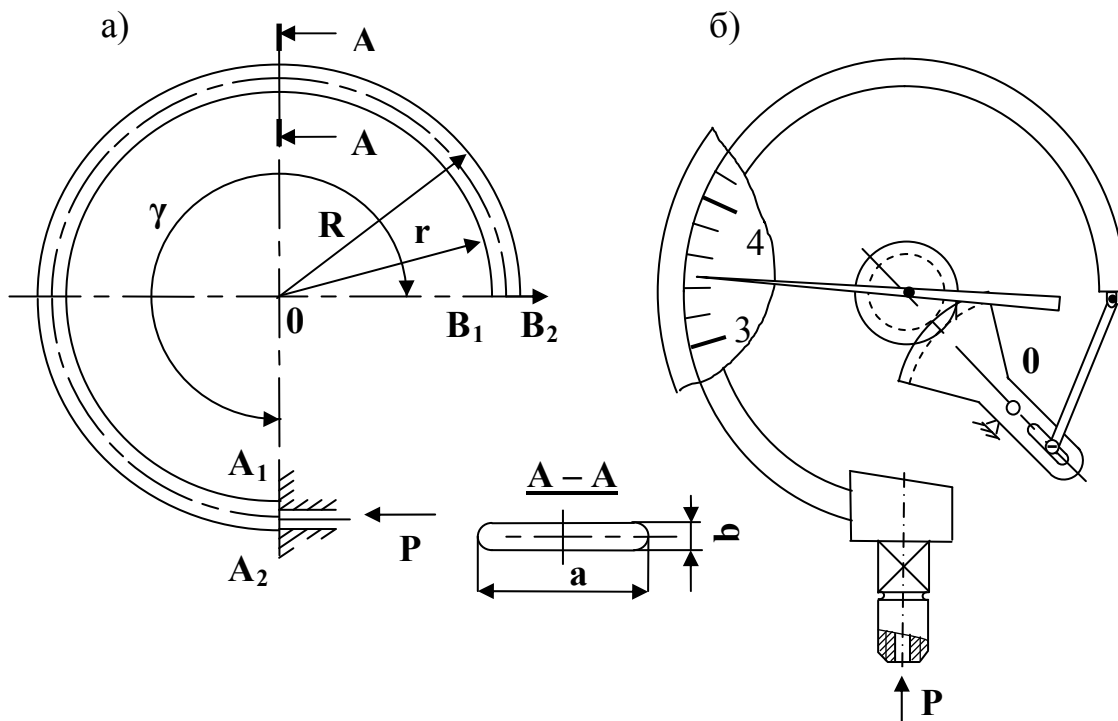


Рис. 8.2. Схема деформационного манометра с трубчатой пружиной

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

Если  $r$  – радиус  $OB_1$ ,  $R$  – радиус  $OB_2$ ,  $b$  – малая ось эллипса трубки,  $\gamma$  – угол закручивания трубки – размеры трубки до деформации давлением и соответственно  $r'$ ,  $R'$ ,  $b'$  и  $\gamma'$  – те же размеры после деформации, то будем иметь:

$$r \cdot \gamma = r' \cdot \gamma' \quad \text{и} \quad R \cdot \gamma = R' \cdot \gamma'. \quad (8.2)$$

Вычитая из второго выражения первое, получим:

$$(R - r)\gamma = (R' - r')\gamma'. \quad (8.3)$$

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

$$b\gamma = b'\gamma'. \quad (8.4)$$

После деформации трубки  $b' > b$ , поэтому  $\gamma' < \gamma$ , т.е. под воздействием измеряемого давления трубчатая пружина манометра уменьшает свою кривизну, раскручиваясь в определенном направлении.

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

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

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

#### 8.4. ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКОГО МАНОМЕТРА

Поверкой технических манометров называют совокупность операций, выполняемых с целью оценки их погрешностей и вариации.

Перед поверкой производят внешний осмотр манометра, чтобы убедиться в отсутствии неисправностей, препятствующих применению поверяемого манометра. Стрелка манометра в рабочем положении и при отсутствии давления не должна отклоняться от нулевой отметки более чем на 0,5 деления шкалы.

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

### 8.5. ПОРЯДОК ПОВЕРКИ ПО ГРУЗОПОРШНЕВОМУ МАНОМЕТРУ

Подготовить гидросистему к проведению поверки. Для отключения образцового деформационного манометра закрыть вентиль 12. Открыть вентиль грузопоршневой колонки 10, вентиль емкости с рабочей жидкостью 14 и вентиль поверяемого манометра 11, при этом давление в гидросистеме становится равным атмосферному. Для удаления воздуха из гидросистемы ввести поршень 6 в цилиндр 7 до упора вращением рукоятки 9 по часовой стрелке. Заполнить гидросистему рабочей жидкостью вращением рукоятки 9 против часовой стрелки до упора. Закрыть вентиль 14.

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

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

#### ПРОТОКОЛ

поверки манометра типа \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ конечное значение шкалы \_\_\_\_\_ кгс/см<sup>2</sup> (МПа), цена деления шкалы \_\_\_\_\_ кгс/см<sup>2</sup> (МПа) класс точности \_\_\_\_\_.

Поверка произведена по эталонному манометру типа \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ класс точности \_\_\_\_\_.

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

Допускаемая приведенная погрешность поверяемого манометра \_\_\_\_\_ %.  
Допускаемая приведенная вариация \_\_\_\_\_ %.

Максимальная приведенная погрешность поверяемого манометра \_\_\_\_\_ %.  
Максимальная приведенная вариация \_\_\_\_\_ %.

Вывод: манометр годен (негоден) для измерений.

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

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

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

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

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

#### 8.6. ПОРЯДОК ПОВЕРКИ ПО ЭТАЛОННОМУ ДЕФОРМАЦИОННОМУ МАНОМЕТРУ

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

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

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

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

После поверки ГПМ привести в исходное состояние.

#### 8.7. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

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

$$\begin{aligned}\Delta' &= P' - P_0, \\ \Delta'' &= P'' - P_0,\end{aligned}\tag{8.5}$$

где  $\Delta'$ ,  $\Delta''$  – основная абсолютная погрешность поверяемого манометра при прямом и обратном ходе, кгс/см<sup>2</sup> (МПа);

$P'$ ,  $P''$  – показания поверяемого манометра при прямом и обратном ходе, кгс/см<sup>2</sup> (МПа);

$P_0$  – показания эталонного манометра, кгс/см<sup>2</sup> (МПа).



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

$$\begin{aligned}\gamma' &= \frac{\Delta'}{P_K - P_H} \cdot 100, \\ \gamma'' &= \frac{\Delta''}{P_K - P_H} \cdot 100,\end{aligned}\tag{8.6}$$

где  $\gamma', \gamma''$  – основная приведенная погрешность поверяемого манометра при прямом и обратном ходе, %;

$P_K, P_H$  – конечное и начальное значения шкалы поверяемого манометра, кгс/см<sup>2</sup> (МПа).

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

$$V = |P' - P''|.\tag{8.7}$$

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

$$W = \frac{V}{P_K - P_H} \cdot 100.\tag{8.8}$$

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

$$\gamma_{\text{дон}} = W_{\text{дон}} = 1,5 \text{ \%}.$$

Допускаемые значения основной абсолютной погрешности и вариации вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta_{\text{дон}} &= \frac{\gamma_{\text{дон}} \cdot (P_K - P_H)}{100}, \\ V_{\text{дон}} &= \frac{W_{\text{дон}} \cdot (P_K - P_H)}{100}.\end{aligned}\tag{8.9}$$

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

Если выполняются условия

$$\begin{aligned} |\Delta_{max}| &\leq |\Delta_{don}|, \\ |V_{max}| &\leq |V_{don}|, \end{aligned} \quad (8.10)$$

где  $\Delta_{max}$ ,  $V_{max}$  – максимальные значения основной абсолютной погрешности и вариации, полученные в результате поверки, кгс/см<sup>2</sup> (МПа);

$\Delta_{don}$ ,  $V_{don}$  – допускаемые значения основной абсолютной погрешности и вариации поверяемого манометра, кгс/см<sup>2</sup> (МПа);

или условия:

$$\begin{aligned} |\gamma_{max}| &\leq |\gamma_{don}|, \\ |W_{max}| &\leq |W_{don}|, \end{aligned} \quad (8.11)$$

где  $\gamma_{max}$ ,  $W_{max}$  – максимальные значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации, %;

$\Delta_{don}$ ,  $V_{don}$  – допускаемые значения основной приведенной погрешности и приведенной вариации, %;

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

## 8.8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

## 8.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким требованиям должен удовлетворять эталонный манометр?
2. Какой метод измерения реализован в грузопоршневом манометре?

3. Почему колонку считают чувствительным элементом грузопоршневого манометра?

4. С какой целью во время измерения давления приводят во вращение грузоприемную тарелку?

5. В чем заключается назначение гидравлического прессы в поверочной установке?

6. Почему поперечное сечение манометрической пружины имеет форму эллипса или овала?

7. В чем заключается причина перемещения свободного конца манометрической пружины при изменении давления?

8. От чего зависит величина изменения  $\gamma$  угла закручивания трубчатой пружины манометра под действием давления?

9. По каким внешним признакам можно отличить образцовый деформационный манометр от технического?

10. Чем можно объяснить неоднозначность показаний технического манометра при прямом и обратном ходе на одной и той же поверяемой отметке?

11. Для определения каких метрологических характеристик используют класс точности поверяемого манометра?

## **9. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА МЕМБРАННЫХ ТЯГОНАПОРОМЕРОВ**

### **9.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

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

Задачами лабораторной работы являются:

– изучение эталонных и технических средств измерения разрежений и малых давлений;

– ознакомление с методикой поверки мембранных тягомеров, напоромеров, тягонапоромеров;

– проведение поверки технического тягомера, напоромера или тягонапоромера и обработка результатов измерений.

### **9.2. МЕМБРАННЫЕ ТЯГОНАПОРОМЕРЫ**

Мембранные тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры предна-

значены для измерения небольших избыточных и вакуумметрических давлений газов, не превышающих  $4000 \text{ кгс/м}^2$  ( $0,04 \text{ МПа}$ ). Например, в котельных установках напоромерами измеряют избыточное давление воздуха, тягомерами – разрежение в газоходах, а тягонапоромерами измеряют в топках разрежение – давление.

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

Мембранные напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры – это показывающие приборы с профильной или концентрической (круговой) шкалой. На рис. 9.1 представлена схема мембранного тягомера с профильной шкалой типа ТМП. В качестве упругого чувствительного элемента используется мембранная коробка 6, состоящая из двух гофрированных мембран, спаянных между собой припоем или сваренных роликовой сваркой. Мембраны изготовлены из бериллиевой бронзы.

Измеряемая среда подается через штуцер 1 и соединительную трубку в мембранную коробку 6. Измеряемое разрежение газа вызывает перемещение жесткого центра 5 верхней мембраны. Из-за чего поводок 7 поворачивает рычаг 8, который с помощью механизма 9 перемещает стрелку 2 вдоль шкалы 3. Установка стрелки на нулевую отметку производится корректором нуля 4.

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

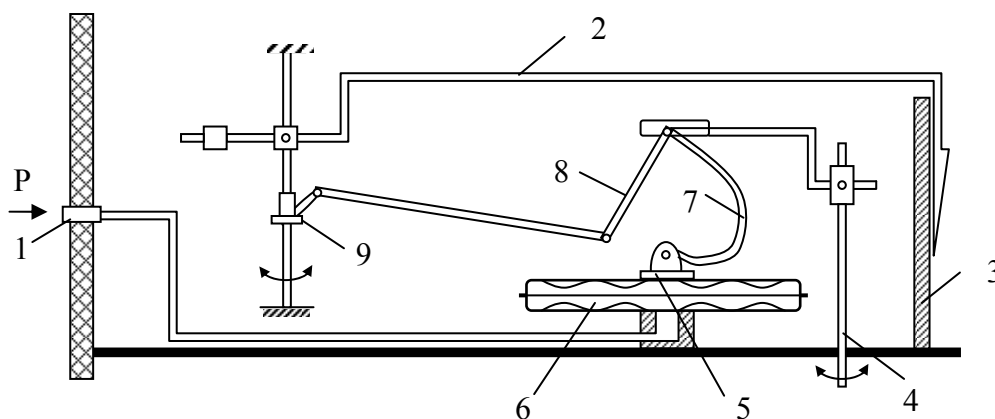


Рис. 9.1. Мембранный тягомер типа ТМП

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

сти составляют 1,5 и 2,5.

