

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

А. Н. ЛЕСНИЧУК, Н.С. ДОЛБИКОВА.

ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Лабораторная работа №1

Методическое пособие
по курсам:
«Метрология, стандартизация и сертификация»,
«Технические измерения и приборы»

для студентов, обучающихся по направлению
«Теплоэнергетика»

Под редакцией Г.М.Ивановой

УДК
621.1
Д 64

Утверждено учебным управлением МЭИ (ТУ)

Подготовлено на кафедре автоматизированных систем управления тепловыми процессами

Рецензент: докт. техн. наук, профессор А.В.Андрюшин,

Долбикова Н.С.
Лесничук А.Н.

Д 64 **Изучение** первичных преобразователей для измерения температуры
Лабораторная работа № 1: методическое пособие/ Н.С.Долбикова;
Лесничук А.Н. под ред. Г.М. Ивановой.- М.: Издательский дом МЭИ,
2010.- 12с

Посвящена изучению методики градуировки и поверки термометров сопротивления и термопар, применяемых при измерении температуры, знакомит в устройством преобразователей, методикой поверочных испытаний, дает практические навыки по измерению температуры.

Продолжительность лабораторных занятий – 4 часа.

Предназначена для студентов ИТАЭ, ИПЭЭФ, ЭнМИ.

Учебное издание

Долбикова Нина Сергеевна
Лесничук Александр Николаевич

**ИЗУЧЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ**

Лабораторная работа № 1

Методическое пособие по курсам:
«Метрология, стандартизация и сертификация»,
«Технические измерения и приборы»
для студентов, обучающихся по направлению
«Теплоэнергетика»

Редактор издательства

Темплан издания МЭИ 2009 (), учебн. Подписано в печать
Печать офсетная Формат 60x84/16 Физ.печ. л. 0,5 Тираж 100 экз Изд. №
Заказ

Издательство МЭИ, 111250, Москва, Красноказарменная ул., д.14.
Отпечатано в ООО «Типография-Н», 141292, Московской обл., г. Красноармейск,
просп. Испытателей, д.25/2

1. РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Целью лабораторной работы является получение практических навыков по измерению температуры с помощью термометров сопротивления (ТС) и термопар (ТП) и освоение методики поверочных испытаний этих преобразователей.

Для выполнения работы необходимо:

1.1. Изучить методику градуировки, аппаратуру и приборы, необходимые для градуировки ТС. Научиться пользоваться этими приборами.

1.2. Ознакомиться с лабораторным стендом и с техническими характеристиками медного ТС.

1.3. По сопротивлению ТС при 0°C и при температуре насыщенных паров кипящей воды $t^{\circ}\text{C}$:

а) определить действительное значение его коэффициента пропорциональности (температурного коэффициента электрического сопротивления) α ;

б) рассчитать статическую градуировочную характеристику СХ медного ТС для интервала температур от минус 50 до плюс 180°C ;

в) проверить соответствие статической характеристики исследуемого ТС номинальной.

1.4. Ознакомиться с лабораторным стендом, аппаратурой и средствами измерения, применяемыми при поверочных испытаниях термопар.

1.5. Изучить методику поверки ТП.

1.6. Осуществить градуировку ТП в интервале от 100°C до 300°C при температуре свободных концов $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

1.7. Построить графики статических характеристик ПП(S), ХА(K) и ХК(L) в интервале температур от 100°C до 300°C .

1.8. Проверить соответствие статической характеристики исследуемого ТП одной из номинальных ПП(S), ХА(K) и ХК(L).

2. ДОМАШНЯЯ ПОДГОТОВКА

В домашнюю подготовку входит:

Изучение по /1/ § 5.1, 5.2, 7.1.1, 7.1.2, 6.1, 6.2, 7.2.1, 7.2.2.

Подготовка отчета с приведением:

а) краткого содержания работы;

б) схемы уравновешенного моста;

в) протокола испытания термометра сопротивления;

г) схемы измерения термо-ЭДС термопар;

д) протокола поверки ТП;

е) графиков статических характеристик ТЭП градуировок ПП(S), ХА(K) и ХК(L) для интервала температур от 100°C до 300°C .

