

18/20/4

Одобрено кафедрой
«Теплотехника и гидравлика
на железнодорожном
транспорте»

УПРАВЛЕНИЕ, СЕРТИФИКАЦИЯ, ИННОВАТИКА

Руководство к выполнению лабораторных работ
для студентов III курса
специальности
100700 ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕЛОЭНЕРГЕТИКА (ПТ)

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Руководство к выполнению лабораторных работ
для студентов IV курса
специальности
290800 ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ (ВК)



Москва - 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные работы являются формой занятий, обеспечивающей усвоение курса. Опыт показывает, что без выполнения работ в лаборатории иногда трудно понять и представить самые простые явления и устройства.

ТЕРМИНЫ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Измерительные приборы предназначены для прямого или косвенного сравнения измеряемой величины с единицей измерения. Степень приближения результатов измерения к истинному значению измеряемой величины называется точностью измерения. Достоверность измерений количественно оценивают величиной погрешности. *Погрешностью измерения* называют положительную или отрицательную разность между показанием измерительного прибора и действительным значением измеряемой величины. Действительное значение усредняют с большим или меньшим приближением либо по показаниям другого, более точного прибора или устройства, либо другим, более достоверным способом.

Поправкой называют величину, которая должна быть алгебраически прибавлена к показаниям прибора, чтобы получить действительное значение. Поправка равна погрешности показаний, взятой с обратным знаком. Поправки вводят только в показания более совершенных лабораторных приборов. В случае применения технических приборов поправки в их показания обычно не вводят.

Погрешности измерения подразделяют на систематические и случайные. *Систематические* погрешности остаются постоянными или определяются по определенному закону. Систематические погрешности могут быть изучены, их значения определены, а результаты измерения уточнены путем введения поправок. Постоянные систематические погрешности имеют определенный знак (плюс или минус). Изменяющиеся систематически погрешности в большинстве случаев имеют определенный знак.

С о с т а в и т е л ь – ст. преп. Е.В. Драбкина

Р е ц е н з е н т — канд. техн. наук, доц. А.И. Мальцев

Случайные погрешности возникают обычно по ряду причин. Природа возникновения случайных погрешностей достоверно не всегда известна. Суммарное воздействие их создает заметные погрешности различного знака.

Кроме того, в процессе измерения могут быть допущены промахи или грубые ошибки, существенно превышающие систематические или случайные погрешности, оправдываемые объективными условиями измерения. Причинами возникновения промахов являются чаще всего ошибки наблюдателя или неисправности измерительной аппаратуры.

Измерительные приборы чаще всего оценивают не по абсолютной, а по приведенной погрешности или по классу точности.

Приведенной погрешностью называют погрешность показаний, выраженную в процентах верхнего предела измерения прибора.

Погрешности измерения могут быть основными или дополнительными.

Основной называют погрешность, соответствующую нормальным условиям работы прибора, в частности при определенной температуре окружающей среды, установленном значении напряжения источника питания, в нормальном рабочем положении и т.д.

Дополнительной называют погрешность, вызываемую воздействием внешних условий на прибор при различных отклонениях от нормальных условий работы.

Класс точности приборов в большинстве случаев численно равен допустимой основной приведенной погрешности, выраженной в процентах.

Вариацией называют наибольшую, полученную экспериментально разность между повторными показаниями прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях. Так же как и погрешность, вариацию оценивают в процентах верхнего предела измерений прибора (или диапазона измерений).

Вариация у измерительных приборов появляется преимущественно за счет различных механических причин: «люфтов»

в кинематических звеньях, неуравновешенности и влияния массы подвижной системы и тому подобного.

Чувствительностью измерительного прибора называют отношение линейного или углового перемещения стрелки или пера прибора к значению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение.

Порогом чувствительности измерительного прибора называют наименьшее изменение значения измеряемой величины, способное вызвать малейшее перемещение стрелки или пера прибора. Порог чувствительности у измерительного прибора возникает за счет трения в кинематических звеньях.

Погрешности, вариации и порог чувствительности, по сравнению с измеряемыми величинами, относительно невелики и в обычных условиях их принято оценивать до двух значащих цифр.

ПОВЕРКА ПРИБОРОВ

Совокупность действий, производимых с целью оценки погрешностей приборов, называют *поверкой*. Для выполнения поверочных операций необходимо располагать устройствами более высокого класса точности, чем поверяемые. Иначе разность между показаниями поверяемого устройства и действительным значением измеряемой величины будет определяться не только погрешностью поверяемого прибора, но и погрешностями образцового. Обычно считается достаточным, чтобы погрешность образцового прибора была в 3 или 4 раза меньше допустимой погрешности поверяемого прибора.

Отчет по каждой лабораторной работе должен включать: название работы, ее цель и программу, а также перечень использованных приборов;

принципиальные схемы поверяемого прибора и установки для его поверки;

протокол поверки с соответствующими расчетами; заключение о пригодности поверяемого прибора к эксплуатации.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА
МАНОМЕТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ

1. Задание на работу

1.1. Изучить устройство манометрических показывающих, самопишущих и сигнализирующих термометров. Проверить манометрический термометр.

2. Манометрические термометры

Действие манометрических термометров основано на зависимости давления жидкости, газа или пара с жидкостью в замкнутом объеме (термосистеме) от температуры.

Они бывают трех видов: газовые (от -150 до $+600^{\circ}\text{C}$); конденсационные (от -25 до $+300^{\circ}\text{C}$) и жидкостные (от -150 до $+300^{\circ}\text{C}$).

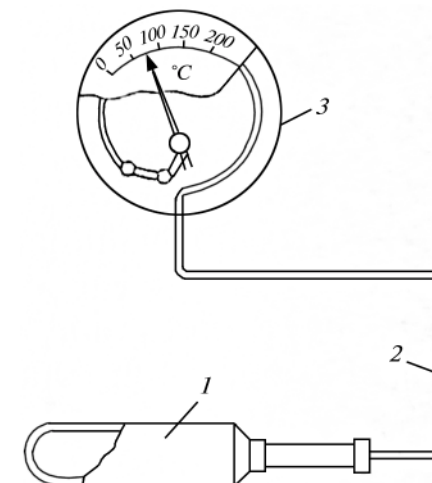
Устанавливаются во взрывоопасных и пожароопасных помещениях при вибрации, допускают передачу показаний на расстояние до 60 м. На электростанциях и в котельных практически не применяются. Широко применяются на железнодорожном транспорте, на тепловозах.

На рис. 1 приведена термосистема манометрического термометра, которая состоит из термобаллона, капилляра и манометрической пружины, один конец которой соединен с капилляром, а другой, запаянный конец пружины, соединен со стрелкой измерительного прибора.

Термобаллон погружают в измеряемую среду; рабочее вещество, находящееся в термобаллоне, принимает температуру измеряемой среды. При этом в термосистеме устанавливается давление, определяемое температурой окружающей среды.

При повышении температуры давление повышается и наоборот. Изменение давления рабочего вещества через гибкий капилляр передается на измерительный прибор. Измерительным прибором является пружинный манометр.

Рис. 1. Термосистема манометрического термометра:
1 — термобаллон; 2 — капилляр;
3 — манометрическая пружина



Для исключения влияния колебаний атмосферы давления на показания прибора термосистема газового термометра заполняется газом (азот) под давлением до 38 ата.

Для уменьшения дополнительной погрешности от изменения температуры окружающего капилляр воздуха (от $+20^{\circ}\text{C}$), объем термобаллона должен значительно превышать объем капилляра. Так, при длине капилляра до 40 м, длина термобаллона 500 мм, диаметр 20 мм.

Большие размеры термобаллона затрудняют в ряде случаев применение манометрических термометров.

3. Методика выполнения работы

3.1. Проверка манометрических термометров производится в соответствии с ГОСТ 8305.

3.2. Внешний осмотр прибора.

Манометрические термометры при внешнем осмотре должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8624.

1. Термометры должны быть градуированы в $^{\circ}\text{C}$.

2. Пределы измерений их должны соответствовать ГОСТ 8624.

3. Поверяемые приборы не должны иметь ржавчины, загрязнений, повреждений.

4. Капилляр должен быть снабжен защитной металлической оплеткой.

5. Ход стрелки должен быть плавным, легким, без скачков.

6. Сопротивление изоляции между токопроводящими деталями и корпусом при относительной влажности воздуха не более 80% и температуре не выше 35°C не должно быть меньше 10 МОм.

7. На циферблате термометра должны быть нанесены:

- а) наименование или товарный знак завода-изготовителя;
- б) обозначение типа прибора;
- в) заводской номер;
- г) год выпуска;
- д) класс точности;
- е) единица измерения (°C);
- ж) номинальное напряжение и частота тока;
- з) номер стандарта ГОСТ 8624.

3.3. Проверка показаний.

Проверку показаний манометрических термометров выполняют сравнением с образцовыми термометрами в жидкостном термостате по постоянным точкам; 0°C — в сосуде Дьюара и 100°C — в кипятильнике. Для проверки термометры должны быть установлены в нормальном рабочем положении.

Проверку манометрических термометров проводят в четырех–пяти равномерно расположенных точках шкалы при повышающихся и при понижающихся температурах термостата.

Отсчет показаний производят два раза: первый раз без постукивания, а второй раз с постукиванием по корпусу прибора. Смещение стрелки, вызванное трением в передаточном механизме, не должно превышать половины абсолютной величины основной погрешности.

Перед отсчетом на каждой поверяемой отметке делается трехминутная выдержка.

На конечной отметке шкалы делают пятиминутную выдержку, после чего проводят такие же наблюдения при понижающейся температуре.

3.4. Оформление результатов проверки.

Зная действительную температуру по показанию образцового термометра A и показания поверяемого A_1 определяют основную погрешность манометрического термометра:

$$\delta = A_1 - A.$$

Для данных приборов стандартом устанавливается допустимая основная погрешность в процентах от верхнего ряда измерения $A_{\text{шк}}$ (диапазона измерения):

$$v = \frac{\delta}{A_{\text{шк}}} \cdot 100.$$

По величине основной допустимой погрешности шкала у паровых манометрических термометров ввиду ее неравномерности подразделяется на две части:

первая часть — от начала шкалы до первой оцифрованной отметки (0–40°C);

вторая — вся остальная часть до конца шкалы.

Для первой части шкалы допускаемая основная погрешность увеличивается до погрешности прибора более низкого класса точности, но не должна быть менее цены деления прибора.

Погрешности для второй части шкалы не должны превышать величины допускаемой погрешности, соответствующей классу точности прибора.

Вариацию показаний прибора определяют как наибольшую разность значений основной погрешности, соответствующих одному и тому же действительному значению измеряемой температуры при последовательно возрастающей и убывающей температурах, отнесенных к пределу измерения:

$$V = \frac{\Delta A}{A_B - A_H} \cdot 100\%.$$

Вариация показаний манометрических термометров не должна превышать абсолютной величины основной допустимой погрешности.

4. Результаты поверки

При поверке составляют протокол наблюдения, на основании которого делают вывод о годности прибора к эксплуатации.

5. Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия манометрических термометров.
2. Достоинства и недостатки паровых манометрических термометров.
3. Основные источники погрешностей и способы их уменьшения и устранения.
4. Что такое вариация прибора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ

1. Задание на работу

- 1.1. Ознакомиться с устройством различных типов термометров сопротивления и их основными данными [1, 87-92].
- 1.2. Проверить постоянство градуировочных характеристик ТС.
- 1.3. Определить коэффициент интерполяционной формулы.
- 1.4. Рассчитать статическую характеристику.
- 1.5. Установить соответствие характеристики исследуемого термометра стандартной статической характеристике.

2. Назначение и устройство металлических термометров сопротивления

Принцип действия электрического термометра сопротивления основан на свойстве его чувствительного элемента, выполненного из металла или полупроводника, изменять свое сопротивление в зависимости от температуры.

Сопротивление термометра может быть измерено при помощи потенциометра, электрического моста или логометра.

Технические термометры сопротивления применяют для измерения температуры в производственных условиях. Чувствительные элементы технических термометров выполняют из платины или меди.

Чувствительные элементы платиновых термометров сопротивления делают из платиновой проволоки диаметром 0,05; 0,07 или 0,1 мм. Проволока крепится на каркасе из слюдяной пластины или в керамическом каркасе, в котором она, свитая в спираль, находится в каналах этого каркаса.

Чувствительные элементы медных термометров сопротивления изготавливают из медной изолированной проволоки диаметром 0,1 мм. Проволоку наматывают на цилиндричес-

кий пластмассовый каркас и покрывают лаком. При изготовлении чувствительных элементов проволоку наматывают так, чтобы термометры не имели индуктивного сопротивления или выполняют чувствительный элемент в виде петли (рис. 2).

Чувствительный элемент соединяют с клеммами, укрепленными в головке термометра сопротивления, при помощи выводов. Для платиновых термометров выводы делают из

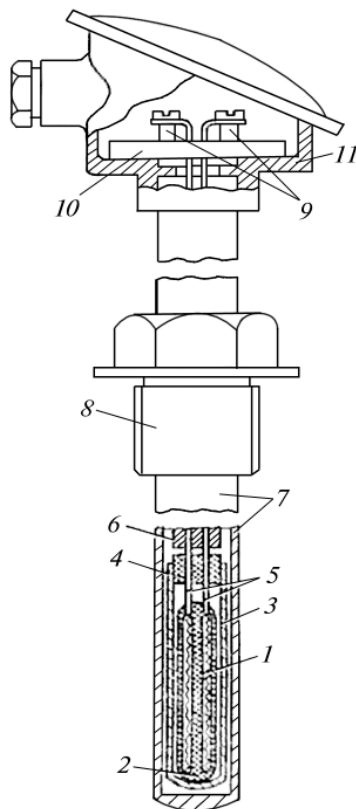


Рис. 2. Устройство термометра сопротивления:

1 — чувствительный элемент; 2 — керамический каркас; 3 — защитная оболочка; 4 — керамическая втулка; 5 — выводы чувствительного элемента; 6 — изолированная керамическая трубка; 7 — защитный чехол; 8 — резьбовой штуцер; 9 — головка термометра; 10 — изоляционная колодка; 11 — винты для крепления

серебряной проволоки диаметром 1 мм; для медных — из медной проволоки диаметром 1–1,5 мм.

Для защиты чувствительного элемента от агрессивной среды, а также для придания термометру сопротивления достаточной прочности чувствительные элементы помещают в герметические защитные чехлы.

Взаимозаменяемость технических термометров сопротивления (кроме полупроводниковых) одинаковой градуировки обеспечивается тем, что они имеют практически одинаковое сопротивление при 0°C (R_0) и изготавливаются из чистых металлов. Качество металла характеризуется отношением сопротивления чувствительного элемента при 100°C к сопротивлению при 0°C , т.е. величиной R_{100}/R_0 .

3. Методика выполнения работы

После изучения [1] физического принципа работы и конструкции термометров сопротивления выполняют поверку стандартного термометра сопротивления.

Цель поверки: установить соответствие характеристик исследуемого термометра стандартной статической характеристике.

Порядок поверки определяется инструкцией.

3.1. Внешний осмотр термометра сопротивления.

При внешнем осмотре технических термометров сопротивления проверяется их соответствие ГОСТ 6651.

Маркировка отечественного термометра сопротивления должна включать:

1. Товарный знак завода-изготовителя.
2. Обозначение типа термопреобразователя.
3. Дата выпуска (год и месяц).

Допускается наносить на термопреобразователь:

обозначение градуировки, материал (марка), из которого изготовлена защитная арматура; температурные пределы применения; условное давление; класс точности; условное обозначение степени инерционности; условное обозначение устойчивости к механическим воздействиям; номер стандарта,

в соответствии с которым изготовлен данный термопреобразователь; монтажная длина.

3.2. Поверка термометра сопротивления (ГОСТ 8.338).

Для поверки ТС необходимо определить его сопротивление при 0 и 100°C (R_0 и R_{100}), вычислить отношение $\frac{R_{100}}{R_0}$, вычислить отклонение статической характеристики поверяемого термометра Δt от стандартной.

Полученные при поверке значения R_0 и $\frac{R_{100}}{R_0}$ сравниваются с номинальными их значениями по ГОСТ 6651 (табл. 1). Номинальные статические характеристики платиновых и медных термопреобразователей согласно ГОСТ 6651 приведены в приложении (табл. 4 и 5). При этом, учитывая, что поверяемые в лаборатории термометры, изготовлены в соответствии с ГОСТ 6651, в приложении сохранены их обозначения градуировок по этому ГОСТу. ГОСТ 6651 устанавливает новое обозначение статических характеристик преобразователей, в частности, для платиновых термометров –10П; 100П. Термометры сопротивления гр. 21 с номинальным сопротивлением при 0°C 46 Ом в новых разработках не применять. При сохранении статических характеристик термометров ТСП типа 10 П и 100 П расширен интервал их применения в области отрицательных температур от –260 до +750°C (ранее эти параметры имели интервал –200 — +750°C). Для медных термометров типа ТСМ вводится обозначение статической характеристики 100 М. Медные термометры гр. 23 с сопротивлением при 0°C, равным 53 Ом, применять не рекомендуется. Температурный интервал применения медных термометров по ГОСТ 6651 расширен от –200 до +200°C.

Операции поверки выполняются в следующем порядке:

3.2.1. Поместить чувствительный элемент термометра в термоэлектрический термостат (5), и с помощью моста сопротивления измерить R_0 при 0°C. До начала измерения следует выдержать термометр в термостате не менее 15 минут (схема установки для поверки представлена на рис. 3).

Провести не менее пяти отсчетов через 2–3 минуты и найти R_0 как среднее арифметическое.

Таблица 1

Технические требования к платиновым и медным термометрам сопротивления по ГОСТ 6651

Класс точности	Тип термопреобразователя	Условное обозначение номинальной статической характеристики	Номинальное сопротивление при 0°C, Ом	Допустимое отклонение R_0 от номинального значения, %	Номинальное значение отношения $\frac{R_{100}}{R_0}$	Допустимые отклонения от номинального отношения
I	2	3	4	5	6	7
I	ТСП	10П 100П	10 100	±0,05	2,3910	+0,0015 -0,0005
II	ТСП	10П 100П (гр.23)	10 100	±0,1	1,3910	+0,0015 -0,0010
	ТСМ	100М	53 100	±0,1	1,4280	±0,0010 ±0,0010
III	ТСП	10П 100П (гр.23)	10 100	±0,2	1,3910	+0,0015 -0,0020
	ТСМ	100М	53 100	±0,2	1,4280	±0,0020 ±0,0020

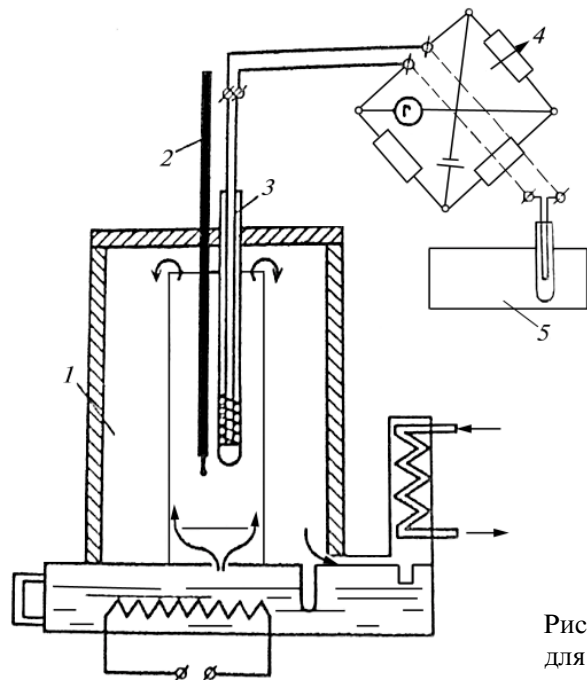


Рис. 3. Схема установки для поверки термометра сопротивления:

1 — паровой термостат; 2 — ртутный термометр; 3 — термометр сопротивления; 4 — мост сопротивления; 5 — термоэлектрический термостат

3.2.2. Перенести термометр в паровой термостат и, выдержав его там 15 минут, провести 5 отсчетов R_{100} с интервалом 2–3 минуты.

Рассчитать среднеарифметическое значение R_{100} .

Сопротивление термометра при температуре 100°C , вычисляют по формуле

$$R_{100} = R_t + \Delta R_t, \quad (1)$$

где R_t — поправка, значение которой находят с помощью табл. 2. Эта поправка соответствует разности температур Δt_k :

$$\Delta t_k = 100 - t_n,$$

где t_n — температура насыщенных паров кипящей воды при давлении P .

Таблица 2

Таблица поправок ΔR_t при вычислении R_{100} по сопротивлению термометра при температуре насыщенных паров кипящей воды

$\Delta t_k, ^\circ\text{C}$	Медные термометры сопротивления		Платиновые термометры сопротивления		
	(гр.23)	100М	(гр.21)	100П	10П
1	0,23	0,43	0,18	0,38	0,038
2	0,45	0,36	0,35	0,77	0,077
3	0,67	1,28	0,53	1,16	0,116
4	0,90	1,70	0,71	1,54	0,154
5	1,13	2,15	0,89	1,93	0,193
6	1,36	2,56	1,07	2,31	0,231
7	1,58	2,98	1,25	2,70	0,270
8	1,81	3,40	1,47	3,08	0,308
9	2,03	3,83	1,60	3,47	0,347

Пример пользования таблицей
 При температуре $98,61^\circ\text{C}$ сопротивление платинового термометра гр.21 равно $63,67 \text{ Ом}$.
 Дано: $\Delta t_k = 100 - 98,61 = 1,39^\circ\text{C}$
 По таблице находим:

Δt_k	ΔR_t
1	0,18
+0,3	+0,053
+0,09	+0,016
1,39	$0,249 \approx 0,25 \text{ Ом}$

Температуру насыщенного пара в паровом термостате вычисляют по уравнению

$$t_n = 100 + 0,037(P - 760), \quad (2)$$

где P — давление пара в паровом термостате (мм рт. ст.) с учетом поправок:

$$P = P_6 + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4.$$

Здесь P_6 — показание барометра, мм рт. ст.;

Δ_1 — инструментальная поправка (по паспорту барометра);

Δ_2 — поправка для приведения показаний барометра к 0°C ;

Δ_3 — поправка для приведения барометрического давления к широте 450° и к уровню моря;

Δ_4 — поправка на избыточное давление в паровом термостате, берется по U-образному манометру в мм рт. ст.