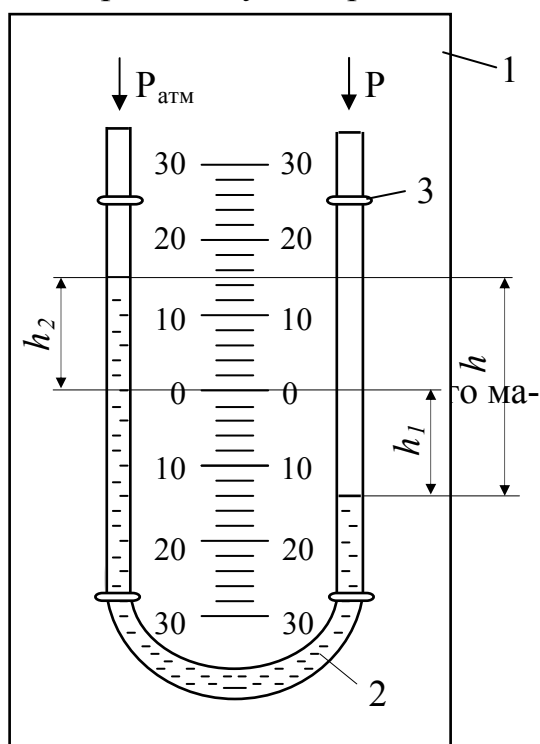
### 9.3. U-ОБРАЗНЫЙ МАНОВАКУУМЕТР МВ-1200

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

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

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

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



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

На лабораторном стенде установлен мановакууметр типа МВ-1200, заполненный водой. Результат измерения  $h$  выражается в миллиметрах водяного столба (1 мм вод. ст. = 1 кгс/м<sup>2</sup>). Диапазон измерения U-образного мановакууметра равен  $\pm 600$  мм вод.

Рис. 9.2. U-образный мановакууметр

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

При необходимости его можно перевести в Паскали по формуле

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

где  $g$  – местное ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – разность уровней рабочей жидкости, м;

$\rho$  – плотность рабочей жидкости, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_B = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);

$\rho_c$  – плотность среды над рабочей жидкостью, кг/м<sup>3</sup>.

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

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

#### 9.4. МИКРОМАНОМЕТР С НАКЛОННОЙ ТРУБКОЙ ТИПА ММН

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

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

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

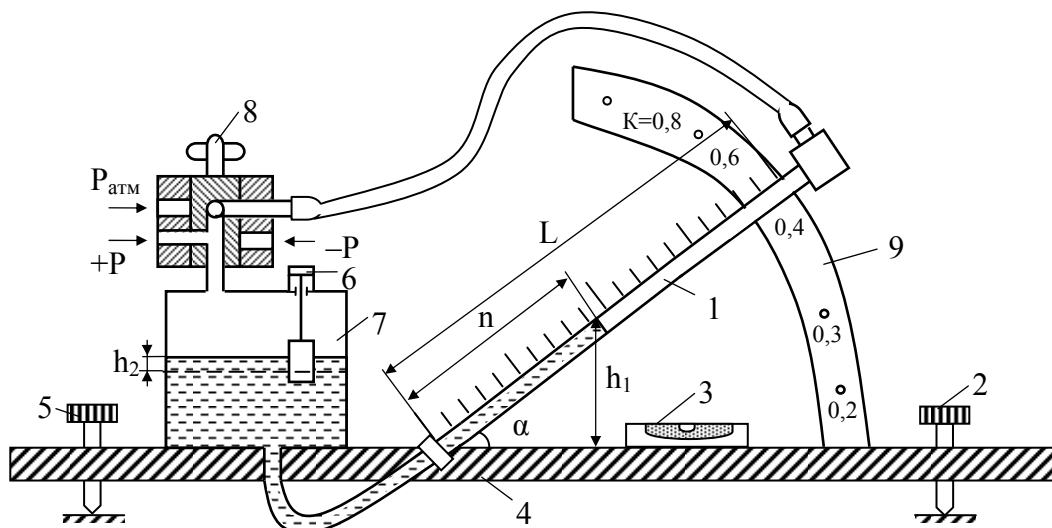


Рис. 9.3. Микроманометр с наклонной трубкой типа ММН

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

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

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

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

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

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

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

$$h = n \cdot (\sin \alpha + F_1 / F_2). \quad (9.6)$$

Значение измеряемого давления будет равно:

$$P = h \cdot g \cdot \rho = n \cdot g \cdot \rho \cdot (\sin \alpha + F_1 / F_2), \text{ Па}, \quad (9.7)$$

или

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

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

$$P = n \cdot \rho \cdot (\sin \alpha + F_1 / F_2) = n \cdot k, \quad (9.9)$$

где  $n$  – отсчет по шкале прибора, кгс/м<sup>2</sup>;

$\rho$  – плотность спирта, при температуре +20 °С ( $\rho = 0,8095$  г/см<sup>3</sup>);

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

$$k = \rho \cdot (\sin \alpha + F_1 / F_2). \quad (9.10)$$

Так как  $F_1 / F_2 < 1/400$ , то значение постоянной прибора можно определить без учета поправки на отношение  $F_1 / F_2$ . В этом случае измеряемое давление будет равно:

$$P = n \cdot \rho \cdot \sin \alpha = n \cdot k_1, \quad (9.11)$$

где  $k_1 = \rho \cdot \sin \alpha$  – постоянная прибора.

Если фактическая плотность спирта  $\rho_1$  отличается от указанной на приборе, то значения постоянных прибора должны быть умножены на поправочный множитель:

$$k' = k \frac{\rho_1}{\rho} \quad \text{и} \quad k'_1 = k_1 \frac{\rho_1}{\rho}. \quad (9.12)$$

Изменяя наклон измерительной трубки, можно получить несколько диапазонов измерения микроманометра. Для этого трубку 1 закрепляют на установочной дуге 9, на которой нанесены значения постоянных прибора:  $k = 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 0,8$ . Соответственно, микроманометр имеет пять диапазонов измерения 0–50, 0–75, 0–100, 0–150 и 0–200 кгс/м<sup>2</sup>. Микроманометр устанавливают в горизонтальной плоскости по уровню 3 с помощью винтов 2 и 5. Для установки в измерительной трубке уровня жидкости против нулевой отметки шкалы предназначен корректор нуля 6. Классы точности микроманометров 0,5 и 1.

### ПОВЕРОЧНАЯ УСТАНОВКА

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

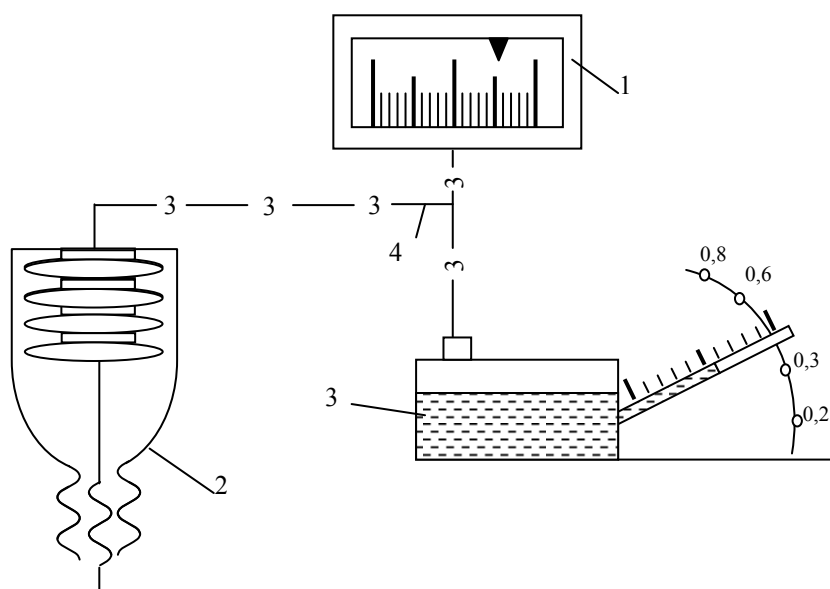
- напоромеры типа НМП-52 (№ 3), НМП-100 (№ 2, 4) и НМП-52-М1-У3 (№ 7);
- тягонапоромер типа ТНМП-52 (№ 6);
- тягомеры типа ТмМП-52-М2-У3 (№ 5), ТмМП-52 (№ 1);
- комплект тягомера, состоящий из преобразователя давления с компенсацией магнитных потоков типа ДСЭТ-МИ и измерительного прибора типа А100-2125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

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

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



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



*Рис.4. Схема поверочной установки  
1 – поверяемый прибор, 2 – сильфонный пресс, 3 – микроманометр с наклонной трубкой, 4 – пневматическая система*

### 9.6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ

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

#### ПРОТОКОЛ

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

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

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

Предел допускаемой абсолютной погрешности \_\_\_\_\_ кгс/м<sup>2</sup>.

Предел допускаемой вариации \_\_\_\_\_ кгс/м<sup>2</sup>.

Вывод \_\_\_\_\_.

Максимальная погрешность прибора \_\_\_\_\_ кгс/м<sup>2</sup>.

Максимальная вариация прибора \_\_\_\_\_ кгс/м<sup>2</sup>.

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

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

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

### 9.7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

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

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

где  $P_{II}$  – показание поверяемого прибора, кгс/м<sup>2</sup>,  
 $P_{\text{э}}$  – показание эталонного прибора, кгс/м<sup>2</sup>,

$$V = |P_{\text{э}}^{np.x} - P_{\text{э}}^{обр.x}|, \quad (9.14)$$

где  $P_{\text{э}}^{np.x}$  – показание эталонного прибора при прямом ходе, кгс/м<sup>2</sup>,  
 $P_{\text{э}}^{обр.x}$  – показание эталонного прибора при обратном ходе, кгс/м<sup>2</sup>.

Определить пределы основной абсолютной допускаемой погрешности и вариации поверяемого прибора:

$$\Delta_{\text{дон}} = \pm \frac{\gamma}{100} \cdot (P_B - P_H), \quad (9.15)$$

где  $\gamma$  – предел основной допускаемой приведенной погрешности поверяемого прибора численно равный классу точности, %,  $P_B, P_H$  – верхний и нижний пределы измерения поверяемого прибора, кгс/м<sup>2</sup>,

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

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

Если выполняются условия

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{max}} &\leq \Delta_{\text{дон}}, \\ |V_{\text{max}}| &\leq V_{\text{дон}}, \end{aligned} \quad (9.17)$$

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

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

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

## 9.8. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

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

## **9.9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

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

## **10. ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА КОМПЛЕКТА РАСХОДОМЕРА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНОЙ СИСТЕМОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ПОКАЗАНИЙ**

### **10.1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ**

Цель работы заключается в изучении технических средств измерения расхода жидкостей, газов и пара, изучении образцовых средств, применяемых для поверки расходомеров переменного перепада давления, приобретении навыков работы с образцовыми средствами измерения и выполнении поверки расходомера.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение технических средств измерения расхода;
- изучение цифрового комплекса типа ИПДЦ;
- поверка технических средств измерения расхода;

– обработка результатов поверки.

## 10.2. ЦИФРОВОЙ КОМПЛЕКС ТИПА ИПДЦ

Цифровой комплекс типа ИПДЦ состоит из электросилового измерительного преобразователя давления типа ИПД, цифрового вольтметра типа Ц304 и является рабочим эталоном для поверки технических средств измерения давления или перепада давления.

На рис. 10.1 приведена кинематическая схема ИПД. Принцип действия преобразователя давления типа ИПД заключается в следующем. Во внутреннюю полость чувствительного элемента 12 преобразователя подается давление  $P$ .