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

3.1. Схема лабораторного стенда для испытаний ТС и ТП приведена

на рис. 1. Он включает: 1 - панели с выключателями; 2 - испытуемый ТС; 3 - паровой термостат; 4 - двухтрубный манометр; 5 - нулевой термостат; 6 - уравновешенный мост; 7 - соединительный провод; 8 - нуль-гальванометр; 9 - сосуд со льдом; 10 - трубчатая электрическая печь; 11 – образцовая (платинородий-платиновая) и поверяемая ТП; 12 - нихромовый нагреватель; 13 - автотрансформатор; 14 - амперметр; 15 – вторичный прибор - измеритель-регулятор технологический ИРТ-5920; 16 – выключатель ; 17 - переключатель ТП. На панелях стенда представлены необходимые для выполнения работы таблицы.

3.2. Схема установки для испытания ТС приведена на рис. 2.

Сопротивление термометра сопротивления при температуре 0°C (R_0) измеряют в нулевом термостате 5. Сопротивление термометра сопротивления при температуре насыщенного пара (R_t) определяют в паровом термостате 3. Сопротивление термометра сопротивления измеряют при помощи уравновешенного моста 6 типа МО-62, класса точности 0,05.

3.3. Схема установки ТП в электрической печи изображена на рис. 3. В скобках указаны обозначения позиций на рис. 1.

Трубчатая электрическая печь 10 имеет нихромовый нагреватель. Для уменьшения тепловых потерь и выравнивания температурного поля по длине трубы она помещена в кожух, заполненный теплоизолирующим материалом, и с торцов закрыта асбестом. Рабочие концы ТП вставлены в металлический блок, помещенный в фарфоровую трубу на $2/3$ ее длины. Металлический блок обеспечивает равенство температур рабочих концов обоих ТП. Свободные концы ТП в защитных трубках находятся в термостате 9, заполненном смесью тающего льда с водой, благодаря чему температура свободных концов ТЭП имеет постоянное значение 0°C . Температура печи устанавливается в зависимости от силы тока в цепи нагревателя. Контроль за силой тока осуществляется по показанию амперметра 14. Регулировка тока производится при помощи автотрансформатора 13. Термо-ЭДС термопар измеряется при помощи вторичный прибор - измерителя-регулятора технологического ИРТ-5920 15.

4. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

4.1. Поверка и градуировка термометра сопротивления.

4.1.1. Перед началом работы следует осмотреть ТС. Осмотр выполняют с целью обнаружения неисправностей арматуры, головки, зажимов и чувствительного элемента. Неисправный ТС испытанию не подвергается.

4.1.2. Для определения сопротивления преобразователя при температуре 0°C его погружают в нулевой термостат и после установления стационарного режима (через 8 -10 мин) начинают измерять

сопротивление R_0 мостом МО-62 (6). Затем с интервалом в 1-2 мин делают еще пять измерений R_0 , которые записывают в табл. 1 (приложение 1).

4.1.3. Для определения сопротивления ТС при температуре насыщенных паров кипящей воды, термостат **включается преподавателем**. После выдержки ТС при комнатной температуре (15 -20 минут) его помещают в кипящий паровой термостат и делают пять измерений R_t , которые записывают в табл. 1.

4.1.4. По результатам измерений находят средние арифметические значения величин R_0 и R_t .

Температуру кипения воды определяют расчетным путем по абсолютному давлению в термостате, которое равно сумме избыточного и атмосферного давлений. Атмосферное давление измеряют при помощи ртутного барометра с погрешностью отсчета не более 10 Па (0.1 мм рт. ст.) Одновременно отсчитывают показание термометра, вмонтированного в корпус барометра.

4.2. Проверка и градуировка термопар.

4.2.1. Перед началом работы необходимо осмотреть стенд с целью изучения расположенных на стенде таблиц, аппаратуры и средств измерения и подготовки их к работе. Термостат со свободными концами ТП должен быть заполнен льдом. вторичный прибор - измеритель-регулятор технологический ИРТ-5920 (15) включается в сеть (рис. 1) при помощи выключателя (16).

4.2.2. Убедившись в готовности стенда к работе, включают нагреватель печи и автотрансформатором 13 устанавливают по амперметру 14 ток **8 А**.