Допускается измерять температуру пара при помощи точного ртутного термометра.

Следовательно,

$$R_{100} = 63,67 + 0,25 = 63,92 \text{ Ом.}$$

Поправки ΔR_t для Δt_k , равных десятым и сотым градуса, меньше приведенных выше значений соответственно в 10 и 100 раз.

3.2.3. Результаты всех измерений и вычислений вносят в протокол поверки термометра.

ПРОТОКОЛ

Поверки технического термометра сопротивления № _____

Поверка проводилась по прибору _____

Замечания по внешнему осмотру _____

Результаты поверки

Измерительный ток в мА.

Сопротивление термометра в Ом.

Температура насыщенных паров кипящей воды в термостате

Таяние льда	При температуре	
	таяния льда	кипения воды
1		
2		
3		
4		
5		
Среднее значение		

Градуировку проводил _____ „____“ _____ 200 г.

3.3. Вычисление температурного коэффициента сопротивления.

По результатам испытания термометра определяют его температурный коэффициент сопротивления α .

Значение α вычисляют по формуле

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{R_0 \cdot 100} \text{ град}^{-1}. \quad (3)$$

3.4. Определение статической характеристики термометра сопротивления.

Статическая характеристика медного термометра сопротивления имеет вид

$$R_t = R_0(1 + \alpha t), \quad (4)$$

где R_t и R_0 — сопротивление термометра при температуре t и 0°C .

По формуле (4) вычисляют до сотых долей Ома сопротивление R_t для значений температуры t , кратных 10 град и составляют градуировочную таблицу (табл. 4) в интервале температур от 50 до 200°C .

Таблица 4

Градуировочная таблица

Температура, °С	Сопротивление термометра, Ом	Примечание
		Температурный коэффициент сопротивления $\alpha =$

Для получения надежных результатов необходимо, чтобы температура насыщенного пара кипящей воды была определена с точностью до сотых долей градуса, а температурный коэффициент сопротивления вычислен с точностью до третьей значащей цифры.

3.5. Сопоставление статической характеристики термометра со стандартной статической характеристикой.

Для вычисления отклонения статической характеристики термометра от стандартной (ГОСТ 6651) необходимо вычислить изменение сопротивления термометра на один градус по формуле, Ом/К:

$$\Delta R = \frac{R_{100} - R_0}{100}.$$

Затем следует найти по статической характеристике термометра (табл. 4) и по стандартной статической характеристике (приложение, табл. 4 и 5) значения сопротивлений, соответствующих одной и той же температуре термометра, и определить отклонение градуировок (статических характеристик) в градусах температуры. Искомое отклонение вычисляют по формуле

$$\Delta t = \frac{R_{гр} - R_{экс}}{\Delta R},$$

где Δt — отклонение градуировок в градусах температуры;
 $R_{гр}$, $R_{экс}$ — сопротивление термометра по стандартной градуировке и экспериментальной градуировке.

Отклонение градуировок Δt сравнивают с допустимым отклонением Δt_d , значение которого для медных термометров III класса вычисляют по формуле

$$\Delta t_d = \pm(0,3 + 6,0 \cdot 10^{-3}t),$$

где t — абсолютное значение температуры чувствительного элемента.

По результатам сравнения Δt с Δt_d , R_0 и $\frac{R_{100}}{R_0}$ с номинальными значениями этих величин (см. табл. 1) делают заключение о пригодности электрического термометра для практического применения.

4. Содержание отчета

В отчет необходимо включить:

1. Название и краткое содержание работы и перечень приборов.
2. Принципиальную схему установки.
3. Схему измерений и расчет сопротивлений R_0 , R_{100} .
4. Протокол испытаний в термостате.
5. Статическую характеристику термометра (в виде табл. 4).
6. Заключение по результатам работы.

5. Контрольные вопросы

1. Какие материалы используются для изготовления чувствительных элементов термометров сопротивления?
2. В чем состоит проверка статической характеристики термометра сопротивления?
3. Как зависит сопротивление термометра от температуры?
4. Запишите зависимость сопротивления полупроводникового термометра сопротивления (ПТС) от температуры в интервале до 100°С.
5. Какие вторичные приборы применяются с термометрами сопротивления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА ЛОГОМЕТРОВ

1. Задание на работу

- 1.1. Изучить устройство и принцип действия логометров.
- 1.2. Провести поверку одного логометра, согласно приведенному в работе описанию.
- 1.3. Составить отчет по проделанной работе.

2. Устройство, назначение и принцип действия логометра

Магнитоэлектрический логометр является одним из средств измерения, применяемых в комплекте с техническим термометром сопротивления для измерения температуры.

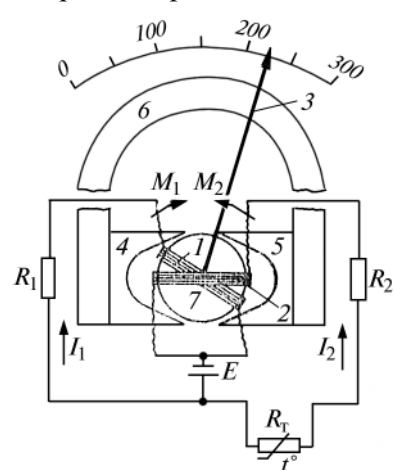


Рис. 4. Схема магнитоэлектрического логометра

Принцип действия логометра основан на измерении отношения токов в двух электрических цепях. В одну из них включен термометр сопротивления, а в другую — постоянное сопротивление (рис. 4). Он состоит из двух рамок 1 и 2, жестко скрепленных друг с другом и со стрелкой 3 и помещенных в воздушном зазоре между полюсными наконечниками 4 и 5 постоянного магнита 6 и сердечником 7. Этот зазор сделан неравномерным, поэтому значение магнитной индукции в разных точках зазора (при различном угле поворота рамок и стрелки) будет различным. Воздушный зазор уменьшается от центра к краям полюсных наконечников и соответственно от центра к краям полюсных наконечников возрастает магнитная индукция в зазоре.

Обе рамки логометра питаются от одного источника постоянного тока E и включены таким образом, что их вращающие моменты направлены навстречу друг другу. Значения вращающих моментов M_1 и M_2 могут быть определены:

$$M_1 = 2r_1 n_1 l_1 B_1 I_1;$$

$$M_2 = 2r_2 n_2 l_2 B_2 I_2.$$

Подвижная система будет находиться в равновесии, когда моменты

$$M_1 = M_2.$$

Как правило, $r_1 = r_2$, $n_1 = n_2$, $l_1 = l_2$, тогда

$$B_1 I_1 = B_2 I_2,$$

или

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{B_2}{B_1}.$$

Отношение магнитных индукций B_2/B_1 для конкретной конструкции логометра зависит от положения рамок, т.е. определяется углом их поворота.

$$B_2/B_1 = f(\varphi).$$

Отношение токов I_1/I_2 зависит от сопротивления резисторов двух ветвей цепи. Обе ветви электрической цепи питаются параллельно от одного источника питания E . В сопротивлении одной из ветвей входят сопротивление рамки R_{p1} и сопротивление добавочного резистора R_1 . Ток в этой ветви

$$I_1 = E/(R_{p1} + R_1).$$

Сопротивление другой ветви состоит из сопротивления второй рамки R_{p2} и сопротивления добавочного резистора R_2 и сопротивления термометра R_T . Ток во второй ветви:

$$I_2 = E/(R_{p2} + R_2 + R_T).$$

Отношение токов

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{p2} + R_2 + R_T}{R_{p1} + R_1}$$

Если сопротивления R_{p1} , R_{p2} , R_1 и R_2 остаются постоянными, то можно написать, что

$$I_1/I_2 = Y(R_T),$$

или

$$\phi = F(R_T).$$

Таким образом, угол поворота подвижной системы, при котором моменты M_1 и M_2 будут равны (положения равновесия системы), зависит от сопротивления термометра и не зависит от напряжения питания.

Положим, что подвижная система логометра находилась в равновесии, а затем изменилась температура. Изменение температуры вызовет соответствующее изменение сопротивления термометра, что приведет к изменению тока I_2 и, следовательно, отношению токов I_1/I_2 . При этом нарушится равновесие подвижной системы. Направление магнитного поля и тока должны быть подобраны таким образом, чтобы при нарушении равновесия рамка с большим моментом поворачивалась в направлении уменьшения магнитной индукции или увеличения воздушного зазора. При этом рамка с меньшим моментом будет перемещаться в сторону увеличения магнитной индукции или уменьшения воздушного зазора.

3. Методика выполнения работы

Методика и порядок выполнения проверки логометров определена ГОСТ 8209.

Проверка логометров включает в себя следующие операции:

1. Внешний осмотр прибора.
2. Определение сопротивления изоляции.

3. Определение времени успокоения подвижной части — стрелки указателя.

4. Определение основной погрешности.

5. Определение вариации.

6. Определение влияния наклона логометра и уравновешенности его подвижной части.

7. Определение влияния изменения напряжения питания на показания логометра.

3.1. Внешний осмотр логометров.

При внешнем осмотре логометров необходимо установить их соответствие пунктам технических требований, приведенных в ГОСТ 8209, ГОСТ 9736 (маркировка приборов), ГОСТ 22261.

3.2. Проверка логометра.

1. Собрать схему проверки логометра (рис. 5).

2. Разарретировать логометр.

3. Подготовить магазин сопротивлений 2 (рис. 5), для чего до включения в схему переключателя всех декад несколько раз провернуть в пределах крайних рабочих положений.

4. Определить основную погрешность и вариацию логометра при трехпроводной схеме включения. Для этого при разомк-

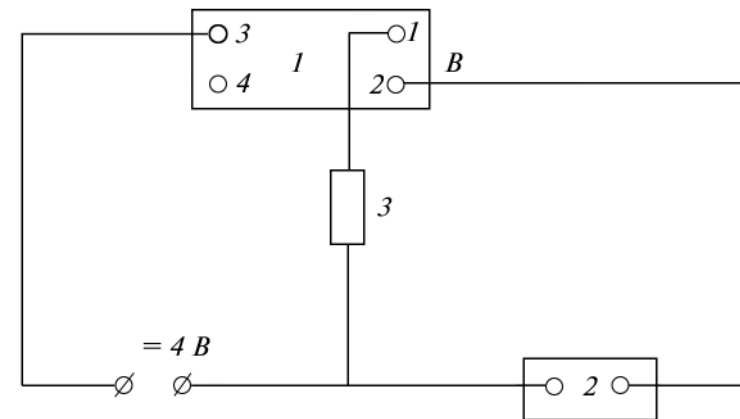


Рис. 5. Схема включения логометра по трехпроводной схеме при проверке по образцовому магазину сопротивлений:

1 — логометр; 2 — магазин сопротивлений

нотом рубильнике (рис. 5) установить сопротивление магазина на 1–2 Ом меньше, чем $R_{гр} = R_l + R_n$ (при наличии катушки для подгонки внешнего сопротивления R_n не вводится); $R_{гр}$ берут из табл. 2 (приложение для поверяемой отметки шкалы).

5. Замкнуть рубильник и подобрать такое сопротивление магазина 2, чтобы стрелка логометра 1 стала на поверяемую отметку шкалы.