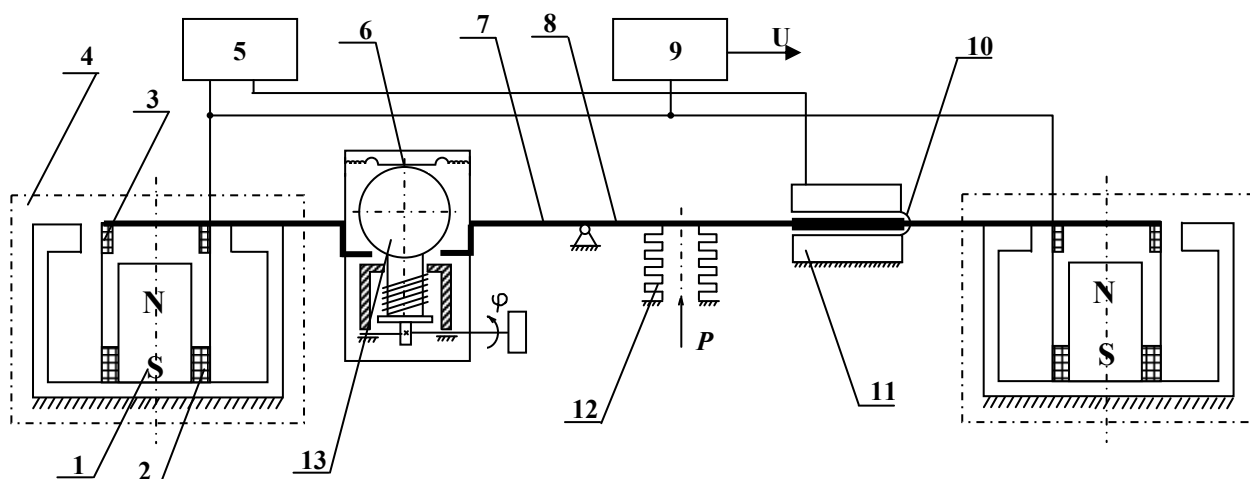


Рис. 10.1. Кинематическая схема измерительного преобразователя давления типа ИПД

Чувствительный элемент преобразует это давление в перемещение чувствительного элемента 12, которое передается на двухплечий рычаг 7, сбалансированный относительно опоры 8. Под действием силы, создаваемой чувствительным элементом, рычаг и связанный с ним плунжер 10 индикатора рассогласования 11 перемещаются. Индикатор рассогласования преобразует перемещение в сигнал переменного тока, поступающий на вход усилителя 5. Усилитель преобразует входной сигнал переменного тока в выходной сигнал постоянного тока, который поступает на подвижные обмотки 3 и обмотки коррекции нелинейности 2 силовых механизмов 4, а также на вход блока резисторов 9, выходной сигнал которого является выходным сигналом преобразователя.

В силовых механизмах 4 взаимодействия полей постоянных магнитов 1 с магнитными полями, создаваемыми токами, протекающими по обмоткам 2 и 3, создают силы, значения которых пропорциональны этим токам и силам, создаваемым чувствительным элементом.

Для периодической корректировки нуля и диапазона измерения ИПД на его передней панели (рис. 10.2) имеются корректор нуля 15, корректор диапазона 16, а в корпусе ИПД (рис. 10.1) – нагрузочное устройство, состоящее из груза–шара 13 и мембраны 6.

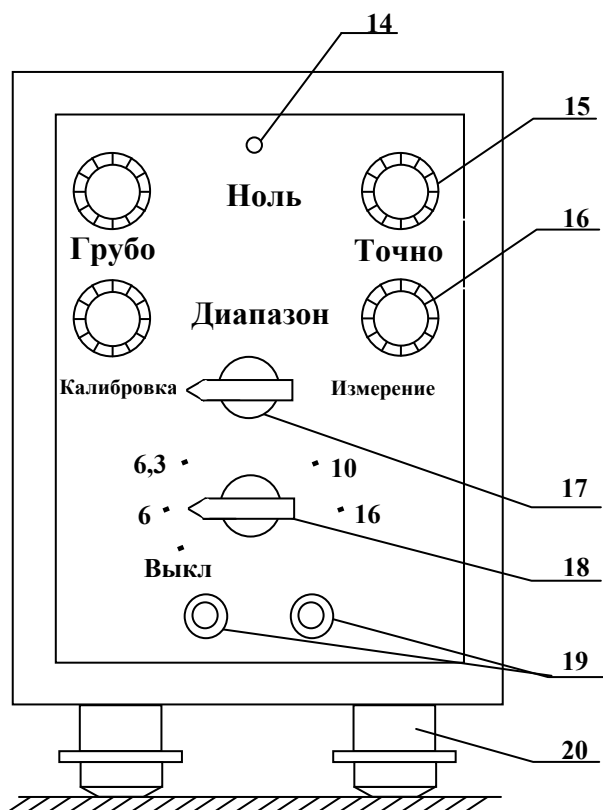


Рис. 10.2. Передняя панель ИПД

Корректоры нуля и диапазона имеют грубую и точную настройку. Грубая настройка производится с помощью корректора «Грубо», а точная настройка – с помощью корректора «Точно». Наложение груза 13 на рычаг 7 производится переводом переключателя 17 (рис. 10.2) в положение «Калибровка». В режиме измерения переключатель 17 должен находиться в положении «Измерение». Выходной сигнал ИПД снимается с клемм 19. Включение питания ИПД осуществляется переключателем диапазонов измерения 18, объединенным с выключателем напряжения питания. При включении питания ИПД загорается лампочка индикатора 14 наличия напряжения питания.

В горизонтальное положение ИПД устанавливают по уровню регулированием высоты ножек 20. На задней панели ИПД расположены штуцер для подвода измеряемого давления, разъем питания и предохранитель.

### 10.3. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МАНОМЕТР

Дифференциальный манометр (дифманометр) типа ДМ 3583М, схема которого представлена на рис. 10.3, предназначен для преобразования перепада давления в электрический выходной сигнал.

Принцип действия дифманометра основан на деформации упругого чувствительного элемента 1, представляющего собой сдвоенную мембранную коробку, при воздействии на него перепада давления. При деформации чувствительного элемента перемещается сердечник 3 дифференциально-трансформаторного преобразователя (ДТП) 2, связанного с чувствительным элементом.

Перемещение сердечника 3 преобразуется в пропорциональное значение взаимной индуктивности первичной обмотки (ПО), которая является обмоткой возбуждения, и включенными встречно секциями вторичной обмотки (ВО).

Взаимная индуктивность связана с измеряемым перепадом давления  $\Delta P = P_1 - P_2$ , где  $P_1$  – давление в плюсовой камере дифманометра,  $P_2$  – давление в минусовой камере дифманометра, зависимостью:

$$M = M_в \frac{\Delta P}{\Delta P_в}, \quad (10.1)$$

где  $M$  – взаимная индуктивность между ПО и ВО преобразователя, мГн;

$\Delta P$  – измеряемый перепад давления, Па;

$\Delta P_в$  – верхний предел диапазона измерения перепада давления, Па;

$M_в$  – значение взаимной индуктивности, соответствующее верхнему пределу диапазона измерения перепада давления,  $M_в = 10$  мГн.

Магнитный поток обмотки возбуждения, создаваемый током возбуждения  $I_в$  (рис. 10.3, б), пронизывает обе секции вторичной обмотки. В первой секции ВО индуцируется ЭДС  $E_1$ , а во второй секции ВО – ЭДС  $E_2$ . Так как секции вторичной обмотки включены встречно, а магнитные потоки, пронизывающие секции ВО, пропорциональны взаимным индуктивностям обмотки возбуждения и соответствующим секциям ВО, результирующая ЭДС вторичной обмотки  $E$  определяется как разность ЭДС  $E_1$  и  $E_2$ :

$$E = E_1 - E_2 = 2\pi f I_в M_1 - 2\pi f I_в M_2 = 2\pi f I_в (M_1 - M_2) = 2\pi f I_в M, \quad (10.2)$$

где  $f$  – частота тока возбуждения;

$M_1$  – взаимная индуктивность обмотки возбуждения и первой секции вторичной обмотки,

$M_2$  – взаимная индуктивность обмотки возбуждения и второй секции вторичной обмотки.

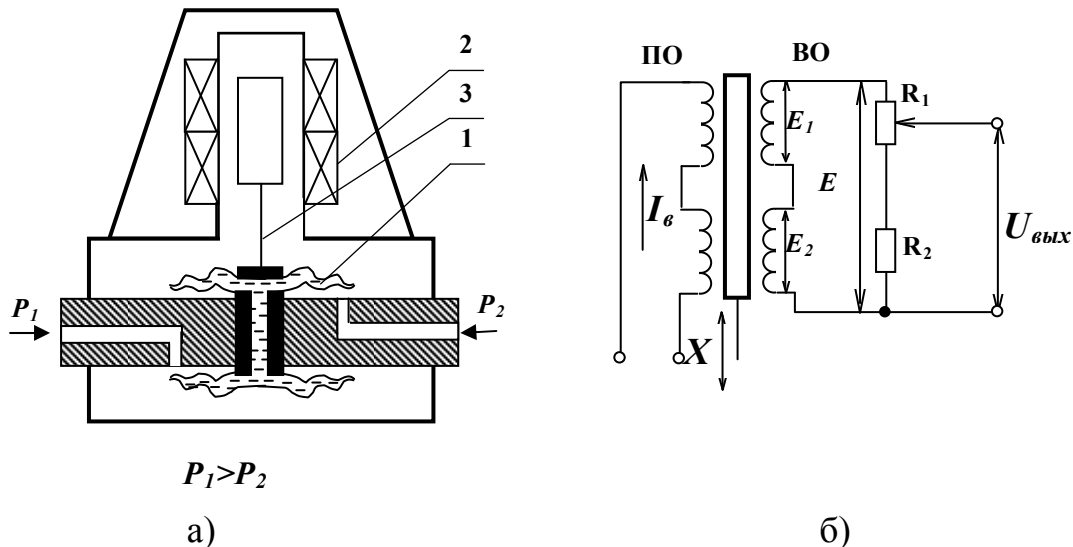


Рис. 10.3. Схема дифференциального манометра типа ДМ 3583М и принципиальная электрическая схема ДТП

Для унификации выходных сигналов преобразователей, т.е. установления строго определенной для всех преобразователей зависимости выходного сигнала  $U_{вых}$  (рис. 10.3, б) от входного сигнала  $X$ , в цепь ВО введен делитель, состоящий из сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ . Смещением движка переменного сопротивления  $R_1$  можно добиться одинаковой зависимости  $U_{вых} = f(X)$ , где  $X$  – входной сигнал, равный по значению величине перемещения сердечника ДТП, для различных экземпляров преобразователей. Обычно  $U_{вых}$  выражают через взаимную индуктивность  $M_{вых}$  обмотки возбуждения ПО и выходной цепи преобразователя, а не через взаимные индуктивности  $M_1$  и  $M_2$  первичной обмотки ПО и секциями вторичной обмотки ВО, которые использованы в соотношении (10.2), поэтому соотношение (10.2) принимает следующий вид:

$$(10.3) \quad U_{вых} = 2\pi f I_{\theta} M_{вых} .$$

Значение взаимной индуктивности обмотки возбуждения ПО и выходной цепи ДТП определяется по формуле

$$(10.4) \quad M_{вых} = M_{\theta} \frac{X}{X_B} ,$$

где  $X$  – перемещение сердечника преобразователя;

$X_B$  – перемещение сердечника преобразователя, соответствующее



верхнему пределу измерения.

Следовательно, величина выходного сигнала ДТП определяется по формуле

$$U_{\text{вых}} = 2\pi f I_e M_e \frac{X}{X_B}. \quad (10.5)$$

Для различных типов преобразователей максимальное перемещение сердечника  $X_e$  равно 1,6 мм, 2,5 мм или 4 мм. В среднем положении сердечника преобразователя  $M_1 = M_2$ ,  $M_{\text{вых}} = 0$ , поэтому выходной сигнал преобразователя  $U_{\text{вых}} = 0$ . При смещении сердечника от среднего положения на выходе ДПП появляется выходной сигнал, величина которого пропорциональна перемещению  $X$  сердечника.

#### 10.4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ, ГАЗОВ И ПАРА

В качестве измерительных приборов для измерения расхода жидкостей, газов и пара, работающих в комплекте с ДМ, используют показывающие приборы типа КПД и самопишущие приборы типа КСД. Приборы этих типов могут быть оборудованы сигнализирующими, регулирующими и интегрирующими устройствами. Измерительные схемы приборов типа КПД и КСД одинаковы и в комплекте с ДПП дифференциального манометра типа ДМ образуют дистанционную дифференциально-трансформаторную систему передачи показаний. Принципиальная схема дифференциально-трансформаторной системы передачи показаний представлена на рис. 10.4.