4.2.3. Наблюдают за повышением температуры в печи по изменению термо-ЭДС ТП градуировки ПП (переключатель (17) в положении «образцовая»). При достижении температуры 85-90°C уменьшают автотрансформатором силу тока до значения, которому по статической характеристике печи соответствует температура 100°C. При таком режиме нагрева быстрее устанавливается в печи стационарный тепловой режим для заданного значения температуры,

4.2.4. После установления стационарного режима ЭДС платиноводородной - платиновой ТП не должно изменяться.

4.2.5. С момента установления стационарного теплового режима измеряют поочередно через 1-2 минуты ЭДС обоих ТЭП. Число измерений (i) для каждого ТЭП должно быть не менее пяти.

В данной работе градуировка ТЭП проводится по пяти (j) температурным точкам, начиная со 100°C через 50°C и заканчивается при температуре 300°C.

4.2.6. Для получения последующих температурных точек печь нагревают при силе тока 8А соответственно до температур меньше

заданных на 10-15°C. При достижении этих температур уменьшают силу тока до значения, определяемого по статической характеристике печи, добиваются получения стационарного теплового режима и измеряют термо-ЭДС, как это было сделано для первой температурной точки. При этом допускается, отклонение температуры от указанных выше значений на ±10°C.

4.2.7. Работа заканчивается составлением отчета и анализом результатов измерения термо-ЭДС.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ.

5.1. Обработка результатов испытания ТС.

5.1.1 Температуру паров кипящей воды °C в термостате находят по формуле:

$$t = 100 + 0.037 \cdot (H - 760)$$

Значение H определяют по показанию ртутного барометра с учетом всех поправок по формуле:

$$H = H_b + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5,$$

где H_b - показание барометра;

Δ_1 - инструментальная поправка (по свидетельству барометра);

Δ_2 - поправка на приведение показания, барометре с латунной шкалой к 0°C;

Δ_3 - поправка, обусловленная приведением значения ускорения силы тяжести к уровню моря;

Δ_4 - поправка для приведения барометрического давления к географической широте 45°;

Δ_5 - поправка на избыточное давление в термостате. Определяется по водяному манометру 4 (см. рис. 1) в мм. вод. ст. Для получения в мм рт. ст., необходимо полученное значение разделить на коэффициент 13,6.

Поправки Δ_2 , Δ_3 и Δ_4 определяются из таблиц.

5.1.2. Значение коэффициента пропорциональности (температурного коэффициента электрического сопротивления) с точностью до третьей значащей цифры вычисляют по формуле:

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_{0t}} \cdot \frac{1}{^{\circ}\text{C}}.$$

5.1.3. Сопротивление термометра сопротивления при температуре 100°C имеет следующее значение:

$$R_{100} = R_t + \alpha R_0 (100 - t);$$

Где t - температура пара в термостате;

R_t - сопротивление термометра сопротивления при температуре t °C;

R_0 - сопротивление термометра сопротивления при температуре 0°C ;

α - коэффициент пропорциональности.

5.1.4. По значению сопротивлений R_0 и R_{100} находят их отношение

$$W = \frac{R_{100}}{R_0};$$

Полученные значения R_0 , W и α сравнивают с их номинальными значениями. Для медного термометра сопротивления номинальные значения

$$R_0=50,00 \text{ Ом}, W_H=1,428 \text{ и } \alpha=0,00428 \text{ 1/}^\circ\text{C};$$

5.1.5. Статическую характеристику термометра сопротивления находят, учитывая, что зависимость сопротивления медного ТС от температуры имеет следующий вид:

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

где R_t и R_0 - сопротивления ТС при температурах t и 0°C ,

α - действительное значение коэффициента пропорциональности,

t - значение температуры кратное 10°C в интервале от -50 до $+180^\circ\text{C}$.

Сопротивление R_t вычисляют до сотых долей Ома.

Полученные данные заносят в таблицу 2 (приложение 1) и строят график.

5.2. Обработка результатов измерения ТЭП.

5.2.1. Для каждой температурной точки находят среднее арифметическое значение термо-ЭДС обеих термопар по формуле

$$E_i = \sum_{i=1}^5 E_i / 5,$$

где j - номер температурной точки;

i - номер отсчета (наблюдения);

E_i - очередное из ряда значений термо-ЭДС, полученных при постоянной температуре печи t_i .

5.2.2. По среднему значению термо-ЭДС платиновой-платинового термопары и ее номинальной статической характеристике ПП находят температуру печи t_i .