6. Отсчитать сопротивление R_l , выставленное на магазине.

7. Повторить указанные в пп. 5 и 6 операции на каждой оцифрованной отметке шкалы при прямом и обратном ходе стрелки прибора.

8. Данные занести в протокол поверки.

Результаты поверки

Показания логометра	Сопротивление по град. таблице	Показания поверяемого прибора, Ом		Основная погрешность логометра		Приведенная погрешность $\Delta_{прив.}$	Вариация, Ом	Приведенная вариация
		прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход			

ПРОТОКОЛ

Дата _____
 поверки логометра типа _____ номер градуировки _____
 с пределами измерений от _____ до _____ класса _____
 представленного _____. Поверка проводилась по образцовым приборам _____
 Результаты внешнего осмотра _____

3.3. Расчет погрешности.

После поверки подсчитывают основную и приведенную погрешности прибора; основную вариацию прибора по формулам, указанным ниже.

Основную погрешность определяют как наибольшую из разностей, вычисляемых по формулам:

$$\Delta 1 = R_{гр} - R_1 \text{ — прямой ход;}$$

$$\Delta 2 = R_{гр} - R_2 \text{ — обратный ход.}$$

Вариацию V определяют как абсолютное значение разности $R_2 - R_1$:

$$V = |R_2 - R_1|,$$

где R_1, R_2 — сопротивления, требуемые для приведения указателя на поверяемую отметку шкалы прибора при номинальном напряжении и при плавном подводе указателя, соответственно при увеличении и уменьшении сопротивления.

Приведенную основную погрешность определяют по формуле

$$\Delta_{пр} = \frac{\Delta}{R_k - R_n} \cdot 100\%,$$

где R_k, R_n — сопротивления, соответствующие концу и началу шкалы прибора;

Δ — наибольшая основная погрешность.

Прибор, удовлетворяющий всем требованиям ГОСТа, признается годным к эксплуатации, если его приведенная основная погрешность не превышает класса точности прибора, а вариация не превышает абсолютного значения допускаемой основной погрешности.

4. Контрольные вопросы

1. Начертите схему подключения термометра к логометру.
2. Как создается противодействующий момент в логометре?
3. Начертите принципиальную схему логометра.
4. Перечислите достоинства и недостатки логометра как вторичного прибора к термометру сопротивления.
5. Как проводится поверка логометра? Начертите схему поверки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПОВЕРКА УРАВНОВЕШЕННОГО АВТОМАТИЧЕСКОГО МОСТА

1. Задание на работу

1.1. Изучить конструкцию уравновешенного [1, с. 98–100; 2, с. 209–211] и неуравновешенного мостов [1, с. 95–98; 2, с. 211–213].

1.2. Провести поверку одного автоматического моста (по указанию преподавателя).

1.3. Оформить результаты поверки и сделать вывод о пригодности прибора.

2. Конструкция уравновешенного моста

Равновесный мост применяют в комплекте с термометрами сопротивления для измерения температуры (рис. 6).

При равновесии моста разность потенциалов в измерительной диагонали (между точками c и d) равна нулю. В этом случае сопротивление плеч моста R_1 , R_2 , R_3 и R_4 должно удовлетворять условию

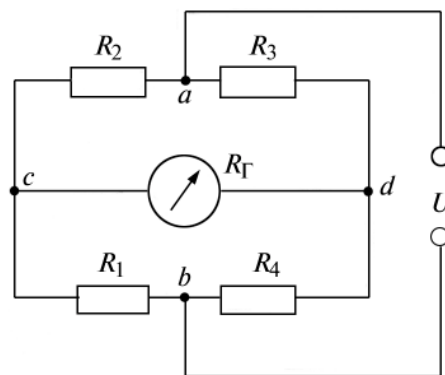


Рис. 6. Схема уравновешенного моста

$$R_2 R_3 = R_1 R_4.$$

Отсюда можно определить сопротивление любого плеча моста по сопротивлению трех других плеч, например,

$$R_4 = R_3 (R_2 / R_1).$$

Равновесное состояние достигается за счет изменения сопротивления плеча R_3 . При определении сопро-

тивления R_3 возникает погрешность из-за наличия неопределенного сопротивления в контактах.

Это методические погрешности.

3. Методика выполнения работы

3.1. Внешний осмотр прибора.

При внешнем осмотре моста устанавливают его соответствие пунктам технических требований, приведенных в ГОСТ 8.280.

3.2. Поверка автоматического моста.

Определение основной погрешности и вариации мостов проводят в следующем порядке:

а) при включенном питании моста 1 (рис. 7) устанавливают сопротивление магазина 2 на 1–2 Ом меньше, чем $R_{гр} = R_i$ (статические характеристики см. приложение, табл. 4 и 5);

б) включают питание моста и подбирают такое сопротивление магазина, при котором указатель моста станет на проверяемую отметку шкалы. Катушка для подгонки внешнего сопротивления 3 совместно с сопротивлением провода линии должна иметь сопротивление 2,5 Ом. Отклонение от этого значения не должно превышать $\pm 0,2\%$;

в) отсчитывают сопротивление R_1 , выставленное в магазине;

г) при выключенном мосте устанавливают сопротивление магазина на 1–2 Ом больше, чем $R_{гр} = R_i$;

д) повторяют операцию, указанную в п. б);

е) отсчитывают сопротивление R_2 , выставленное на магазине.

Поверка при помощи магазина сопротивления возможна только в

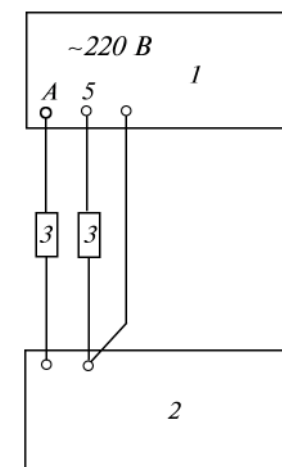


Рис. 7. Схема включения моста при поверке:

1 — автоматический мост; 2 — магазин сопротивлений; 3 — катушки для подгонки внешнего сопротивления

том случае, если наименьшее деление магазина равно 0,01 Ом. Если имеется магазин с наименьшим делением 0,1 Ом (как это чаще всего бывает на практике), необходимо использовать специальный малоомный магазин и включить его последовательно с основным.

Точно так же следует проводить отсчеты и в других поверяемых отметках шкалы, за исключением начальной и конечной, где каретка смещается только в одну сторону и проводится один отсчет.

При проверке самопишущих автоматических мостов вначале должна быть проверена правильность начальной установки пера, и в случае неправильной установки, необходимо произвести соответствующую корректировку. Для этой проверки к зажимам моста необходимо присоединить сопротивление, соответствующее началу шкалы.

Результаты проверки заносят в протокол.

3.3. Определение погрешностей.

Основную погрешность определяют как наибольшую из разностей, вычисляемых по формулам:

$$\Delta_1 = R_{гр} - R_1 \text{ — прямой ход;}$$

$$\Delta_2 = R_{гр} - R_2 \text{ — обратный ход.}$$

где $R_{гр}$ — сопротивление, определяемое по таблицам;

R_1, R_2 — сопротивления, соответствующие поверяемой точке прибора, при прямом и обратном ходе.

Вариацию V определяют как абсолютное значение разности $R_2 - R_1$:

$$V = |R_2 - R_1|,$$

где R_1, R_2 — сопротивления, требуемые для приведения указателя, на поверяемую отметку шкалы прибора при номинальном напряжении и при плавном подводе указателя соответственно при увеличении и уменьшении сопротивления.

Приведенную основную погрешность определяют по формуле

$$\Delta_{пр} = \frac{\Delta}{R_k - R_n} 100\%,$$

где R_k, R_n — сопротивления, соответствующие концу и началу шкалы прибора;

Δ — наибольшая основная погрешность.

ПРОТОКОЛ

Поверка автоматического моста типа _____ № _____ градуировки _____ с пределами измерений от _____ до _____ представленного _____

Поверка проводилась по образцовым приборам _____

Результаты внешнего осмотра _____

Результаты проверки

Показания моста	Сопротивление по градуировочной таблице, Ом	Показание образцового магазина, Ом		Погрешности моста, Ом		Вариация, Ом	Приведенная погрешность, %	Температура окружающей среды, °С
		прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход			

4. Контрольные вопросы

1. В чем различие уравновешенных и неуравновешенных мостов?

2. Для чего в неуравновешенных мостах применяют контрольное сопротивление?

3. Докажите, что показание уравновешенного моста не зависит от напряжения питания.

4. Начертите блок-схему автоматического моста.

5. Как уменьшить погрешность вследствие изменения температуры сопротивления соединительных проводов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5
ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ (ТТ)

1. Задание на работу

1.1. Изучить принцип действия и конструкцию термоэлектрического термометра [1, с. 39–54].

1.2. Провести внешний осмотр термоэлектрического термометра с целью установления его соответствия техническим требованиям, предъявляемым к ТТ ГОСТ 6616.

1.3. Поверить один из термоэлектрических термометров (по указанию преподавателя).

1.4. Обработать результаты поверки и сделать вывод о возможности использования данного ТТ с вторичным прибором стандартной градуировки.

2. Принцип действия и конструкция термоэлектрического термометра

Принцип действия термоэлектрического термометра (термопары) основан на возникновении термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) в зависимости от температуры концов термопары.

Термопара состоит из двух разнородных проводников (термоэлектродов), соединенных (сваренных) между собой с одного конца, называемого рабочим. Рабочий конец погружают в среду, температуру которой измеряют. К другому концу термопары, называемого свободным, присоединяют провода, направляемые к прибору, измеряющему термоЭДС термопары. Если температура рабочего и свободных концов термопары различна, то в термопаре возникает термоЭДС. Последняя зависит от материала термоэлектродов и температур рабочего и свободных концов.

Температура свободных концов обоих термоэлектродов должна быть одинаковой. Удобно поддерживать ее равной

нулю, что в лабораторных условиях обычно не представляет затруднений. Допустимо поддерживать температуру свободных концов не равную нулю, но непременно одинаковую для обоих свободных концов.

3. Методика выполнения работы

3.1. Внешний осмотр ТТ.

При внешнем осмотре ТТ устанавливают соответствие его общим техническим требованиям.

1. Маркировка ТТ.

На термопреобразователях всех конструкций должны быть нанесены:

- товарный знак предприятия-изготовителя;
- год и месяц выпуска;
- обозначение типа термопреобразователя.

Допускается ГОСТом нанесение дополнительных знаков маркировки:

- максимальная температура длительного применения;
- рабочее давление при максимальной температуре длительного применения;
- условное обозначение инерционности;
- рабочая длина термоэлектрического термометра, ГОСТ 6616;
- марка защитного чехла или марка материала наконечника;
- условное обозначение тряско- или виброустойчивости.

2. Сопротивление электрической изоляции между термоэлектродами и наружной арматурой при температуре $25 \pm 100^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха от 30 до 80% должно быть не менее 20 МОм.

3. Поверхность термоэлектродов не должна иметь разрывов, быть чистой и гладкой.

3.2. Поверка ТТ.