Первичные обмотки преобразователей ДПП1 и ДПП2 соединены последовательно. Питание этих обмоток осуществляется переменным током напряжением 24 В и частотой 50 Гц от специальной обмотки силового трансформатора усилителя. Вторичные обмотки преобразователей ДПП1 и ДПП2 соединены по дифференциальной схеме, в которой осуществляется операция вычитания выходного сигнала  $U_2$  преобразователя ДПП2 из выходного сигнала  $U_1$  преобразователя ДПП1.

При отсутствии перепада давления на входе ДМ, когда измеряемый расход равен нулю, сердечники преобразователей ДПП1 и ДПП2 находятся в среднем положении. При этом положении сердечников выходной сигнал  $U_1$  преобразователя ДПП1 и выходной сигнал  $U_2$  преобразователя ДПП2 равны нулю, поэтому  $\Delta U = U_1 - U_2 = 0$ . В этом случае стрелка отсчетного устройства прибора должна находиться на нулевой отметке. Если стрелка отсчетного устройства прибора не находится на

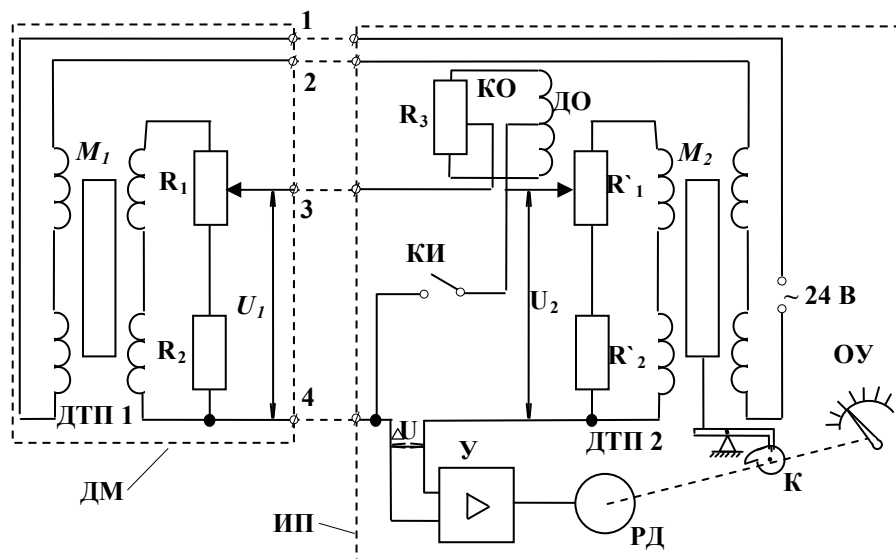


Рис. 10.4. Принципиальная схема дифференциально-трансформаторной системы передачи показаний

ДТП1 – дифференциально-трансформаторный преобразователь ДМ;  
 ДТП2 – дифференциально-трансформаторный преобразователь КПД или КСД;  
 КО – корректор нуля, состоящий из дополнительной обмотки (ДО) и переменного сопротивления  $R_3$ ; КИ – кнопка контроля исправности прибора; У – усилитель;  
 РД – реверсивный двигатель; К – кулачок; ОУ – отсчетное устройство

При таких положениях сердечников выходной сигнал  $U_1$  преобразователя ДТП1 и выходной сигнал  $U_2$  преобразователя ДТП2 не равны между собой и на вход усилителя поступает сигнал  $\Delta U = U_1 - U_2$ . Сигнал  $\Delta U$  усиливается и подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя РД. При наличии напряжения на обмотке возбуждения реверсивного двигателя его вал начинает вращаться и с помощью кулачка перемещает сердечник преобразователя ДТП2 до положения равновесия, при котором  $U_1 = U_2$ , а сигнал на входе усилителя равен нулю ( $\Delta U = U_1 - U_2$ ). Иначе следящая система, состоящая из усилителя, реверсивного двигателя и кулачка, приведет сердечник преобразователя ДТП2 в положение равновесия. В положении равновесия вал реверсивного двигателя остановится, а стрелка отсчетного устройства прибора установится на отметке шкалы, соответствующей измеряемому расходу.

## 10.5. ПОВЕРКА РАСХОДОМЕРОВ

### 10.5.1. Установка для поверки расходомеров с ДТП

Схема установки для поверки расходомеров с ДТП представлена на рис. 10.5. Установка содержит сильфонный пресс СП, предназначенный для создания давления, запорные игольчатые вентили В1–В3, рабочий эталон, состоящий из измерительного преобразователя давления ИПД и цифрового вольтметра РV. Поверяемый расходомер может состоять из дифманометра типа ДМ и измерительного прибора типа КПД или КСД.

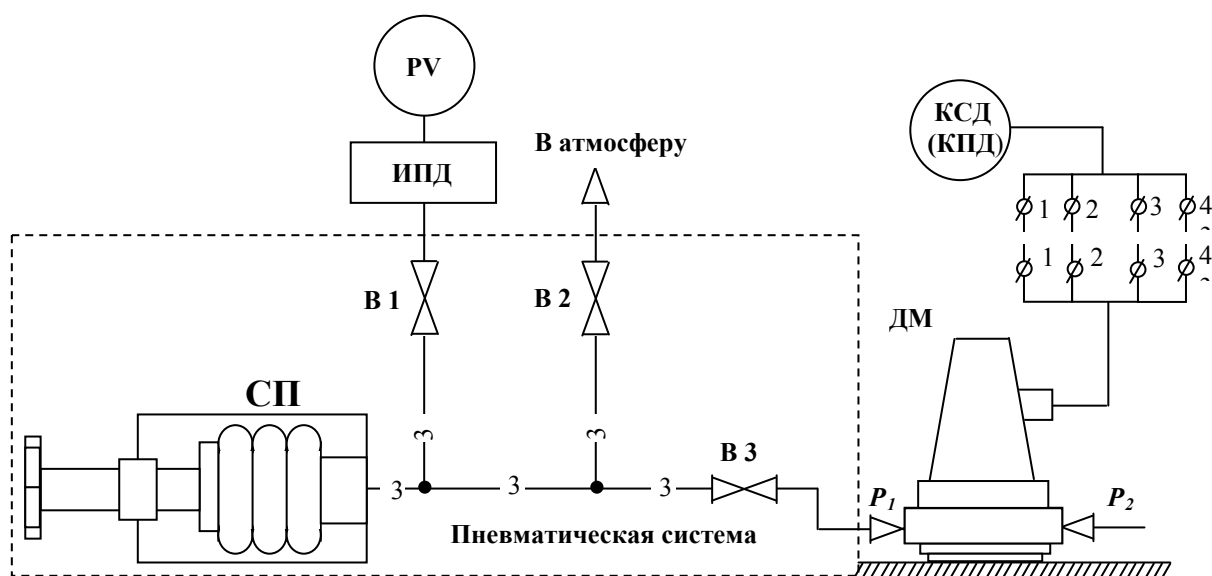


Рис. 10.5. Схема установки для поверки расходомеров с ДТП:

——— электрические цепи, —3— воздушные линии

### 10.5.2. Подготовка установки и расходомера к поверке

Перед поверкой расходомера необходимо подсоединить дифманометр к пневматической системе и произвести монтаж электрических цепей. Монтаж электрических цепей производится следующим образом. Выходные клеммы дифференциального манометра ДМ, выведенные на переднюю панель щита лабораторной установки, соединяют с входными клеммами прибора типа КПД1 или КСД2 в соответствии с маркировкой клемм. Монтаж следует производить при отключенном питании лабораторной установки (тумблер «Общий» в отключенном положении). После монтажа электрических цепей необходимо включить питание лабораторной установки, питание прибора типа КПД1 или КСД2, а также питание образцового комплекса ИПДЦ с помощью соответ-

вующих тумблеров (тумблеры «Общий», «КПД1» или «КСД2», «ИПДЦ» перевести в положение «Питание ~220 В включено»).

Цифровой вольтметр рабочего эталона может быть использован как для измерения значения выходного сигнала измерительного преобразователя давления типа ИПД, так и для измерения значения выходного сигнала промежуточного преобразователя расхода. Переключение входных сигналов цифрового вольтметра производится с помощью тумблера «Подключение Щ304». При поверке расходомеров с дифференциально-трансформаторной системой передачи показаний тумблер «Подключение Щ304» должен находиться в положении «ИПД».

Вентили В1 «К ИПД», В3 «К датчикам» и В2 «В атмосферу» должны находиться в открытом положении, а шток сильфонного пресса – полностью выведен из щита путем вращения рукоятки сильфонного пресса против часовой стрелки.

Резиновой трубкой с накидной гайкой пневматическая система соединяется со штуцером плюсовой камеры поверяемого преобразователя типа ДМ. Между накидной гайкой и штуцером ДМ необходимо установить резиновую прокладку.

После прогрева, продолжительность которого должна составлять 1 час, необходимо произвести установку нижнего и верхнего пределов измерения (калибровку) ИПД. Калибровка производится в соответствии с численными значениями нижнего и верхнего пределов измерений, а также численными значениями нижней и верхней калибровочных точек, приведенными в свидетельстве о поверке комплекса для измерения давления типа ИПДЦ (табл. 10.1). Верхний предел измерения, устанавливаемый с помощью переключателя 18 (рис. 10.2), должен соответствовать верхнему пределу измерения перепада давления дифференциального манометра  $\Delta P$ , указанному в его паспорте.

Таблица 10.1

Свидетельство о поверке цифрового комплекса типа ИПДЦ модели 89012, состоящего из преобразователя давления типа ИПД, № 2134 и цифрового вольтметра типа Щ304-1, № 0058

Нижний предел измерений	Верхний предел измерений	При измерении избыточного давления, кгс/см <sup>2</sup> . Калибровочные точки		Предел допускаемой основной погрешности
		Нижняя	Верхняя	
кгс/см <sup>2</sup>		В		%

0	0,063	0	0,9138	0,25
0	0,10	0	0,5756	0,15
0	0,16	0	0,3598	0,10

Переключатель диапазонов измерений 18 устанавливается в положение, соответствующее верхнему пределу измерения перепада давления дифференциального манометра  $\Delta P$ .

При открытом вентиле В2 корректором нуля ИПД устанавливается нижняя калибровочная точка, указанная в таблице 10.1. При этом переключатель 17 должен находиться в положении «Измерение».

Переключатель 17 переводится в положение «Калибровка» и корректором диапазона измерения 16 устанавливается значение выходного сигнала ИПД, соответствующее верхней калибровочной точке установленной с помощью переключателя 18 и равной диапазону измерений ДМ.

Далее операции установки нижней и верхней калибровочных точек повторяются до тех пор, пока погрешность установки калибровочных точек не достигнет значения  $\pm 0,01$  %. Такое значение погрешности установки соответствует отклонению в показаниях цифрового вольтметра четвертой цифры после запятой от калибровочной точки на единицу.

Производится проверка герметичности пневматической системы при закрытом вентиле В2. С помощью сильфонного пресса создается давление, равное верхнему пределу диапазона измерений поверяемого преобразователя ДМ. Изменение давления в пневматической системе наблюдается по показаниям цифрового вольтметра PV. Верхнему значению давления в пневматической системе соответствует показание PV, равное 1 В. Пневматическую систему считают герметичной в том случае, если после выдержки системы под максимальным давлением в течение 3-х минут в ней не наблюдается падение давления в течение последующих 2-х минут.

### 10.5.3. Поверка расходомера

Целью поверки расходомера является установление соответствия его метрологических характеристик паспортным данным. Установление этого соответствия производится путем сравнения максимальных зна-

чений основной абсолютной погрешности и вариации поверяемого расходомера с пределами допускаемых основной абсолютной погрешности и вариации показаний расходомера.