5.2.3. По значениям температуры t_i и термо-ЭДС E_i поверяемой термопары строят ее статическую характеристику $E_i = f(t_i)$.

5.2.4. Сравнивая статическую характеристику поверяемой термопары с соответствующей номинальной находят отклонение Δl_i характеристики поверяемой термопары

$$\Delta l_i = E_{iH} - E_i.$$

5.2.5. Пользуясь приведенными на стенде формулами, находят предел основной допускаемой погрешности термопары $\Delta l_i'$.

5.2.6. Если отклонение характеристики поверяемого ТЭП Δl_i меньше предела основной допускаемой погрешности $\Delta l_i'$, т.е. если $\Delta l_i \leq \Delta l_i'$, то статическая характеристика считается номинальной, в противном случае индивидуальной.

5.2.7. Градуировка нестандартной термопары заканчивается построением ее статической характеристики $E_i = f(t_i)$.

5.2.8. Погрешность измерения термо-ЭДС поверяемой термопары вычисляется по формуле

$$\Delta = \frac{\gamma \cdot D}{100}, \text{ мВ,}$$

где $\gamma = \pm (0,2 + *)$ – пределы допускаемой основной приведенной погрешности по измеряемой величине, %;

* - одна единица последнего разряда, выраженная в % от диапазона измерения;

$D = 75$ мВ – диапазон измерения милливольтметра ИРТ-5920.

Результаты всех измерений и вычислений записываются в таблицу 3. Выводы по результатам поверки термопары должны быть приведены в заключении по работе.

6. УКАЗАНИЯ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА.

В отчет включаются:

6.1. Титульный лист с указанием наименования работы и ее исполнителей.

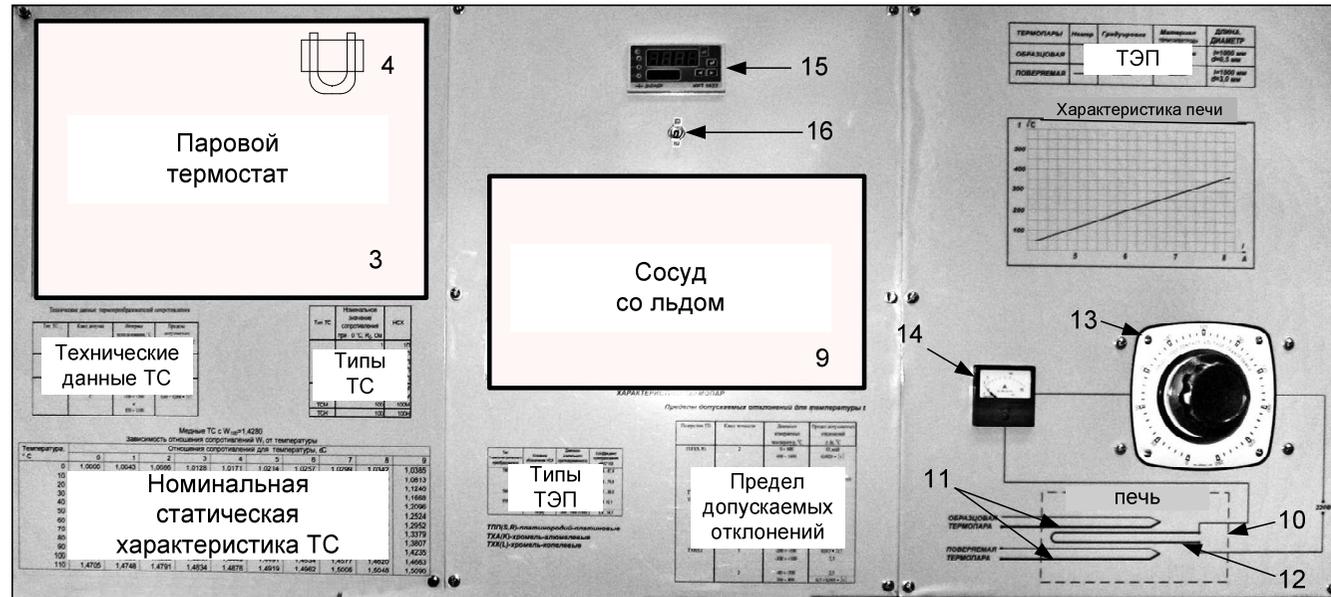
6.2. Краткое описание работы.