1. Поверяемую и образцовую термопары помещают в электропечь с соблюдением всех требований ГОСТ 8.338. Свободные концы заводятся в сосуд Дьюара с тающим льдом. До-

пускается проводить поверку термопар при температуре свободных концов, не равной 0°C. В этом случае свободные концы помещают в водяной термостат, температуру в котором следует измерять с точностью до $\pm 0,1^\circ\text{C}$ и постоянно контролировать.

Схема установки для поверки термопар показана на рис. 8. Установка состоит из горизонтальной трубчатой печи с рабочим пространством длиной 600 мм и диаметром отверстия 50 мм. Рабочие спаи термопар помещают в никелевый блок, расположенный в области равномерных температур (в середине трубы нагревателя). Измерение термоЭДС образцовой и поверяемой термопар проводят с помощью лабораторного потенциометра типа ПП-63.

2. Включают электропечь в сеть переменного тока 220 В. При выборе тока нагрузки печи следует руководствоваться тем соображением, что для точного отсчета термоЭДС по потенциометру скорость роста температуры не должна превы-

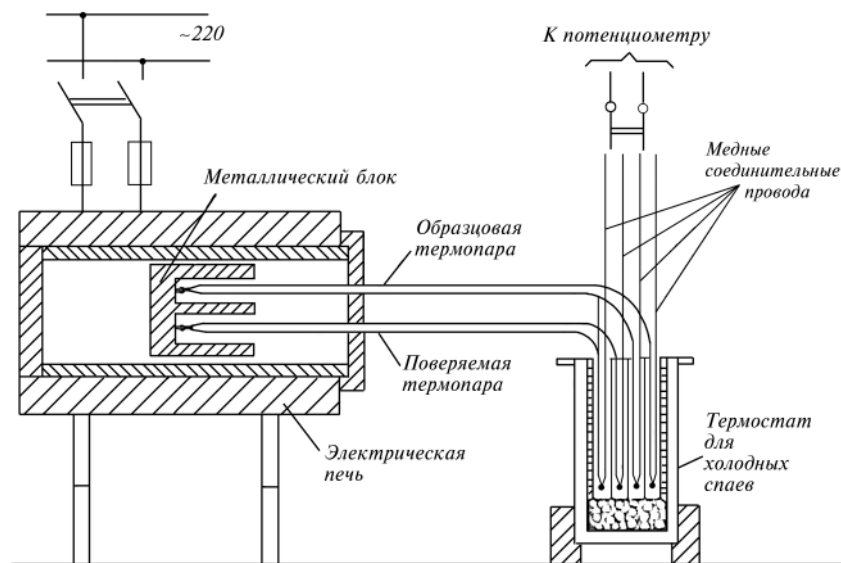


Рис. 8. Схема установки для поверки термоэлектрических термометров

шать 2 град./мин. По этой причине отсчеты удобнее брать при понижении температуры в печи. Для этого печь выводится на стационарный режим, соответствующий $t = 650^\circ\text{C}$ (по милливольтметру). [Здесь и далее термин «термопара» означает освобожденные от защитного чехла термоэлектроды.]

3. Поверку поверяемой термопары гр. ХК по образцовой гр. ПП проводят в четырех точках: 300, 400, 500, 600 (ГОСТ 8.338).

Для этого, после того, как в печи установится температура 600°C, производится измерение термоЭДС образцовой и поверяемой термопар с помощью потенциометра (инструкция по работе с потенциометром ПП-63 приведена на стенде). Каждый отсчет проводят не менее 4-х раз.

Результаты заносят в табл. 1.

4. Выключить печь и провести замеры при температурах 500, 400, 300°C. Результаты занести в табл. 1.

Таблица 1

Градуировочная таблица

Номер отсчета	Показание термопар, мВ				Температура по образцовой термопаре
	Образцовая		Рабочая		
	измеренное	с учетом поправки	измеренное	с учетом поправки	
1					
2					
3					
4					
среднее					
1					
2					
3					
4					
среднее					
1					
2					
3					
4					
среднее					

5. Если в процессе поверки свободные концы образцовой термопары находились при температуре, не равной 0°C, привести значение ее термоЭДС к 0°C:

$$\varepsilon_{t_0} = \varepsilon_t + \varepsilon_0,$$

где ε_{t_0} — термоЭДС образцовой термопары при температуре свободных спаев 0°C;

ε_t — термоЭДС, развиваемая образцовой термопарой при температуре свободных спаев, равной $t^\circ\text{C}$;

ε_0 — термоЭДС образцовой термопары при температуре рабочего спая, равной $t^\circ\text{C}$, и температуре свободных спаев 0°C. Находится из свидетельства на образцовую термопару.

По приведенному значению термоЭДС образцового термометра определить температуру t_p рабочих концов поверяемых термопар по формуле

$$t_p = t_{\text{свид}} + \frac{\varepsilon_{\text{обр}} - \varepsilon_{\text{свид}}}{\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}\right)_t},$$

где $\varepsilon_{\text{обр}}$ — приведенное значение термоЭДС образцовой термопары, мВ;

$\varepsilon_{\text{свид}}$ — значение термоЭДС, взятое из свидетельства на образцовую термопару, ближайшее к $\varepsilon_{\text{обр}}$;

$t_{\text{свид}}$ — температура, соответствующая значению $\varepsilon_{\text{свид}}$, °C;

$(\Delta\varepsilon/\Delta t)_t$ — приращение термоЭДС образцового платинородий-платинового термометра на единицу температуры (мВ/°C), взятое из табл. 2.

Таблица 2

Значения приращенной термоЭДС платинородий-платиновых термометров

$t^\circ\text{C}$	300	400	500	600	700	800
$\left(\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta t}\right)_t \cdot 10^3, \frac{\text{мВ}}{^\circ\text{C}}$	9,1	9,5	9,8	10,2	10,6	10,9

6. Данные измерений занести в протокол поверки.

Термоэлектродвижущая сила, развиваемая стандартизированными термоэлектрическими термометрами, при температурах рабочего спая и температуре свободных спаев 0°C должна соответствовать статическим характеристикам, приведенным в ГОСТ 3044.

Таблица 3

Допустимые отклонения термоЭДС технических ТТ

Термоэлектрические термометры	Условное обозначение статической характеристики	Допустимые отклонения термоЭДС, мВ	
		температурный интервал, °C	отклонение, мВ
Платинородий-платина	ПП	300–1600	$0,01+2,5 \cdot 10^{-5}(t-300)$
Хромель-алюмель	ХА	300–1300	$0,16+2,0 \cdot 10^{-4}(t-300)$
Хромель-копель	ХК	300–800	$0,26+6,0 \cdot 10^{-4}(t-300)$

ПРОТОКОЛ

поверки рабочих термоэлектрических термометров

Градуировки _____ представленных _____
 Поверка проводилась по образцовому прибору _____
 Результаты внешнего осмотра _____

Таблица 4

Результаты поверки

°C	Показания термопар, мВ		Условия поверки
	образцовая	рабочая	
			Температура свободных концов при окружающей температуре

4. Контрольные вопросы

1. Какие типы термоэлектрических термометров вам известны?
2. Допустимо ли проводить поверку ТТ при температуре свободных концов, не равной 0°C?
3. Каково назначение термоэлектродных удлинительных проводов?
4. Начертите схему установки ТТ при измерении температуры газового потока в трубе диаметром 100 мм, если известно, что максимальная температура потока может достигать 300°C. Какие меры следует принять для снижения методической погрешности такого измерения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПОВЕРКА МИЛЛИВОЛЬТМЕТРА

1. Задание на работу

- 1.1. Изучить конструкции милливольтметров [1, с. 57–68].
- 1.2. Провести внешний осмотр приборов.
- 1.3. Провести поверку одного милливольтметра (по указанию преподавателя)
- 1.4. Обработать результаты поверки и сделать вывод о возможности использования данного милливольтметра с термоэлектрическим термометром стандартной градуировки.

2. Конструкция милливольтметра

Магнитоэлектрические милливольтметры получили широкое применение для измерения температур в комплекте с термоэлектрическими термометрами. Принцип действия милливольтметра основан на взаимодействии тока, проходящего через подвижную рамку прибора, с магнитным полем постоянного магнита. Направление силы, действующей на проводник в магнитном поле, определяется правилом левой руки, а ее значение

$$F = lBI,$$

где l — длина проводника, м;

B — магнитная индукция, Т;

I — сила тока в проводнике, А.

Полюсные наконечники постоянного магнита делают концентричными с сердечником, расположенным внутри рамки, состоящей из n витков размером $l = 2R$. Рамка, вращаясь в зазоре между наконечниками и сердечником, всегда располагается параллельно магнитным силовым линиям, поэтому вращающий момент определяется уравнением

$$M_{\text{вр}} + 2RnF = 2nIRBI.$$

Для того чтобы угол поворота рамки был пропорционален силе проходящего по ней тока, необходимо приложить к рамке противодействующий момент, пропорциональный углу поворота рамки. Такой момент создается спиральными пружинами (или подвеской), соединенными с осью рамки:

$$M_{\text{пр}} = C\varphi,$$

где C — удельный противодействующий момент;
 φ — угол поворота рамки (рис. 9).

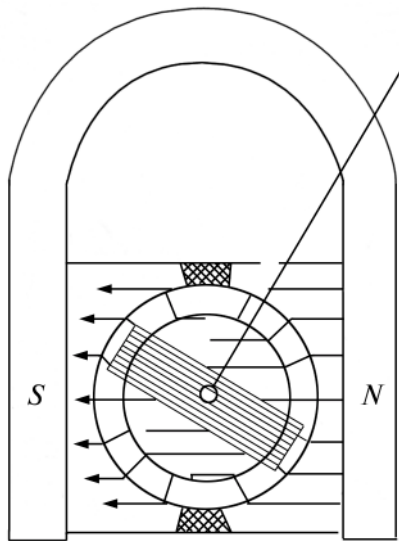


Рис. 9. Рамка милливольтметра в магнитном поле

При прохождении тока рамка с прикрепленной к ней стрелкой начнет поворачиваться до тех пор, пока не будет выполнено условие

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{пр}},$$

или

$$2\ln RDI = C\varphi,$$

откуда

$$\varphi = \frac{2\ln RDI}{C} = SI.$$

Коэффициент S представляет собой чувствительность прибора:

$$S = \varphi/I.$$

Основными частями милливольтметра являются постоянный магнит с полюсными наконечниками, сердечник из магнитомягкой стали, рамка из большого числа витков (как правило, медной проволоки), скрепленных лаком. Рамка жестко скреплена со стрелкой и образует систему милливольтметра, которая может поворачиваться вокруг своей оси. Подвод тока к рамке осуществляется через спиральные пружинки, которые одним концом соединены с рамкой, а другим с неподвижными контактами. Последовательно с рамкой включен добавочный резистор. Трение в опорах рамки является одной из причин погрешности милливольтметра, оно же вызывает вариацию.

Измерение термоЭДС милливольтметром термоэлектрического термометра однозначно зависит от температуры рабочего спая, если температура свободных концов постоянна (рис. 10).