Перед поверкой расходомера проверяют совпадение стрелки измерительного прибора, входящего в состав расходомера, с нулевой отметкой шкалы при отсутствии перепада давления на входе дифференциального манометра (вентиль В2 открыт). При несовпадении стрелки измерительного прибора с нулевой отметкой шкалы следует установить её на нулевую отметку с помощью корректора нуля прибора. При отсутствии перепада давления стрелка-указатель прибора, не имеющего корректора нуля, должна устанавливаться на нулевую отметку шкалы с отклонением, не превышающим  $\pm 0,25$  предела допускаемой приведенной погрешности прибора.

Определение основной погрешности расходомера производят не менее чем при пяти значениях расхода, расположенных в диапазоне измерений расходомера, в том числе при значениях расхода, соответствующих 30 % и 100 % верхнего предела измерения расходомера.

В соответствии со шкалой измерительного прибора, входящего в состав расходомера, намечают 3 оцифрованные отметки шкалы прибора, расположенные в диапазоне от 30 % до 100 % верхнего предела измерений.

Основная погрешность поверяемого прибора определяется как разность расчетного значения перепада давления, соответствующего значению измеряемого расхода, и значения перепада давления, измеренного рабочим эталоном.

Для значений расхода, соответствующих намеченным отметкам шкалы прибора, определяют расчетные значения перепада давления по формуле

$$\Delta P_P = \Delta P_B \left( \frac{N}{N_{max}} \right)^2, \quad (10.6)$$

где  $\Delta P_P$  – расчетное значение перепада давления, кПа;

$\Delta P_B$  – верхний предел диапазона измерения преобразователя, кПа;

$N_{max}$  – верхний предел диапазона измерения прибора;

$N$  – значение измеряемой величины, соответствующее выбранной отметке шкалы.

Так как значение измеряемого перепада давления преобразуется рабочим эталоном типа ИПДЦ в электрическую величину, измеряемую цифровым вольтметром, то верхнему пределу измерения преобразователя  $\Delta P_B$  соответствует верхний предел измерения цифрового вольтметра  $U_{\epsilon} = 1,0000$  В.

Для значений расхода, соответствующих намеченным отметкам шкалы прибора, определяют действительные значения напряжения с точностью до 4-го знака после запятой по формуле

$$U_D = U_B \left( \frac{N}{N_{max}} \right)^2, \quad (10.7)$$

где  $U_D$  – действительные значения напряжения, В.

Значения  $\Delta P_p$  и  $U_D$  для намеченных отметок шкалы заносят в протокол поверки, форма которого приведена ниже. Определяют пределы допускаемых основных абсолютных погрешностей расходомера для намеченных отметок шкалы по формуле

$$\Delta_{don,i} = U_B \frac{2 \cdot \gamma}{100} \left( \frac{N}{N_{max}} \right), \quad (10.8)$$

где  $\Delta_{don}$  – предел допускаемой основной абсолютной погрешности расходомера для намеченной отметки шкалы, В;

$\gamma$  – предел допускаемой основной погрешности поверяемого расходомера, %.

Предел допускаемой основной погрешности поверяемого расходомера соответствует максимальному значению пределов допускаемой основной погрешности технических средств, входящих в состав расходомера. Так как предел допускаемой основной погрешности дифманометра типа ДМ составляет 1,5 %, а измерительных приборов типов КПД1 и КСД2 – 1 %, то предел допускаемой основной погрешности поверяемого расходомера  $\gamma = 1,5$  %.

Предел допускаемой вариации показаний расходомера  $V_{don,i}$  принимается равным пределу допускаемой основной абсолютной погрешности расходомера для намеченной отметки шкалы.

Исходные данные для определения основной абсолютной погрешности и вариации показаний расходомера получают в результате опыта. Опыт производят при открытых вентилях В1 «К ИПД» и В3 «К датчикам» и закрытом вентиле В2 «В атмосферу» вначале при

плавно возрастающем (прямой ход), а затем при плавно убывающем (обратный ход) перепаде давления.

При прямом и обратном ходе, плавно увеличивая или уменьшая перепад давления с помощью сильфонного пресса, устанавливают стрелку расходомера на намеченную отметку шкалы. На индикаторе цифрового вольтметра считывают соответствующее перепаду давления реальное значение напряжения  $U_p$ . Измерение напряжения  $U_p$  производят при значениях перепада давления, соответствующих намеченным отметкам шкалы, а также соответствующих 30 % и 100 % верхнего предела измерений расходомера. Результаты измерений значений напряжения  $U_p$  записывают в протокол поверки.

Основную погрешность поверяемого расходомера определяют как разность значения напряжения  $U_p$ , измеренного рабочим эталоном типа ИПДЦ, и действительного значения напряжения  $U_d$ , соответствующего значению измеряемого перепада давления. Для намеченных отметок шкалы, а также для отметок, соответствующих 30 % и 100 % верхнего предела измерений расходомера, рассчитывают абсолютные погрешности при прямом  $\Delta_1$  и обратном  $\Delta_2$  ходе и вариацию показаний  $V$  по формулам

$$\begin{aligned} \pm\Delta_1 &= U_{p1} - U_d, \\ \pm\Delta_2 &= U_{p2} - U_d, \end{aligned} \quad (10.9)$$

$$V = |U_{p1} - U_{p2}|,$$

где  $U_{p1}$  и  $U_{p2}$  – значения напряжения, измеренные с помощью цифрового вольтметра при прямом и обратном ходе, В;  
 $U_d$  – действительное значение напряжения, В.

## ПРОТОКОЛ

### поверки расходомера

Измерительный прибор:

тип \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_ . Предел измерения \_\_\_\_\_ .

Класс точности \_\_\_\_\_ .

Преобразователь:

тип \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_ . Предел измерения \_\_\_\_\_ .

Класс точности \_\_\_\_\_ .

Рабочий эталон:



тип \_\_\_\_\_, модель \_\_\_\_\_, № \_\_\_\_\_.  
 Предел измерения \_\_\_\_\_ . Класс точности \_\_\_\_\_.

Номинальное значение измеряемой величины $N$	Предел допускаемой основной абсолютной погрешности $\Delta_{дон,i}$	Действительное значение напряжения $U_D$	Измеренное значение напряжения		Абсолютная погрешность		Вариация $V$
			Прямой ход, $U_{P1}$	Обратный ход, $U_{P2}$	Прямой ход, $\Delta_1$	Обратный ход, $\Delta_2$	
т/ч (%)	В	В	В	В	В	В	В

Вывод \_\_\_\_\_.

Путем сравнения значений основных абсолютных погрешностей и вариаций показаний поверяемого расходомера с пределами допускаемых основных абсолютных погрешностей и вариаций показаний расходомера в каждой поверяемой отметке шкалы устанавливают соответствие его метрологических характеристик паспортным данным. Если выполняются условия

$$|\Delta_i| \leq \Delta_{дон,i}, \quad (10.10)$$

$$V_i \leq V_{дон,i} \quad (10.11)$$

то метрологические характеристики расходомера соответствуют паспортным данным, и в протоколе поверки делают запись «Прибор годен для измерений». Если хотя бы одно из условий (10.10, 10.11) не соблюдается, то метрологические характеристики расходомера не соответствуют паспортным данным, и в протоколе поверки делают запись «Прибор негоден для измерений».

## 10.6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать разделы.

1. Дифференциально-трансформаторная система передачи показаний.
2. Установка для поверки расходомера с ДТП.
3. Поверка расходомера.
4. Протокол поверки расходомера (оформляется на отдельной странице отчета).
5. Ответы на контрольные вопросы.

### 10.7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой чувствительный элемент дифманометра?
2. Какие устройства входят в комплект расходомера переменного перепада давления?
3. В чем заключается принцип действия ДТП?
4. От каких факторов зависит величина взаимной индуктивности между обмотками ДТП?
5. Каким образом осуществляется коррекция нулевого положения сердечника ДТП?
6. С какой целью в цепь вторичной обмотки ДТП введен делитель напряжения?
7. Каким образом производится калибровка ИПДЦ?
8. Какой вид преобразователя используется в ИПД?

### Приложение А

**Номинальная статическая характеристика платинородий-платиновой (ПП) термопары, тип S , в диапазоне температур от –50 до 1700 °С**

Температура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
–50	–0.236									
–40	–0.194	–0.199	–0.203	–0.207	–0.211	–0.215	–0.219	–0.224	–0.228	–0.232
–30	–0.150	–0.155	–0.159	–0.164	–0.168	–0.173	–0.177	–0.181	–0.186	–0.190
–20	–0.103	–0.108	–0.113	–0.117	–0.122	–0.127	–0.132	–0.136	–0.141	–0.146
–10	–0.053	–0.058	–0.063	–0.068	–0.073	–0.078	–0.083	–0.088	–0.093	–0.098
0	0.000	–0.005	–0.011	–0.016	–0.021	–0.027	–0.032	–0.037	–0.042	–0.048
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.022	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050
10	0.055	0.061	0.067	0.072	0.078	0.084	0.090	0.095	0.101	0.107

Темпе- ратура, °C	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167
30	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.204	0.210	0.216	0.222	0.229
40	0.235	0.241	0.248	0.254	0.260	0.267	0.273	0.280	0.286	0.292
50	0.299	0.305	0.312	0.319	0.325	0.332	0.338	0.345	0.352	0.358
60	0.365	0.372	0.378	0.385	0.392	0.399	0.405	0.412	0.419	0.426
70	0.433	0.440	0.446	0.453	0.460	0.467	0.474	0.481	0.488	0.495
80	0.502	0.509	0.516	0.523	0.530	0.538	0.545	0.552	0.559	0.566
90	0.573	0.580	0.588	0.595	0.602	0.609	0.617	0.624	0.631	0.639
100	0.646	0.653	0.661	0.668	0.675	0.683	0.690	0.698	0.705	0.713
110	0.720	0.727	0.735	0.743	0.750	0.758	0.765	0.773	0.780	0.788
120	0.795	0.803	0.811	0.818	0.826	0.834	0.841	0.849	0.857	0.865
130	0.872	0.880	0.888	0.896	0.903	0.911	0.919	0.927	0.935	0.942
140	0.950	0.958	0.966	0.974	0.982	0.990	0.998	1.006	1.013	1.021
150	1.029	1.037	1.045	1.053	1.061	1.069	1.077	1.085	1.094	1.102
160	1.110	1.118	1.126	1.134	1.142	1.150	1.158	1.167	1.175	1.183
170	1.191	1.199	1.207	1.216	1.224	1.232	1.240	1.249	1.257	1.265
180	1.273	1.282	1.290	1.298	1.307	1.315	1.323	1.332	1.340	1.348
190	1.357	1.365	1.373	1.382	1.390	1.399	1.407	1.415	1.424	1.432
200	1.441	1.449	1.458	1.466	1.475	1.483	1.492	1.500	1.509	1.517
210	1.526	1.534	1.543	1.551	1.560	1.569	1.577	1.586	1.594	1.603
220	1.612	1.620	1.629	1.638	1.646	1.655	1.663	1.672	1.681	1.690
230	1.698	1.707	1.716	1.724	1.733	1.742	1.751	1.759	1.768	1.777
240	1.786	1.794	1.803	1.812	1.821	1.829	1.838	1.847	1.856	1.865
250	1.874	1.882	1.891	1.900	1.909	1.918	1.927	1.936	1.944	1.953
260	1.962	1.971	1.980	1.989	1.998	2.007	2.016	2.025	2.034	2.043
270	2.052	2.061	2.070	2.078	2.087	2.096	2.105	2.114	2.123	2.132
280	2.141	2.151	2.160	2.169	2.178	2.187	2.196	2.205	2.214	2.223
290	2.232	2.241	2.250	2.259	2.268	2.277	2.287	2.296	2.305	2.314
300	2.323	2.332	2.341	2.350	2.360	2.369	2.378	2.387	2.396	2.405
310	2.415	2.424	2.433	2.442	2.451	2.461	2.470	2.479	2.488	2.497
320	2.507	2.516	2.525	2.534	2.544	2.553	2.562	2.571	2.581	2.590
330	2.599	2.609	2.618	2.627	2.636	2.646	2.655	2.664	2.674	2.683
340	2.692	2.702	2.711	2.720	2.730	2.739	2.748	2.758	2.767	2.776
350	2.786	2.795	2.805	2.814	2.823	2.833	2.842	2.851	2.861	2.870
360	2.880	2.889	2.899	2.908	2.917	2.927	2.936	2.946	2.955	2.965
370	2.974	2.983	2.993	3.002	3.012	3.021	3.031	3.040	3.050	3.059
380	3.069	3.078	3.088	3.097	3.107	3.116	3.126	3.135	3.145	3.154
390	3.164	3.173	3.183	3.192	3.202	3.212	3.221	3.231	3.240	3.250