6.3. Принципиальная схема измерения сопротивления ТС.

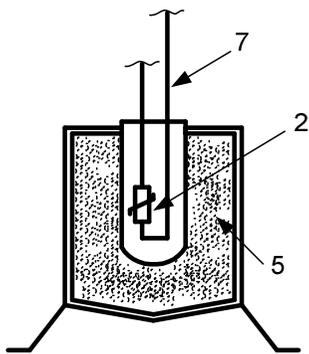
6.4. Протокол испытания ТС.

6.5. Статическая характеристика ТС.

Верхняя лицевая панель станда



К уравновешенному мосту



Нулевой термостат

Нижняя лицевая панель станда

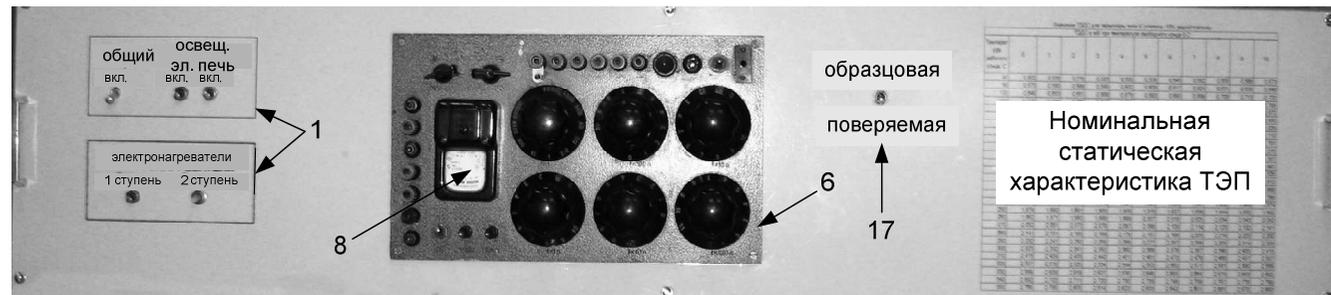


Рис. 1. Схема лабораторного станда

- 6.6. Принципиальная схема измерения термо-ЭДС.
- 6.7. Протокол испытания термопар.
- 6.8. Статические характеристики термопар.
- 6.9. Заключение по результатам работы. Отчет должен быть написан во время лабораторной работы и подписан студентами.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Иванова Г. Л., Кузнецов Н. Х., Чистяков В. С. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Издательство МЭИ, 2005.
2. Кузнецов И. Х. Чистяков В.С. Сборник задач и вопросов по теплотехническим измерениям и приборам. И.: Энергоатомиздат. 1985.

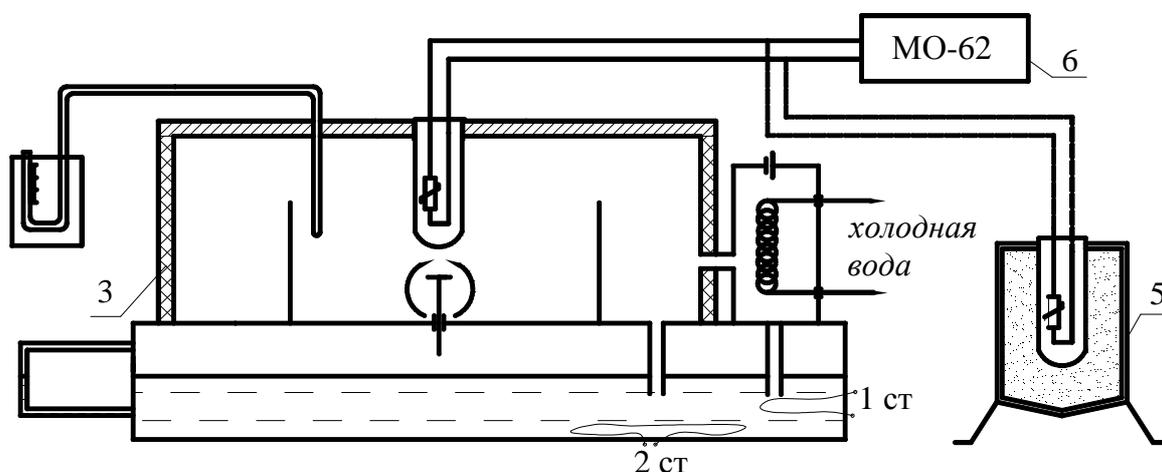


Рис. 2. Схема установки для поверочных испытаний ТС.