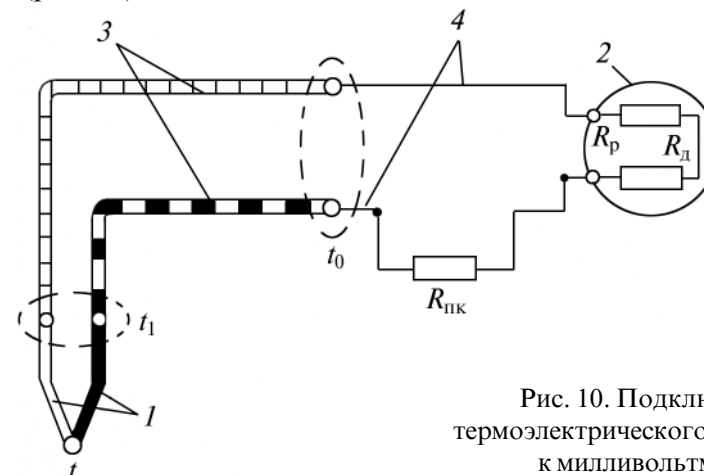


Рис. 10. Подключение термоэлектрического термометра к милливольтметру

На схеме термоэлектрический термометр 1 подключен к милливольтметру 2 удлиняющими термоэлектродными 3 и соединительными проводами 4. Для подгонки сопротивления внешней цепи до градуировочного значения применяют подгоночную катушку $R_{пк}$. Изменение показаний милливольтметра может возникнуть в результате как изменения сопротивления внешней цепи, куда входят $R_{т}$, $R_{сп}$ и $R_{пк}$, так и изменения сопротивления самого милливольтметра $R_{мв}$. Для уменьшения влияния изменения сопротивления внешней цепи на показаниях милливольтметра, необходимо уменьшить сопротивление термометра, соединительных и удлиняющих проводов, чтобы их доля в общем сопротивлении всей цепи термоэлектрический термометр — милливольтметр была незначительной. Для этого термоэлектроды термометра изготавливаются в большинстве случаев из проволоки \varnothing 2–3 мм, а удлиняющие и соединительные провода применяются сечением 2–2,5 мм². В этом случае сопротивление внешней цепи не превышает 3–5 Ом. Для однозначной зависимости показаний милливольтметра от термоЭДС сопротивление всей цепи термометр-милливольтметр должно быть постоянным и равным градуировочному значению.

Можно определить изменение показаний милливольтметра в зависимости от изменения сопротивления цепи термометр-милливольтметр относительно градуировочного значения. Положим, что сопротивление всей цепи при градуировке имело значение $R_{гр}$, а затем в условиях эксплуатации оказалось равным $R_{эк}$. Показания милливольтметра в условиях градуировки определяют выражением

$$\varphi_{гр} = SE(t, t_0)/R_{гр},$$

а в условиях эксплуатации — выражением

$$\varphi_{эк} = ST(t, t_0)/R_{экс}.$$

Откуда действительные показания милливольтметра

$$\varphi_{гр} = \varphi_{эк} R_{эк} / R_{гр}.$$

Относительное изменение показаний измерительной системы термометр- милливольтметр, вызванное отклонением сопротивления измерительной цепи от градуировочного значения, составляет:

$$\delta\varphi = (\varphi_{эк} - \varphi_{гр})/\varphi_{гр} = (R_{гр} - R_{эк})/R_{гр}.$$

Кроме сопротивления измерительной цепи на показания милливольтметра могут оказывать влияние следующие факторы: электростатические заряды, которые могут образовываться на стекле прибора; внешние магнитные поля от других приборов и ферромагнитного щита; изменение наклона прибора относительно рекомендованного техническими условиями положения.

3. Методика выполнения работы

3.1. Внешний осмотр.

При внешнем осмотре устанавливают соответствие милливольтметра техническим требованиям ГОСТ 8012; ГОСТ 22261; ГОСТ 9736.

1. На шкале милливольтметра должны быть нанесены:
 - единица измеряемой величины (°С или мВ);
 - род тока (постоянный);
 - испытательное напряжение;
 - обозначение системы милливольтметра;
 - обозначение рабочего положения прибора;
 - класс точности;
 - заводской номер милливольтметра;
 - товарный знак завода-поставщика;
 - год выпуска;
 - номер стандарта;
 - условное обозначение милливольтметра,
 - внутреннее сопротивление милливольтметра, R_r ;
 - величина напряжения в милливольтмах на зажимах прибора, соответствующая конечной отметке шкалы;
 - условное обозначение градуировки термопары;
 - внешнее сопротивление милливольтметра, $R_{вн}$.

2. Градуировка и пределы измерения милливольтметра должны соответствовать стандарту.

3. Сопротивление внешней цепи милливольтметра $R_{вн}$ для термопар гр. ХА и ХК должны быть равны: 0,6; 5; 15 и 25 Ом.

4. Корректор милливольтметра для работы в комплекте с термопарами гр. ХК, ХА, ПП-1 без автоматической компенсации изменения температуры свободных концов, должен обеспечить перемещение стрелки вправо не менее, чем на 35°С при шкале с максимальной отметкой 500°С , и не менее чем на 50°С , если она будет выше 500°С .

3.2. Поверка милливольтметра.

Основные операции по поверке милливольтметров излагаются в ГОСТ 8012, который положен в основу данной лабораторной работы. Поскольку в качестве поверяемого прибора используется милливольтметр типа М61 класса точности 1,5, то для данного класса точности допускается использовать в качестве образцового прибора переносной потенциометр типа ПП-63.

Основную погрешность и вариацию милливольтметров всех классов точности определяют при подводе указателя к каждой поверяемой отметке шкалы со стороны меньших и больших значений.

Основная погрешность показаний милливольтметров для каждой отметки шкалы не должна превышать величины, соответствующей классу точности прибора.

Вариация показаний милливольтметра в эксплуатационных условиях не должна превышать абсолютного значения допускаемой основной погрешности, а при получении прибора от завода-изготовителя или из ремонта — половины абсолютного значения.

Невозвращение стрелки к нулевой отметке шкалы определяют при плавном доведении напряжения от наибольшей отметки шкалы до 0. Величина невозвращения стрелки не должна превышать половины абсолютного значения допускаемой основной погрешности.

3.3. Оформление результатов поверки милливольтметров.

Результаты поверки приводятся в протоколе.

Погрешности показаний при прямом Δ_1 и обратном Δ_2 ходе рассчитываются как разности между показанием поверяемого прибора в мВ — A_1 и действительным значением ЭДС по образцовому прибору — A .

Таким образом,

$$\Delta = A_1 - A.$$

Поправка C равна приведенной погрешности, взятой с обратным знаком:

$$C = -\frac{\Delta_1 - \Delta_2}{2}.$$

Вариация показаний прибора представляет собой разность между измеряемыми значениями одной и той же действительной величины при возрастании (прямой ход) и убывании (обратный ход) ее значения:

$$V = |A_1 - A_2|.$$

Наибольшее отмеченное значение вариации показаний не должно превышать абсолютного значения основной допускаемой погрешности:

$$V_{\text{мак}} < \epsilon'(A_{\text{в}} - A_{\text{н}}),$$

где ϵ' — класс точности прибора;

$V_{\text{мак}}$ — наибольшая вариация;

$A_{\text{в}}$ и $A_{\text{н}}$ — верхнее и нижнее предельные значения шкалы прибора.

ПРОТОКОЛ

Поверка милливольтметра типа _____

Номер прибора _____ градуировки _____

с пределами измерения от _____ до _____

класса _____, представленного _____

Поверка проведена по образцовому _____

Допускаемая основная погрешность _____

Допускаемая вариация поверяемого милливольтметра _____

Температура поверяемого прибора _____
 Внешнее сопротивление прибора _____
 Результаты поверки _____
 Замечания по внешнему осмотру _____
 Внутреннее сопротивление _____

Результаты поверки

Отметка шкалы поверяемого прибора	Отсчет по образцовому прибору		Погрешность прибора		Приведенная погрешность $\Delta_{прив.}$	Вариация V	Приведенная вариация $\Delta V_{прив.}$	Поправка
	прямой ход	обратный ход	прямой ход Δ_1	обратный ход Δ_2				

4. Контрольные вопросы

1. Начертите принципиальную схему милливольтметра.
2. Чему должно быть равно сопротивление линии при использовании милливольтметра?
3. При какой температуре поверяют милливольтметры?
4. Какие существуют источники погрешности при измерении температуры термоэлектрическим термометром и использовании милливольтметра в качестве вторичного прибора?
5. Чему равна основная погрешность милливольтметра класса точности 1,5 со шкалой 0–600°C?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПОВЕРКА АВТОМАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПОТЕНЦИОМЕТРА

1. Задание на работу

- 1.1. По литературе [1, с. 69–86] изучить конструкцию лабораторного и автоматического потенциометра; начертить принципиальную его схему.
- 1.2. Провести поверку одного автоматического потенциометра (по указанию преподавателя).
- 1.3. Обработать результаты поверки потенциометра и сделать вывод о его пригодности к эксплуатации.
- 1.4. Составить отчет по работе.

2. Методика выполнения работы

- 2.1. Внешний осмотр.
 При внешнем осмотре проверяют соответствие маркировки требованиям ГОСТ 7164, чистоту прибора, целостность механизма, исправность всех крепежных деталей.
- 2.2. Поверка автоматического потенциометра.
 Поверка градуировки автоматического потенциометра должна проводиться с помощью лабораторного потенциометра не ниже второго класса в соответствии с ГОСТ 8.280.
 В учебных работах объем операций по поверке состоит из внешнего осмотра прибора, определения основной погрешности и вариации показаний, а также времени прохождения указателем всей шкалы.
 1. Установить механический нуль прибора.
 2. Установить рабочий ток и поверить нулевое положение указателя прибора.
 3. Для определения основной погрешности на зажимы поверяемого и образцового потенциометров с помощью источника регулируемого напряжения ИРН подается одна и та же разность потенциалов (рис. 11).

4. Основную погрешность и вариацию прибора определяют на всех оцифрованных отметках шкалы.

5. Быстро изменив измеряемое напряжение от начального до максимального показания, с помощью секундомера определяют время прохождения указателем всей шкалы потенциометра.

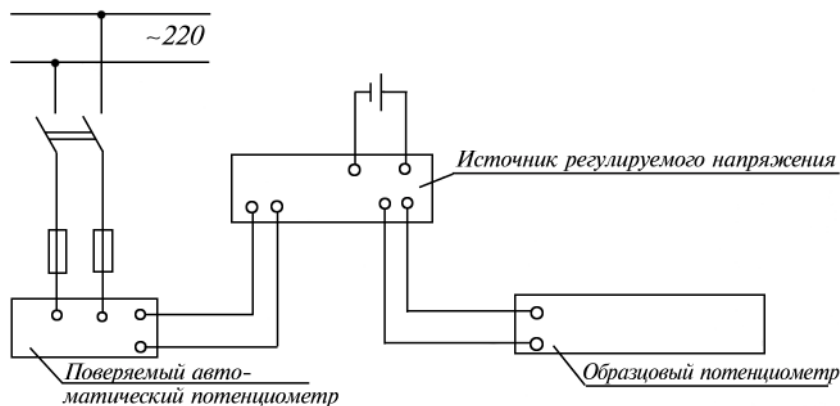


Рис. 11. Схема поверки автоматического моста

2.3. Оформление результатов поверки.

Результаты поверки оформляют в виде протокола.