Темпе- ратура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
400	3.259	3.269	3.279	3.288	3.298	3.307	3.317	3.326	3.336	3.346
410	3.355	3.365	3.374	3.384	3.394	3.403	3.413	3.423	3.432	3.442
420	3.451	3.461	3.471	3.480	3.490	3.500	3.509	3.519	3.529	3.538
430	3.548	3.558	3.567	3.577	3.587	3.596	3.606	3.616	3.626	3.635
440	3.645	3.655	3.664	3.674	3.684	3.694	3.703	3.713	3.723	3.732
450	3.742	3.752	3.762	3.771	3.781	3.791	3.801	3.810	3.820	3.830
460	3.840	3.850	3.859	3.869	3.879	3.889	3.898	3.908	3.918	3.928
470	3.938	3.947	3.957	3.967	3.977	3.987	3.997	4.006	4.016	4.026
480	4.036	4.046	4.056	4.065	4.075	4.085	4.095	4.105	4.115	4.125
490	4.134	4.144	4.154	4.164	4.174	4.184	4.194	4.204	4.213	4.223
500	4.233	4.243	4.253	4.263	4.273	4.283	4.293	4.303	4.313	4.323
510	4.332	4.342	4.352	4.362	4.372	4.382	4.392	4.402	4.412	4.422
520	4.432	4.442	4.452	4.462	4.472	4.482	4.492	4.502	4.512	4.522
530	4.532	4.542	4.552	4.562	4.572	4.582	4.592	4.602	4.612	4.622
540	4.632	4.642	4.652	4.662	4.672	4.682	4.692	4.702	4.712	4.722
550	4.732	4.742	4.752	4.762	4.772	4.782	4.793	4.803	4.813	4.823
560	4.833	4.843	4.853	4.863	4.873	4.883	4.893	4.904	4.914	4.924
570	4.934	4.944	4.954	4.964	4.974	4.984	4.995	5.005	5.015	5.025
580	5.035	5.045	5.055	5.066	5.076	5.086	5.096	5.106	5.116	5.127
590	5.137	5.147	5.157	5.167	5.178	5.188	5.198	5.208	5.218	5.228
600	5.239	5.249	5.259	5.269	5.280	5.290	5.300	5.310	5.320	5.331
610	5.341	5.351	5.361	5.372	5.382	5.392	5.402	5.413	5.423	5.433
620	5.443	5.454	5.464	5.474	5.485	5.495	5.505	5.515	5.526	5.536
630	5.546	5.557	5.567	5.577	5.588	5.598	5.608	5.618	5.629	5.639
640	5.649	5.660	5.670	5.680	5.691	5.701	5.712	5.722	5.732	5.743
650	5.753	5.763	5.774	5.784	5.794	5.805	5.815	5.826	5.836	5.846
660	5.857	5.867	5.878	5.888	5.898	5.909	5.919	5.930	5.940	5.950
670	5.961	5.971	5.982	5.992	6.003	6.013	6.024	6.034	6.044	6.055
680	6.065	6.076	6.086	6.097	6.107	6.118	6.128	6.139	6.149	6.160
690	6.170	6.181	6.191	6.202	6.212	6.223	6.233	6.244	6.254	6.265
700	6.275	6.286	6.296	6.307	6.317	6.328	6.338	6.349	6.360	6.370
710	6.381	6.391	6.402	6.412	6.423	6.434	6.444	6.455	6.465	6.476
720	6.486	6.497	6.508	6.518	6.529	6.539	6.550	6.561	6.571	6.582
730	6.593	6.603	6.614	6.624	6.635	6.646	6.656	6.667	6.678	6.688
740	6.699	6.710	6.720	6.731	6.742	6.752	6.763	6.774	6.784	6.795
750	6.806	6.817	6.827	6.838	6.849	6.859	6.870	6.881	6.892	6.902
760	6.913	6.924	6.934	6.945	6.956	6.967	6.977	6.988	6.999	7.010
770	7.020	7.031	7.042	7.053	7.064	7.074	7.085	7.096	7.107	7.117

Темпе- ратура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
780	7.128	7.139	7.150	7.161	7.172	7.182	7.193	7.204	7.215	7.226
790	7.236	7.247	7.258	7.269	7.280	7.291	7.302	7.312	7.323	7.334
800	7.345	7.356	7.367	7.378	7.388	7.399	7.410	7.421	7.432	7.443
810	7.454	7.465	7.476	7.487	7.497	7.508	7.519	7.530	7.541	7.552
820	7.563	7.574	7.585	7.596	7.607	7.618	7.629	7.640	7.651	7.662
830	7.673	7.684	7.695	7.706	7.717	7.728	7.739	7.750	7.761	7.772
840	7.783	7.794	7.805	7.816	7.827	7.838	7.849	7.860	7.871	7.882
850	7.893	7.904	7.915	7.926	7.937	7.948	7.959	7.970	7.981	7.992
860	8.003	8.014	8.026	8.037	8.048	8.059	8.070	8.081	8.092	8.103
870	8.114	8.125	8.137	8.148	8.159	8.170	8.181	8.192	8.203	8.214
880	8.226	8.237	8.248	8.259	8.270	8.281	8.293	8.304	8.315	8.326
890	8.337	8.348	8.360	8.371	8.382	8.393	8.404	8.416	8.427	8.438
900	8.449	8.460	8.472	8.483	8.494	8.505	8.517	8.528	8.539	8.550
910	8.562	8.573	8.584	8.595	8.607	8.618	8.629	8.640	8.652	8.663
920	8.674	8.685	8.697	8.708	8.719	8.731	8.742	8.753	8.765	8.776
930	8.787	8.798	8.810	8.821	8.832	8.844	8.855	8.866	8.878	8.889
940	8.900	8.912	8.923	8.935	8.946	8.957	8.969	8.980	8.991	9.003
950	9.014	9.025	9.037	9.048	9.060	9.071	9.082	9.094	9.105	9.117
960	9.128	9.139	9.151	9.162	9.174	9.185	9.197	9.208	9.219	9.231
970	9.242	9.254	9.265	9.277	9.288	9.300	9.311	9.323	9.334	9.345
980	9.357	9.368	9.380	9.391	9.403	9.414	9.426	9.437	9.449	9.460
990	9.472	9.483	9.495	9.506	9.518	9.529	9.541	9.552	9.564	9.576
1000	9.587	9.599	9.610	9.622	9.633	9.645	9.656	9.668	9.680	9.691
1010	9.703	9.714	9.726	9.737	9.749	9.761	9.772	9.784	9.795	9.807
1020	9.819	9.830	9.842	9.853	9.865	9.877	9.888	9.900	9.911	9.923
1030	9.935	9.946	9.958	9.970	9.981	9.993	10.005	10.016	10.028	10.040
1040	10.051	10.063	10.075	10.086	10.098	10.110	10.121	10.133	10.145	10.156
1050	10.168	10.180	10.191	10.203	10.215	10.227	10.238	10.250	10.262	10.273
1060	10.285	10.297	10.309	10.320	10.332	10.344	10.356	10.367	10.379	10.391
1070	10.403	10.414	10.426	10.438	10.450	10.461	10.473	10.485	10.497	10.509
1080	10.520	10.532	10.544	10.556	10.567	10.579	10.591	10.603	10.615	10.626
1090	10.638	10.650	10.662	10.674	10.686	10.697	10.709	10.721	10.733	10.745
1100	10.757	10.768	10.780	10.792	10.804	10.816	10.828	10.839	10.851	10.863
1110	10.875	10.887	10.899	10.911	10.922	10.934	10.946	10.958	10.970	10.982
1120	10.994	11.006	11.017	11.029	11.041	11.053	11.065	11.077	11.089	11.101
1130	11.113	11.125	11.136	11.148	11.160	11.172	11.184	11.196	11.208	11.220
1140	11.232	11.244	11.256	11.268	11.280	11.291	11.303	11.315	11.327	11.339
1150	11.351	11.363	11.375	11.387	11.399	11.411	11.423	11.435	11.447	11.459

Темпе- ратура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1160	11.471	11.483	11.495	11.507	11.519	11.531	11.542	11.554	11.566	11.578
1170	11.590	11.602	11.614	11.626	11.638	11.650	11.662	11.674	11.686	11.698
1180	11.710	11.722	11.734	11.746	11.758	11.770	11.782	11.794	11.806	11.818
1190	11.830	11.842	11.854	11.866	11.878	11.890	11.902	11.914	11.926	11.939
1200	11.951	11.963	11.975	11.987	11.999	12.011	12.023	12.035	12.047	12.059
1210	12.071	12.083	12.095	12.107	12.119	12.131	12.143	12.155	12.167	12.179
1220	12.191	12.203	12.216	12.228	12.240	12.252	12.264	12.276	12.288	12.300
1230	12.312	12.324	12.336	12.348	12.360	12.372	12.384	12.397	12.409	12.421
1240	12.433	12.445	12.457	12.469	12.481	12.493	12.505	12.517	12.529	12.542
1250	12.554	12.566	12.578	12.590	12.602	12.614	12.626	12.638	12.650	12.662
1260	12.675	12.687	12.699	12.711	12.723	12.735	12.747	12.759	12.771	12.783
1270	12.796	12.808	12.820	12.832	12.844	12.856	12.868	12.880	12.892	12.905
1280	12.917	12.929	12.941	12.953	12.965	12.977	12.989	13.001	13.014	13.026
1290	13.038	13.050	13.062	13.074	13.086	13.098	13.111	13.123	13.135	13.147
1300	13.159	13.171	13.183	13.195	13.208	13.220	13.232	13.244	13.256	13.268
1310	13.280	13.292	13.305	13.317	13.329	13.341	13.353	13.365	13.377	13.390
1320	13.402	13.414	13.426	13.438	13.450	13.462	13.474	13.487	13.499	13.511
1330	13.523	13.535	13.547	13.559	13.572	13.584	13.596	13.608	13.620	13.632
1340	13.644	13.657	13.669	13.681	13.693	13.705	13.717	13.729	13.742	13.754
1350	13.766	13.778	13.790	13.802	13.814	13.826	13.839	13.851	13.863	13.875
1360	13.887	13.899	13.911	13.924	13.936	13.948	13.960	13.972	13.984	13.996
1370	14.009	14.021	14.033	14.045	14.057	14.069	14.081	14.094	14.106	14.118
1380	14.130	14.142	14.154	14.166	14.178	14.191	14.203	14.215	14.227	14.239
1390	14.251	14.263	14.276	14.288	14.300	14.312	14.324	14.336	14.348	14.360
1400	14.373	14.385	14.397	14.409	14.421	14.433	14.445	14.457	14.470	14.482
1410	14.494	14.506	14.518	14.530	14.542	14.554	14.567	14.579	14.591	14.603
1420	14.615	14.627	14.639	14.651	14.664	14.676	14.688	14.700	14.712	14.724
1430	14.736	14.748	14.760	14.773	14.785	14.797	14.809	14.821	14.833	14.845
1440	14.857	14.869	14.881	14.894	14.906	14.918	14.930	14.942	14.954	14.966
1450	14.978	14.990	15.002	15.015	15.027	15.039	15.051	15.063	15.075	15.087
1460	15.099	15.111	15.123	15.135	15.148	15.160	15.172	15.184	15.196	15.208
1470	15.220	15.232	15.244	15.256	15.268	15.280	15.292	15.304	15.317	15.329
1480	15.341	15.353	15.365	15.377	15.389	15.401	15.413	15.425	15.437	15.449
1490	15.461	15.473	15.485	15.497	15.509	15.521	15.534	15.546	15.558	15.570
1500	15.582	15.594	15.606	15.618	15.630	15.642	15.654	15.666	15.678	15.690
1510	15.702	15.714	15.726	15.738	15.750	15.762	15.774	15.786	15.798	15.810
1520	15.822	15.834	15.846	15.858	15.870	15.882	15.894	15.906	15.918	15.930
1530	15.942	15.954	15.966	15.978	15.990	16.002	16.014	16.026	16.038	16.050