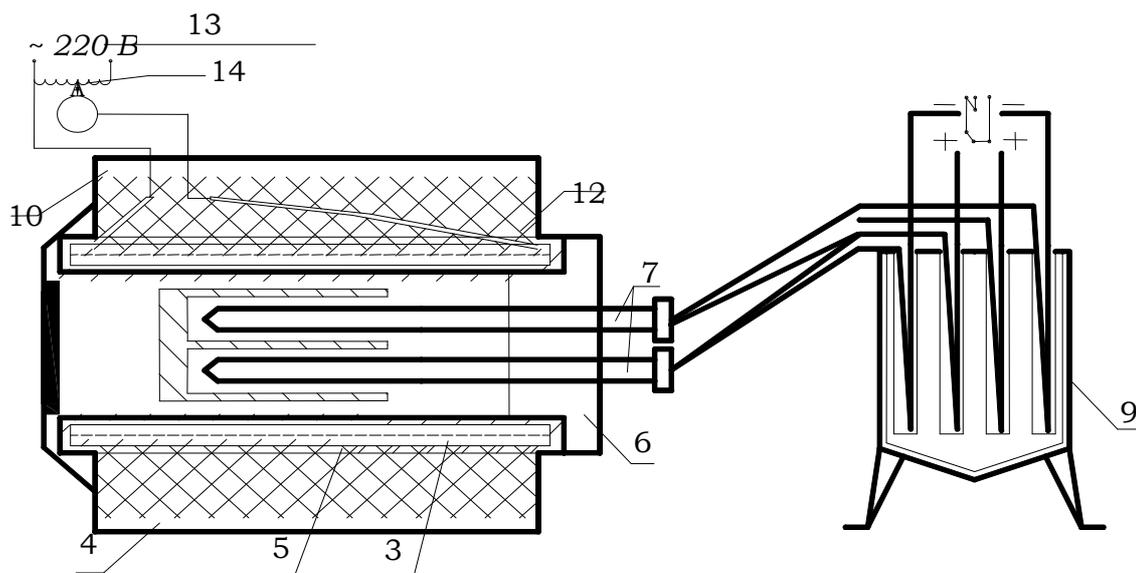


Рис. 3. Схема установки ТЭП в электрической печи.

Протокол
поверки термометра сопротивления
тип _____ № _____

Таблица 1

Результаты испытаний.

№ отчёта	Сопротивление термометра сопротивления, Ом	
	При температуре таяния льда	При температуре насыщенных паров кипящей воды
1		
2		
3		
4		
5		
Среднее значение сопротивления		

Сопротивление измерено с помощью _____
Показание барометра $H_0 =$ _____ кПа (мм рт. ст.).
при температуре $t_0 =$ _____ °С .
Избыточное давление в паровом термостате Δ_5 _____ Па (мм вод. ст.).
Абсолютное давление насыщенных паров кипящей воды в термостате
 $H =$ _____ кПа (мм рт.ст.).
Температура насыщенных паров кипящей воды в термостате $t =$ _____ °С.

Таблица 2.

Статическая характеристика ТС.

Температура, °С	-50	0	50	100	150	180
Сопротивление, Ом						

Заключение _____

Протокол

поверки термопары _____

Образцовые средства измерения : платинородий-платиновая
термопара ПП № _____

Цифровой милливольтметр _____

Условие поверки: температура свободных концов термопары 0°C

Таблица 3.

Результаты испытаний.

Термопара		Образцовая					Поверяемая				
Температурные точки, j		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Значение термо-ЭДС термопар, мВ	№ отсчёта.										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
Среднее значение ЭДС $E_i, мВ$											
Температура печи $t_i, °C$											
Номинальное значение ЭДС $E_{ин}, мВ$											
Откл. характеристики поверяемого ТЭП $\Delta l_i, мВ$											
Предел осн. допуск. погрешности $\Delta l'_i, мВ$											
Погрешность измерения ЭДС $\Delta_i, мВ$											

Заключение _____

Работу выполнил _____

Проверил _____

Дата _____