ПРОТОКОЛ

Поверка потенциометра типа _____
 Номер прибора _____ с пределами измерения
 от _____ до _____
 класса представленного _____
 Поверка проведена по образцовым приборам _____

Результаты поверки

Поверяемые отметки		Показание образцового прибора		Показание погрешности		Вариация	Приведенная погрешность	Температура окружающей среды, °C
по шкале прибора	по градуировочным таблицам	прямой ход, мВ	обратный ход, мВ	прямой ход, мВ	обратный ход, мВ			

3. Контрольные вопросы

1. Начертите принципиальную схему потенциометра.
2. В чем преимущество измерения температуры по потенциометрической схеме перед схемой с милливольтметром?
3. Каково назначение сопротивлений R и R_{Π} автоматического потенциометра?
4. Каково назначение сопротивления R_{ϕ} и емкости C_{ϕ} ?
5. Какой источник напряжения может быть использован вместо нормального элемента?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПОВЕРКА ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРА

1. Задание на работу

1.1. Изучить конструкцию и работу оптического, фотоэлектрического и радиационного пирометров [1, с. 117–149].

1.2. Поверить оптический пирометр.

2. Методика поверки оптического пирометра

Поверку пирометров с исчезающей нитью накала выполняют в соответствии с ГОСТ 8130 на специальной установке при помощи градуированной температурной лампы. Однако в условиях теплоэнергетических предприятий железнодорожного транспорта не всегда имеется эта установка, поэтому для поверки визуальных технических пирометров с исчезающей нитью накала можно воспользоваться поверкой по образцовому оптическому пирометру, для чего, помимо образцового пирометра надо иметь потенциометр класса 0,2 и образцовую катушку сопротивления 0,1 Ом класса 0,02. В качестве излучателя можно применить температурную лампу с вольфрамовой нитью или электродуговой излучатель [3].

В настоящей лабораторной работе используется способ поверки по образцовому пирометру второго разряда, проградуированному до 2 500°C, и неградуированной температурной лампе.

Для выполнения поверки необходимо:

1. Собрать схему питания температурной лампы (рис. 12).
2. По образцовому пирометру проградуировать температурную лампу, т.е. построить зависимость между яркостной температурой и силой тока температурной лампы $t_{\text{обр}} = f(I)$.

4. Установить поверяемый пирометр перед проградуированной (п. 2) температурной лампой. Устанавливают ток температурной лампы, и по градуировочной кривой определяют соответствующую температуру $t_{\text{обр}}$.

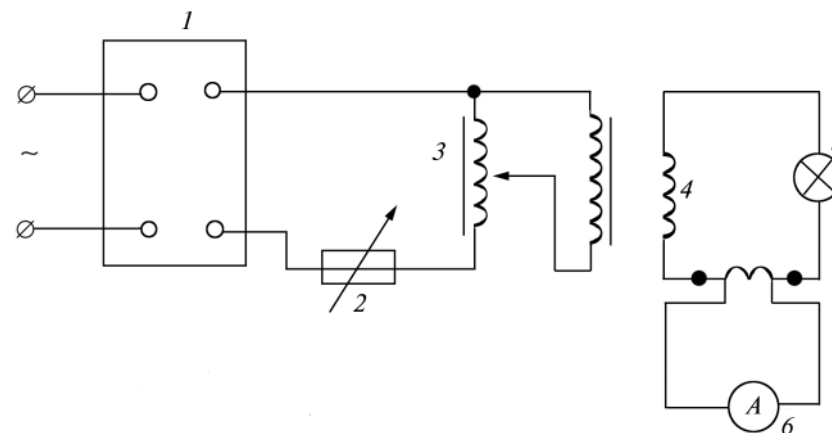


Рис. 12. Схема питания температурной лампы переменным током:
1 — стабилизатор напряжения; 2 — реостат; 3 — автотрансформатор;
4 — понижающий трансформатор; 5 — температурная лампа; 6 — амперметр

Наводят поверяемый пирометр на нить лампы и добиваются совпадения яркостей нити пирометра и температурной лампы. Всего берется три отсчета температуры по пирометру. Среднюю температуру рассчитывают по формуле

$$t_{\text{пов}} = \frac{t_{\text{пов}}^1 + t_{\text{пов}}^{11} + t_{\text{пов}}^{111}}{3}.$$

1. Вычисляют поправку для шкалы низшего диапазона:

$$\Delta t = t_{\text{обр}} + t_{\text{пов}}.$$

Повторить пп. 2–4 для других значений температур во всем интервале работы поверяемого пирометра. Результаты свести в табл. 1.

Таблица 1

Значения поправок к показаниям пирометра №...

Температура	Поправка

3. Содержание отчета

1. Программа работы.
2. Принципиальные схемы оптического пирометра и схемы его поверки.
3. Результаты поверки с расчетом поправок на всех оцифрованных отметках шкалы прибора.

4. Контрольные вопросы

1. Перечислите основные части оптического пирометра.
2. Перечислите основные части радиационного пирометра.
3. Перечислите основные части фотоэлектрического пирометра.
4. Назовите основные способы поверки оптических пирометров.
5. Какие имеются основные источники погрешности при измерении температуры оптическими пирометрами?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО СПОСОБА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

1. Краткая теория

Известно соотношение между уровнем жидкости в сосуде и давлением, производимым столбом этой жидкости:

$$p = \rho gh, \quad (1)$$

где p — давление столба жидкости, Па;
 ρ — плотность жидкости при данной температуре, кг/м³;
 g — ускорение силы тяжести, м/с²;
 h — высота столба жидкости, м.

Таким образом, для определения высоты (уровня) жидкости в емкости, находящейся под атмосферным давлением, достаточно измерить давление у дна этой емкости и разделить на плотность жидкости:

$$h = \frac{p}{\rho g}. \quad (2)$$

При этом, если требуется высокая точность определения уровня, следует учитывать зависимость плотности жидкости от температуры.

Несомненными достоинствами этого метода измерения уровня являются:

- 1) простота конструкции — достаточно установить один манометр у дна емкости;
- 2) высокая точность;
- 3) возможность использования этого метода при измерении уровня вязких и сыпучих сред (с использованием разделительного сосуда)

Недостаток: необходимо знать плотность измеряемой жидкости.

2. Ход работы

1. Заполнить сосуд водой.

2. Выпуская с помощью крана часть воды из сосуда, определить по манометру давления (в Па), производимые столбом жидкости на оцифрованных отметках шкалы манометра. Результаты измерений давления и соответствующие им экспериментальные значения уровня воды в сосуде (в м) занести в табл. 1.

Таблица 1

P							
$H_{\text{зкс}}$							
$H_{\text{рас}}$							

Для значений давления, приведенных в табл. 1, по формуле (2) рассчитать уровень жидкости. Плотность воды принять из табл. 2.

3. Полученные значения занести в табл. 1.

Зависимость плотности воды от температуры при нормальном атмосферном давлении приведена в табл. 2.

Таблица 2

T	20	21	22	23	24	25	26
ρ	998,203	997,992	997,770	997,538	997,296	997,044	996,783

4. Рассчитать абсолютную погрешность определения уровня, как погрешность косвенного измерения.

По результатам расчетов:

построить графики зависимости $H = f(p)$ — экспериментальный и расчетный;

нанести интервал достоверных значений уровня;

сделать выводы из проведенной работы, в которых отразить необходимость учета зависимости плотности жидкости от температуры при использовании манометра данного класса точности.

5. Расчет погрешности гидростатического метода измерения уровня.

Чтобы определить абсолютную погрешность косвенного измерения уровня данным методом, следует продифференцировать расчетную формулу. В данной работе — формулу (2):

$$\Delta H = \Delta p \frac{\partial H}{\partial p} + \Delta g \frac{\partial H}{\partial g} + \Delta \rho \frac{\partial H}{\partial \rho}. \quad (3)$$

Выполняя дифференцирование формулы (2) и принимая все члены с положительными знаками, поскольку нас интересует максимальная погрешность, находим:

$$\Delta H = \Delta p \left(\frac{1}{g\rho} \right) + \Delta g \left(\frac{p}{\rho g^2} \right) + \Delta \rho \left(\frac{p}{g\rho^2} \right) \quad (4)$$

В этой формуле Δp , $\Delta \rho$, Δg — абсолютные погрешности измерения давления, плотности и ускорения силы тяжести.

Если при измерении давления отсутствовали методические погрешности, то величина абсолютной погрешности измерения давления определяется только инструментальной погрешностью измерительного прибора — манометра. Эта погрешность (называемая приведенной) равна произведению класса точности прибора на нормирующее значение измеряемой величины, в данном случае на верхний предел измерения.

При классе точности прибора 0,5% и верхнем пределе шкалы 0,1 МПа абсолютная погрешность измерения давления составит:

$$\frac{0,5 \cdot 0,1}{100} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ МПа.}$$

Если не учитывать зависимость плотности воды от температуры, то в интервале температур 20–26°C абсолютная погрешность составит $998,23 - 996,783 = 1,447 \text{ кг/м}^3 \approx 1,5 \text{ кг/м}^3$.

Абсолютную погрешность определения ускорения силы тяжести можно принять равной нулю.

Тогда погрешность определения уровня в интервале его изменения от 0 до 1 м и при использовании манометра класса точности 0,5 составит:

$$\Delta H = 5 \cdot 10^2 \cdot \frac{1}{10 \cdot 10^3} + 1,5 \cdot \frac{10^4}{10 \cdot 10^6} = 0,05 + 0,0015 = 0,0515.$$

3. Контрольные вопросы

1. Каким образом можно повысить точность измерения уровня данным способом?
2. Как можно проверить правильность формулы для расчета погрешности косвенного измерения? Покажите это на примере формулы (3).

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

ТермоЭДС ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ ТИПА ТТП СТАНДАРТНОЙ ГРАДУИРОВКИ ПП ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ СВОБОДНЫХ КОНЦОВ 0°С

Температура рабочего конца, °С	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	мВ									
0	0,000	0,006	0,011	0,017	0,022	0,028	0,033	0,039	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
20	0,112	0,118	0,124	0,131	0,137	0,143	0,149	0,155	0,161	0,167
30	0,173	0,179	0,186	0,192	0,198	0,204	0,210	0,216	0,222	0,228
40	0,234	0,241	0,247	0,254	0,260	0,267	0,273	0,280	0,286	0,293
50	0,299	0,306	0,312	0,319	0,325	0,332	0,338	0,345	0,351	0,358
60	0,364	0,371	0,378	0,385	0,392	0,398	0,405	0,412	0,418	0,425
70	0,432	0,439	0,446	0,452	0,459	0,466	0,473	0,480	0,487	0,493
80	0,500	0,507	0,515	0,522	0,529	0,536	0,543	0,550	0,558	0,564
90	0,571	0,579	0,586	0,593	0,600	0,608	0,615	0,622	0,629	0,637
100	0,643	0,717	0,792	0,869	0,947	1,026	1,106	1,187	1,269	1,352
200	1,436	1,521	1,606	1,692	1,779	1,867	1,955	2,044	2,133	2,223
300	2,314	2,406	2,498	2,591	2,684	2,777	2,871	2,965	3,060	3,154
400	3,249	3,345	3,440	3,536	3,633	3,730	3,826	3,923	4,021	4,119
500	4,218	4,316	4,415	4,515	4,615	4,715	4,815	4,915	5,016	5,118
600	5,220	5,322	5,425	5,528	5,631	5,734	5,837	5,941	6,046	6,151
700	6,256	6,362	6,467	6,573	6,679	6,786	6,893	7,000	7,108	7,216
800	7,325	7,434	7,543	7,653	7,763	7,872	7,983	8,094	8,205	8,316
900	8,428	8,54	8,653	8,765	8,878	8,992	9,106	9,220	9,334	9,449
1000	9,564	9,679	9,795	9,911	10,028	10,145	10,262	10,378	10,496	10,614
1100	10,732	10,850	10,968	11,086	11,205	11,324	11,443	11,563	11,683	11,803
1200	11,923	12,043	12,163	12,284	12,404	12,525	12,645	12,766	12,887	13,008
1300	13,129	13,250	13,371	13,492	13,613	13,734	13,855	13,975	14,096	14,217
1400	14,338	14,458	14,579	14,699	14,819	14,939	15,059	15,179	15,298	15,418
1500	15,537	15,656	15,775	15,893	16,011	16,129	16,247	16,364	16,481	16,598
1600	16,714									