Темпе- ратура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1540	16.062	16.074	16.086	16.098	16.110	16.122	16.134	16.146	16.158	16.170
1550	16.182	16.194	16.205	16.217	16.229	16.241	16.253	16.265	16.277	16.289
1560	16.301	16.313	16.325	16.337	16.349	16.361	16.373	16.385	16.396	16.408
1570	16.420	16.432	16.444	16.456	16.468	16.480	16.492	16.504	16.516	16.527
1580	16.539	16.551	16.563	16.575	16.587	16.599	16.611	16.623	16.634	16.646
1590	16.658	16.670	16.682	16.694	16.706	16.718	16.729	16.741	16.753	16.765
1600	16.777	16.789	16.801	16.812	16.824	16.836	16.848	16.860	16.872	16.883
1610	16.895	16.907	16.919	16.931	16.943	16.954	16.966	16.978	16.990	17.002
1620	17.013	17.025	17.037	17.049	17.061	17.072	17.084	17.096	17.108	17.120
1630	17.131	17.143	17.155	17.167	17.178	17.190	17.202	17.214	17.225	17.237
1640	17.249	17.261	17.272	17.284	17.296	17.308	17.319	17.331	17.343	17.355
1650	17.366	17.378	17.390	17.401	17.413	17.425	17.437	17.448	17.460	17.472
1660	17.483	17.495	17.507	17.518	17.530	17.542	17.553	17.565	17.577	17.588
1670	17.600	17.612	17.623	17.635	17.647	17.658	17.670	17.682	17.693	17.705
1680	17.717	17.728	17.740	17.751	17.763	17.775	17.786	17.798	17.809	17.821
1690	17.832	17.844	17.855	17.867	17.878	17.890	17.901	17.913	17.924	17.936
1700	17.947	17.959	17.970	17.982	17.993	18.004	18.016	18.027	18.039	18.050

Приложение Б

**Номинальная статическая характеристика хромель-алюмелевой (ХА)  
термопары, тип К, в диапазоне температур от 0 до 800 °С**

Темпера- тура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.162
30	1.203	1.244	1.285	1.325	1.366	1.407	1.448	1.489	1.529	1.570
40	1.611	1.652	1.693	1.734	1.776	1.817	1.858	1.899	1.940	1.981
50	2.022	2.064	2.105	2.146	2.188	2.229	2.270	2.312	2.353	2.394
60	2.436	2.477	2.519	2.560	2.601	2.643	2.684	2.726	2.767	2.809

70	2.850	2.892	2.933	2.975	3.016	3.058	3.100	3.141	3.183	3.224
80	3.266	3.307	3.349	3.390	3.432	3.473	3.515	3.556	3.598	3.639
90	3.681	3.722	3.764	3.805	3.847	3.888	3.930	3.971	4.012	4.154
100	4.095	4.137	4.178	4.219	4.261	4.302	4.343	4.384	4.426	4.467
110	4.508	4.549	4.590	4.632	4.673	4.714	4.755	4.796	4.837	4.878
120	4.919	4.960	5.001	5.042	5.083	5.124	5.164	5.205	5.246	5.287
130	5.327	5.368	5.409	5.450	5.490	5.531	5.571	5.612	5.652	5.693
140	5.733	5.774	5.814	5.855	5.895	5.936	5.976	6.016	6.057	6.097
150	6.137	6.177	6.218	6.258	6.298	6.338	6.378	6.419	6.459	6.499
160	6.539	6.579	6.619	6.659	6.699	6.739	6.779	6.819	6.859	6.899
170	6.939	6.979	7.019	7.059	7.099	7.139	7.179	7.219	7.259	7.299
180	7.338	7.378	7.418	7.458	7.498	7.538	7.578	7.618	7.658	7.697
190	7.737	7.777	7.817	7.857	7.897	7.937	7.977	8.017	8.057	8.097
200	8.137	8.177	8.217	8.257	8.297	8.337	8.377	8.417	8.457	8.497
210	8.537	8.577	8.617	8.657	8.697	8.737	8.777	8.817	8.857	8.898
220	8.938	8.978	9.018	9.058	9.099	9.139	9.179	9.220	9.260	9.300
230	9.341	9.381	9.421	9.462	9.502	9.543	9.583	9.624	9.664	9.705
240	9.745	9.786	9.826	9.867	9.907	9.948	9.989	10.03	10.07	10.11
250	10.15	10.19	10.23	10.27	10.31	10.35	10.39	10.44	10.48	10.52
260	10.56	10.60	10.64	10.68	10.72	10.76	10.80	10.85	10.89	10.93
270	10.97	11.01	11.05	11.09	11.13	11.17	11.22	11.26	11.29	11.34
280	11.38	11.42	11.46	11.50	11.54	11.59	11.63	11.67	11.71	11.75
290	11.79	11.83	11.88	11.92	11.96	12.00	12.04	12.08	12.12	12.17
300	12.21	12.24	12.29	12.33	12.37	12.41	12.46	12.49	12.54	12.58
310	12.62	12.66	12.71	12.75	12.79	12.83	12.87	12.91	12.95	12.99
320	13.04	13.08	13.12	13.16	13.20	13.24	13.29	13.33	13.37	13.41
330	13.45	13.49	13.54	13.58	13.62	13.66	13.71	13.75	13.79	13.83
340	13.87	13.91	13.96	13.99	14.04	14.08	14.12	14.17	14.21	14.25
350	14.29	14.33	14.38	14.42	14.46	14.50	14.54	14.59	14.63	14.67
360	14.71	14.75	14.79	14.84	14.88	14.92	14.96	15.01	15.05	15.09
370	15.13	15.17	15.22	15.26	15.30	15.34	15.38	15.43	15.47	15.51
380	15.55	15.59	15.64	15.68	15.72	15.76	15.80	15.85	15.89	15.93
390	15.97	16.02	16.06	16.10	16.14	16.18	16.22	16.27	16.31	16.35
400	16.39	16.44	16.48	16.52	16.56	16.61	16.65	16.69	16.73	16.78
Темпера- тура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
410	16.82	16.86	16.90	16.94	16.98	17.03	17.07	17.11	17.15	17.20
420	17.24	17.28	17.33	17.37	17.41	17.45	17.49	17.54	17.58	17.62
430	17.66	17.71	17.75	17.79	17.83	17.88	17.92	17.96	18.00	18.05
440	18.09	18.13	18.17	18.22	18.26	18.30	18.34	18.38	18.43	18.47
450	18.51	18.55	18.59	18.64	18.68	18.72	18.77	18.81	18.85	18.89
460	18.94	18.98	19.02	19.06	19.11	19.15	19.19	19.23	19.28	19.32
470	19.36	19.41	19.45	19.49	19.53	19.58	19.62	19.66	19.70	19.74
480	19.79	19.83	19.87	19.92	19.96	20.00	20.04	20.08	20.13	20.17
490	20.21	20.26	20.29	20.34	20.38	20.43	20.47	20.51	20.55	20.59
500	20.64	20.68	20.72	20.77	20.81	20.85	20.89	20.94	20.98	21.02



510	21.07	21.11	21.15	21.19	21.24	21.28	21.32	21.36	21.41	21.45
520	21.49	21.53	21.58	21.62	21.66	21.71	21.75	21.79	21.83	21.88
530	21.92	21.96	22.00	22.05	22.09	22.13	22.17	22.22	22.26	22.30
540	22.35	22.39	22.43	22.47	22.52	22.56	22.60	22.64	22.69	22.73
550	22.77	22.82	22.86	22.90	22.94	22.98	23.03	23.07	23.11	23.16
560	23.19	23.24	23.28	23.33	23.37	23.41	23.45	23.49	23.54	23.58
570	23.62	23.67	23.71	23.75	23.79	23.84	23.88	23.92	23.96	24.01
580	24.05	24.09	24.14	24.18	24.22	24.26	24.31	24.35	24.39	24.43
590	24.48	24.52	24.56	24.60	24.65	24.69	24.73	24.77	24.82	24.86
600	24.90	24.94	24.99	25.03	25.07	25.11	25.16	25.19	25.24	25.28
610	25.33	25.37	25.41	25.45	25.49	25.54	25.58	25.62	25.67	25.71
620	25.75	25.79	25.84	25.88	25.92	25.96	26.01	26.05	26.09	26.13
630	26.18	26.22	26.26	26.30	26.34	26.39	26.43	26.47	26.51	26.56
640	26.59	26.64	26.68	26.73	26.77	26.81	26.85	26.89	26.94	26.98
650	27.02	27.06	27.11	27.15	27.19	27.23	27.28	27.32	27.36	27.40
660	27.44	27.49	27.53	27.57	27.61	27.66	27.69	27.74	27.78	27.82
670	27.87	27.91	27.95	27.99	28.03	28.08	28.12	28.16	28.20	28.24
680	28.29	28.33	28.37	28.41	28.45	28.49	28.54	28.58	28.62	28.67
690	28.71	28.75	28.79	28.83	28.88	28.92	28.96	29.00	29.04	29.09
700	29.13	29.17	29.21	29.25	29.29	29.34	29.38	29.42	29.46	29.50
710	29.55	29.59	29.63	29.67	29.72	29.76	29.79	29.84	29.88	29.92
720	29.97	30.01	30.05	30.09	30.13	30.17	30.21	30.26	30.29	30.34
730	30.38	30.42	30.47	30.51	30.55	30.59	30.63	30.67	30.72	30.76
740	30.79	30.84	30.88	30.92	30.96	31.01	31.05	31.09	31.13	31.17
750	31.21	31.26	31.29	31.34	31.38	31.42	31.46	31.50	31.54	31.59
760	31.63	31.67	31.71	31.75	31.79	31.84	31.88	31.92	31.96	32.00
770	32.04	32.08	32.12	32.17	32.21	32.25	32.29	32.33	32.37	32.41
780	32.45	32.49	32.54	32.58	32.62	32.66	32.70	32.74	32.78	32.82
790	32.87	32.91	32.95	32.99	33.03	33.07	33.11	33.15	33.19	33.23
800	33.28	33.32	33.36	33.40	33.44	33.48	33.52	33.56	33.60	33.64

**Приложение В**

**Номинальная статическая характеристика хромель-копелевой (ХК)  
термопары, тип L, в диапазоне температур от 0 до 600 °С**

Темпера- тура, °С	ТЭДС, мВ								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8