Таблица 2

**ТермоЭДС ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ
ТИПА ТХА СТАНДАРТНОЙ ГРАДУИРОВКИ ХА
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ СВОБОДНЫХ КОНЦОВ 0°С**

Температура рабочего конца, °С	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	мВ									
0	0,000	0,006	0,011	0,017	0,022	0,028	0,033	0,039	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
20	0,112	0,118	0,124	0,131	0,137	0,143	0,149	0,155	0,161	0,167
30	0,173	0,179	0,186	0,192	0,198	0,204	0,210	0,216	0,222	0,228
40	0,234	0,241	0,247	0,254	0,260	0,267	0,273	0,280	0,286	0,293
50	0,299	0,306	0,312	0,319	0,325	0,332	0,338	0,345	0,351	0,358
60	0,364	0,371	0,378	0,385	0,392	0,398	0,405	0,412	0,418	0,425
70	0,432	0,439	0,446	0,452	0,459	0,466	0,473	0,480	0,487	0,493
80	0,500	0,507	0,515	0,522	0,529	0,536	0,543	0,550	0,558	0,564
90	0,571	0,579	0,586	0,593	0,600	0,608	0,615	0,622	0,629	0,637
100	0,643	0,717	0,792	0,869	0,947	1,026	1,106	1,187	1,269	1,352
200	1,436	1,521	1,606	1,692	1,779	1,867	1,955	2,044	2,133	2,223
300	2,314	2,406	2,498	2,591	2,684	2,777	2,871	2,965	3,060	3,154
400	3,249	3,345	3,440	3,536	3,633	3,730	3,826	3,923	4,021	4,119
500	4,218	4,316	4,415	4,515	4,615	4,715	4,815	4,915	5,016	5,118
600	5,220	5,322	5,425	5,528	5,631	5,734	5,837	5,941	6,046	6,151
700	6,256	6,362	6,467	6,573	6,679	6,786	6,893	7,000	7,108	7,216
800	7,325	7,434	7,543	7,653	7,763	7,872	7,983	8,094	8,205	8,316
900	8,428	8,54	8,653	8,765	8,878	8,992	9,106	9,220	9,334	9,449
1000	9,564	9,679	9,795	9,911	10,028	10,145	10,262	10,378	10,496	10,614
1100	10,732	10,850	10,968	11,086	11,205	11,324	11,443	11,563	11,683	11,803
1200	11,923	12,043	12,163	12,284	12,404	12,525	12,645	12,766	12,887	13,008
1300	13,129	13,250	13,371	13,492	13,613	13,734	13,855	13,975	14,096	14,217
1400	14,338	14,458	14,579	14,699	14,819	14,939	15,059	15,179	15,298	15,418
1500	15,537	15,656	15,775	15,893	16,011	16,129	16,247	16,364	16,481	16,598
1600	16,714									

Таблица 3

**ТермоЭДС ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТЕРМОМЕТРОВ
ТИПА ТХК СТАНДАРТНОЙ ГРАДУИРОВКИ ХК
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ СВОБОДНЫХ КОНЦОВ 0°С**

Температура рабочего конца, °С	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	мВ									
0	0,00	0,07	0,13	0,20	0,26	0,33	0,39	0,46	0,52	0,59
10	0,65	0,72	0,78	0,85	0,91	0,98	1,03	1,11	1,18	1,24
20	1,31	1,38	1,44	1,51	1,57	1,64	1,70	1,77	1,84	1,91
30	1,98	2,05	2,12	2,18	2,25	2,32	2,30	2,45	2,52	2,59
40	2,66	2,73	2,80	2,87	2,94	3,00	3,07	3,14	3,21	3,28
50	3,35	3,42	3,49	3,56	3,63	3,70	3,77	3,84	3,91	3,98
60	4,05	4,12	4,19	4,26	4,33	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69
70	4,76	4,83	4,90	4,98	5,05	5,12	5,20	5,27	5,34	5,41
80	5,48	5,55	5,62	5,69	5,76	5,83	5,90	5,97	6,04	6,11
90	6,18	6,25	6,32	6,39	6,40	6,53	6,60	6,67	6,74	6,81
-200	-9,69									
-100	-5,74	-6,20	-6,55	-7,08	-7,49	-7,89	-8,27	-8,64	-9,09	-9,35
0	0,00	-0,64	-1,27	-1,89	-2,50	-3,11	-3,69	-4,24	-4,76	-5,26
100	6,88	7,62	8,36	9,11	9,86	10,62	11,39	12,17	12,96	13,77
200	14,59	15,41	16,24	17,07	17,90	18,73	19,56	20,39	21,22	22,05
300	22,88	23,72	24,57	25,42	26,28	27,14	29,01	28,88	29,75	30,62
400	31,49	32,36	33,24	34,12	35,00	35,88	36,76	37,64	38,52	39,40
500	40,28	41,17	42,06	42,95	43,83	44,71	45,59	46,47	47,35	48,23
600	49,11	49,99	50,87	51,75	52,63	53,50	54,37	55,24	56,11	56,98
700	57,85	58,72	59,79	60,45	61,31	62,17	63,03	63,89	64,75	65,61
800	66,47									

Таблица 4

**Градуировочная таблица платиновых термометров
сопротивления**

А. Номинальное сопротивление термометра при 0°C $R_0 = 46 \text{ Ом}$
Обозначение градуировки — гр. 21

Температура рабочего конца, °C	мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-200	7,95									
-100	27,44	25,54	23,63	21,72	19,79	17,85	15,90	13,93	11,95	9,96
-0	46,00	44,17	42,34	40,50	38,65	36,80	34,94	33,08	31,21	29,33
0	46,00	47,82	49,64	51,45	53,26	55,06	56,86	58,65	60,43	62,21
100	63,90	65,76	67,52	69,28	71,03	72,76	74,52	76,26	77,99	79,71
200	81,43	83,15	84,86	86,56	88,26	89,96	91,64	93,33	95,00	96,68
300	98,34	100,01	101,66	103,31	104,96	106,60	108,23	109,86	111,48	113,10
400	114,72	116,32	117,93	119,52	121,11	122,70	124,28	125,86	127,43	128,99
500	130,55	132,10	133,65	135,20	136,73	138,27	139,79	141,32	142,83	144,34
600	145,85	147,35	148,84	150,33	151,81	153,30	154,77	156,23	157,70	159,15
700	160,60	162,04	163,48	164,92	166,36					
750	167,77									

Б. Номинальное сопротивление термометра при 0°C $R_0 = 10 \text{ Ом}$
Обозначение градуировки — п 10

В. Номинальное сопротивление термометра при 0°C $R_0 = 100 \text{ Ом}$
Обозначение градуировки — п 100

Окончание табл. 4

Температура рабочего конца, °C	мВ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-200	17,28									
-100	59,65	55,52	51,38	47,21	43,02	38,80	34,56	30,29	25,98	21,65
-0	100,00	96,03	92,04	88,04	84,03	80,00	75,96	71,91	67,84	63,75
0	100,00	103,96	107,91	111,85	115,78	119,70	123,60	127,49	131,37	135,24
100	139,10	142,95	146,78	150,60	154,41	158,21	162,00	165,78	169,54	173,29
200	177,03	180,76	184,48	188,18	191,88	195,56	199,23	202,89	206,53	210,17
300	213,79	217,40	221,00	224,59	228,17	231,73	235,29	238,83	242,36	245,88
400	249,38	252,88	256,36	259,83	263,29	266,74	270,18	273,60	277,01	280,41
500	283,80	287,18	290,55	293,91	297,25	300,58	303,90	307,21	310,50	313,79
600	317,06	320,32	323,57	326,80	330,03	333,25	336,45	339,64	342,82	345,99
700	349,14	352,29	355,42	358,54	361,65					
750	364,74									

Таблица 5

Градуировочная таблица медных термометров сопротивления
А. Номинальное сопротивление термометра при 0°C $R_0 = 53,0 \text{ Ом}$
Обозначение градуировки — гр. 100

°C	Ом									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-50	47,41									
-0	53,00	50,74	48,48	46,23	43,97					
0	53,00	55,26	57,52	59,77	62,03	64,29	66,55	68,81	71,00	73,32
100	75,58	77,84	80,09	82,35	84,61	86,87	89,13	91,38		
180	93,64									

Б. Номинальное сопротивление термометра
при 0°C $R_0 = 100,00 \text{ Ом}$
Обозначение градуировки — гр. 23

°C	Ом									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-50	78,70									
-0	100,00	95,74	91,48	87,22	82,96					
0	100,00	104,26	108,52	112,78	117,04	121,30	125,56	129,82	134,08	138,34
100	142,60	146,86	151,12	152,38	159,64	163,90	168,16	172,42		
180	176,68									

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Чистяков С.Ф., Радун Д.В. Теплотехнические измерения и приборы. — М.: Высшая школа, 1972. — 393 с.
2. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. — М.: Энергия, 1978. — 703 с.
3. Лабораторный практикум по теплотехническим измерениям и приборам / Под ред. С.Ф. Чистякова. — М.: Высшая школа, 1970. — 271 с.
4. ГОСТ 6616. Преобразователи термоэлектрические ГСП.
5. ГОСТ 3044. Преобразователи термоэлектрические. Номинальные статические характеристики преобразователей.
6. ГОСТ 6651. Термопреобразователи сопротивления ГСП.
7. ГОСТ 8.338. Термопреобразователи технических термоэлектрических термометров. Методы и средства поверки.
8. ГОСТ 8.280. Потенциометры и уравновешенные мосты автоматические. Методы и средства поверки.
9. ГОСТ 8.130. Пирометры визуальные с исчезающей нитью общепромышленные. Методы и средства поверки.
10. ГОСТ 8.209. Логометры магнитоэлектрические. Методы и средства поверки.
11. ГОСТ 8.305. Термометры манометрические. Методы и средства поверки.
12. ГОСТ 8.012. Методы и средства поверки милливольтметров пирометрических.

УПРАВЛЕНИЕ, СЕРТИФИКАЦИЯ, ИННОВАТИКА МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Руководство к выполнению
лабораторных работ

Редактор *В.И. Чучева*
Компьютерная верстка *О.А. Денисова*

Тип. зак.	Изд. зак. 416	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 18.11.04	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 4,0		Формат 60×90 ^{1/16}

Издательский центр РГОТУПС,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Типография РГОТУПС, 125993, Москва, Часовая ул., 22/2