0	0.000	0.064	0.128	0.192	0.256	0.321	0.386	0.451	0.516	0.581
10	0.646	0.711	0.776	0.841	0.907	0.973	1.039	1.105	1.171	1.237
20	1.303	1.370	1.437	1.504	1.571	1.638	1.705	1.772	1.840	1.908
30	1.976	2.044	2.112	2.180	2.248	2.316	2.384	2.452	2.520	2.589
40	2.658	2.727	2.796	2.865	2.934	3.003	3.072	3.141	3.210	3.280
50	3.350	3.420	3.490	3.560	3.630	3.700	3.770	3.840	3.910	3.980
60	4.050	4.121	4.192	4.263	4.334	4.405	4.476	4.547	4.618	4.689
70	4.760	4.831	4.902	4.973	5.044	5.115	5.186	5.257	5.327	5.398
80	5.469	5.540	5.611	5.682	5.753	5.824	5.895	5.966	6.037	6.108
90	6.179	6.250	6.322	6.394	6.466	6.538	6.610	6.682	6.754	6.826
100	6.898	6.970	7.043	7.116	7.189	7.262	7.335	7.408	7.481	7.554
110	7.627	7.700	7.774	7.848	7.922	7.996	8.070	8.144	8.218	8.292
120	8.366	8.440	8.515	8.590	8.665	8.740	8.815	8.890	8.965	9.040
130	9.115	9.190	9.265	9.340	9.415	9.49.	9.565	9.640	9.715	9.790
140	9.865	9.940	10.02	10.09	10.17	10.24	10.32	10.39	10.47	10.55
150	10.62	10.70	10.78	10.85	10.93	11.01	11.08	11.16	11.24	11.32
160	11.39	11.47	11.55	11.63	11.70	11.78	11.86	11.94	12.02	12.09
170	12.17	12.25	12.33	12.41	12.49	12.57	12.64	12.72	12.80	12.88
180	12.96	13.04	13.12	13.20	13.28	13.36	13.44	13.52	13.60	13.68
190	13.76	13.84	13.92	14.00	14.08	14.16	14.25	14.33	14.41	14.49
200	14.57	14.65	14.73	14.81	14.89	14.97	15.06	15.14	15.22	15.29
210	15.38	15.46	15.54	15.63	15.71	15.79	15.87	15.95	16.04	16.12
220	16.20	16.28	16.37	16.45	16.53	16.61	16.69	16.78	16.86	16.95
230	17.03	17.11	17.19	17.28	17.36	17.44	17.53	17.61	17.69	17.78
240	17.86	17.94	18.03	18.11	18.19	18.27	18.36	18.44	18.52	18.61
250	18.69	18.77	18.86	18.94	19.02	19.10	19.19	19.27	19.35	19.44
260	19.52	19.60	19.69	19.77	19.86	19.94	20.02	20.11	20.19	20.28
270	20.36	20.44	20.53	20.61	20.67	20.78	20.86	20.95	21.03	21.12
280	21.20	21.28	21.37	21.45	21.54	21.62	21.70	21.79	21.87	21.96
290	22.04	22.12	22.21	22.29	22.38	22.46	22.54	22.63	22.71	22.79
300	22.88	22.96	23.05	23.13	23.22	23.30	23.38	23.47	23.55	23.64
310	23.72	23.80	23.89	23.97	24.06	24.14	24.22	24.31	24.39	24.48
320	24.56	24.64	24.73	24.81	24.90	24.98	25.07	25.15	25.24	25.32
330	25.41	25.49	25.58	25.67	25.75	25.84	25.93	26.01	26.09	26.18
340	26.27	26.36	26.44	26.53	26.61	26.70	26.79	26.87	26.96	27.04
350	27.13	27.22	27.30	27.39	27.48	27.56	27.65	27.74	27.83	27.91
360	28.00	28.08	28.17	28.26	28.35	28.43	28.52	28.61	28.69	28.78
370	28.87	28.96	29.04	29.13	29.22	29.31	29.39	29.48	29.57	29.65
380	29.74	29.83	29.91	30.00	30.09	30.17	30.26	30.35	30.44	30.52
390	30.61	30.69	30.78	30.87	30.96	31.04	31.13	31.22	31.31	31.39
400	31.48	31.57	31.65	31.74	31.83	31.91	32.00	32.09	32.18	32.26
Темпера- тура, °С	ТЭДС, мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

410	32.35	32.44	32.53	32.61	32.70	32.79	32.88	32.97	33.05	33.14
420	33.23	33.32	33.41	33.49	33.58	33.67	33.76	33.85	33.93	34.02
430	34.11	34.19	34.29	34.37	34.46	34.55	34.64	34.73	34.81	34.90
440	34.99	35.08	35.17	35.25	35.34	35.43	35.52	35.61	35.69	35.78
450	35.87	35.96	36.05	36.13	36.22	36.31	36.39	36.49	36.57	36.66
460	36.75	36.84	36.93	37.01	37.10	37.19	37.28	37.37	37.45	37.54
470	37.63	37.72	37.81	37.89	37.98	38.07	38.16	38.25	38.33	38.42
480	38.51	38.59	38.69	38.77	38.86	38.95	39.04	39.13	39.21	39.30
490	39.39	39.48	39.57	39.65	39.74	39.83	39.92	40.01	40.09	40.13
500	40.27	40.36	40.45	40.53	40.62	40.71	40.79	40.89	40.97	41.06
510	41.15	41.24	41.33	41.41	41.50	41.59	41.68	41.77	41.85	41.94
520	42.03	42.12	42.21	42.29	42.38	42.47	42.56	42.65	42.73	42.82
530	42.91	42.99	43.09	43.17	43.26	43.35	43.44	43.53	43.61	43.70
540	43.79	43.88	43.97	44.05	44.14	44.23	44.32	44.41	44.49	44.58
550	44.67	44.76	44.84	44.93	45.02	45.11	45.19	45.29	45.37	45.46
560	45.55	45.64	45.73	45.82	45.91	45.99	46.08	46.17	46.26	46.35
570	46.44	46.53	46.62	46.71	46.79	46.88	46.97	47.06	47.15	47.24
580	47.33	47.42	47.51	47.59	47.68	47.77	47.86	47.95	48.03	48.12
590	48.21	48.29	48.39	48.47	48.56	48.65	48.74	48.83	48.91	49.00
600	49.09	49.18	49.27	49.35	49.44	49.53	49.62	49.71	49.79	49.88

Приложение Г

**Номинальная статическая характеристика термопреобразователя  
сопротивления медного типа ТСМ для температур от 0 до 200 °С, НСХ 50М**

Темпе- ратура, °С	Сопротивление термопреобразователя, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50.000	50.214	50.428	50.642	50.856	51.070	51.284	51.498	51.712	51.926
10	52.140	52.354	52.569	52.783	52.997	53.211	53.425	53.639	53.853	54.067
20	54.281	54.495	54.709	54.923	55.137	55.351	55.565	55.780	55.994	56.208
30	56.422	56.636	56.850	57.064	57.278	57.492	57.706	57.920	58.134	58.348
40	58.562	58.776	58.990	59.204	59.418	59.632	59.846	60.060	60.274	60.488
50	60.702	60.916	61.130	61.344	61.558	61.772	61.986	62.200	62.414	62.628
60	62.842	63.056	63.270	63.484	63.698	63.912	64.126	64.340	64.553	64.767
70	64.981	65.195	65.409	65.623	65.837	66.051	66.265	66.479	66.693	66.907
80	67.121	67.335	67.549	67.763	67.977	68.191	68.405	68.619	68.833	69.047
90	69.261	69.474	69.688	69.902	70.116	70.330	70.544	70.758	70.972	71.186
100	71.400	71.614	71.828	72.042	72.256	72.470	72.684	72.898	73.112	73.326
110	73.539	73.753	73.967	74.181	74.395	74.609	74.823	75.037	75.251	75.465
120	75.678	75.892	76.106	76.320	76.534	76.748	76.962	77.176	77.390	77.604
130	77.817	78.031	78.245	78.459	78.673	78.887	79.101	79.315	79.529	79.743
140	79.956	80.170	80.384	80.598	80.812	81.026	81.240	81.454	81.668	81.882
150	82.096	82.310	82.524	82.738	82.952	83.165	83.379	83.593	83.807	84.021
160	84.235	84.449	84.663	84.877	85.091	85.305	85.518	85.732	85.946	86.160
170	86.374	86.588	86.802	87.016	87.230	87.444	87.658	87.871	88.085	88.299
180	88.513	88.727	88.941	89.155	89.369	89.583	89.797	90.010	90.225	90.438
190	90.653	90.866	91.080	91.294	91.508	91.722	91.936	92.149	92.363	92.577
200	92.791									

Приложение Д

**Номинальная статическая характеристика термопреобразователя**

**сопротивления медного типа ТСМ для температур от 0 до 200 °С, НСХ 100М**

Тем- пера- тура, °С	Сопротивление термопреобразователя, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	100.00	100.43	100.86	101.28	101.71	102.14	102.57	102.99	103.42	103.85
10	104.28	104.71	105.14	105.57	105.99	106.42	106.85	107.28	107.71	108.13
20	108.56	108.99	109.42	109.85	110.27	110.70	110.13	111.56	111.99	112.42
30	112.84	113.27	113.70	114.13	114.55	114.98	115.41	115.84	116.27	116.69
40	117.12	117.55	117.98	118.41	118.84	119.26	119.69	120.12	120.55	120.98
50	121.40	121.83	122.26	122.69	123.12	123.54	123.97	124.40	124.83	125.26
60	125.68	126.11	126.54	126.97	127.39	127.82	128.25	128.68	129.11	129.53
70	129.96	130.39	130.82	131.25	131.67	132.10	132.53	132.96	133.39	133.81
80	134.24	134.67	135.09	135.53	135.95	136.38	136.81	137.24	137.67	138.09
90	138.52	138.95	139.38	139.81	140.23	140.66	141.09	141.52	141.94	142.37
100	142.80	143.23	143.66	144.08	144.51	144.94	145.37	145.79	146.22	146.65
110	147.08	147.51	147.93	148.36	148.79	149.22	149.65	150.07	150.50	150.93
120	151.36	151.78	152.21	152.64	153.07	153.49	153.92	154.35	154.78	155.21
130	155.63	156.06	156.49	156.92	157.34	157.77	158.20	158.63	159.06	159.49
140	159.91	160.34	160.77	161.19	161.62	162.05	162.48	162.91	163.34	163.76
150	164.19	164.62	165.05	165.48	165.90	166.33	166.76	167.19	167.61	168.04
160	168.47	168.89	169.33	169.75	170.18	170.61	171.04	171.46	171.89	172.32
170	172.75	173.18	173.60	174.03	174.46	174.89	175.32	175.74	176.17	176.59
180	177.02	177.45	177.88	178.31	178.74	179.17	179.59	180.02	180.45	180.88
190	181.30	181.73	182.16	182.59	183.02	183.44	183.87	184.29	184.73	185.15
200	185.58									

Приложение Е

**Номинальная статическая характеристика термопреобразователя  
сопротивления платинового типа ТСП для температур от 0 до 100 °С, НСХ 50П**

Тем- пера- тура, °С	Сопротивление термопреобразователя, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	50.00	50.20	50.40	50.60	50.79	50.99	51.19	51.39	51.59	51.78
10	51.98	52.18	52.38	52.58	52.77	52.97	53.17	53.37	53.56	53.76
20	53.96	54.16	54.35	54.55	54.75	54.95	55.14	55.34	55.54	55.73
30	55.93	56.13	56.32	56.52	56.72	56.91	57.11	57.31	57.50	57.70
40	57.89	58.09	58.29	58.48	58.68	58.88	59.07	59.27	59.46	59.66
50	59.85	60.05	60.25	60.44	60.64	60.83	61.03	61.22	61.42	61.61
60	61.81	62.00	62.20	62.39	62.59	62.78	62.98	63.17	63.36	63.56
70	63.75	63.95	64.14	64.34	64.53	64.72	64.92	65.11	65.31	65.50
80	65.69	65.89	66.08	66.28	66.47	66.66	66.86	67.05	67.24	67.44
90	67.63	67.82	68.01	68.21	68.40	68.59	68.79	68.98	69.17	69.36
100	69.56	69.75	69.94	70.13	70.33	70.51	70.71	70.90	71.10	71.29

Приложение Ж

**Номинальная статическая характеристика термопреобразователя  
сопротивления платинового типа ТСП для температур от 0 до 100 °С, НСХ гр.21**

Тем- пера- тура, °С	Сопротивление термопреобразователя, Ом									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	46.00	46.18	46.37	46.55	46.75	46.91	47.09	47.28	47.46	47.64
10	47.82	48.01	48.19	48.37	48.55	48.73	48.91	49.09	49.28	49.46
20	49.64	49.82	50.00	50.18	50.37	50.55	50.73	50.91	51.09	51.27
30	51.45	51.63	51.81	51.99	52.18	52.36	52.54	52.72	52.90	53.08
40	53.26	53.44	53.62	53.80	53.98	54.16	54.34	54.52	54.70	54.88
50	55.06	55.24	55.42	55.60	55.78	55.96	56.14	56.32	56.50	56.68
60	56.86	57.04	57.22	57.39	57.57	57.75	57.93	58.11	58.29	58.47
70	58.65	58.83	59.00	59.18	59.36	59.54	59.72	59.90	60.07	60.25
80	60.43	60.61	60.79	60.97	61.14	61.32	61.50	61.68	61.86	62.04
90	62.21	62.39	62.57	62.74	62.92	63.10	63.28	63.45	63.63	63.81
100	63.99	64.16	64.34	64.52	64.70	64.87	65.05	65.22	65.40	65.58

Александр Викторович Волошенко  
Валерий Васильевич Медведев  
Муза Михайловна Григорьева

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ  
И ПРИБОРЫ  
Лабораторные работы

Учебное пособие

Научный редактор  
канд. техн. наук, доцент

В.С. Андык

Подписано к печати 16.08.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная.

Печать RISO. Усл. печ. л. 7,5. Уч. изд. л. 6,98.

Тираж 250 экз. Заказ . Цена свободная.

Издательство ТПУ. 634050, Томск, пр. Ленина, 30.