

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Ю.К. Атрошенко, Е.В. Кравченко

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК И ПОВЕРКА ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2014

УДК  
ББК

**Атрошенко Ю.К.**

Исследование метрологических характеристик и поверка термоэлектрических. Методические указания к выполнению лабораторных работ / Ю.К. Атрошенко, Е.В. Кравченко; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 12 с.

В пособии приведены сведения о термоэлектрических преобразователях, показан ход выполнения лабораторной работы. Лабораторная работа содержит индивидуальные варианты заданий. Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям 140100 (13.03.01) «Теплоэнергетика и теплотехника» и 141100 (13.03.03) «Энергетическое машиностроение».

УДК  
ББК

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор ТГАСУ

*Мамонтов Г.Я.*

Доцент ФГОУ ДПО «Академия стандартизации, метрологии и сертификации (учебная)»

*Волошенко А.В.*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014

© Атрошенко Ю.К., Кравченко Е.В.

© Обложка. Издательство Томского политехнического университета, 2014

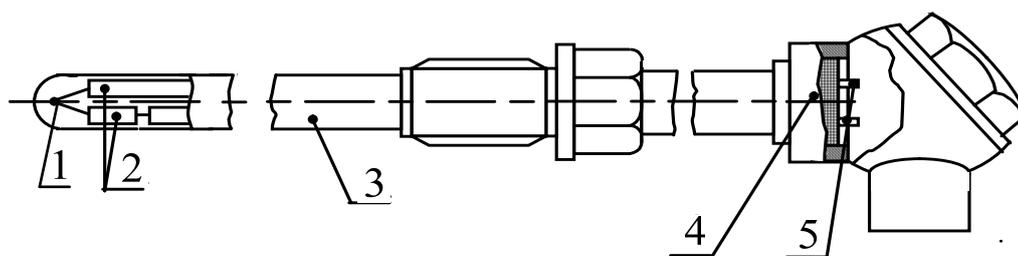
Цель работы заключается в изучении принципа работы термоэлектрического преобразователя (ТЭП) температуры, а также получении знаний о технических и эталонных ТЭП и их метрологических характеристиках.

Задачами лабораторной работы являются:

- изучение поверочной установки;
- выполнение поверки ТЭП;
- составление протокола поверки.

### Поверка термоэлектрических преобразователей

Термоэлектрический преобразователь – измерительный преобразователь температуры, основанный на термоэлектрическом эффекте. Термоэлектрический эффект заключается в генерировании термоэлектродвижущей силы (ТЭДС), возникающей из-за разности температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов образующих часть одной и той же сети. Пара проводников из разнородных материалов, соединенных на одном конце и образующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры, называется термопарой [1]. На рис. 1 показана конструкция типичного термоэлектрического преобразователя. ТЭП включает в себя спай термопары 1, электроизоляционную конструкцию (керамические бусы/трубки) 2, защитный чехол 3, головку 4 и клеммы 5 для подключения компенсационных проводов.



*Рис. 1. Конструкция термоэлектрического преобразователя:*

*1 – спай термопары; 2 – электроизоляционная конструкция; 3 – защитный чехол; 4 – головка ТЭП; 5 – клеммы*

Если ТЭП в качестве чувствительного элемента содержит кабельную термопару, такой ТЭП называется кабельным. Кабельная термопара состоит из гибкой металлической трубки и размещенных внутри нее одной или двух пар термоэлектродов. Термоэлектроды располагаются

параллельно друг другу, а пространство между ними заполняется уплотненной минеральной изоляцией. Термоэлектроды с одной стороны спаяны и образуют рабочий спай ТЭП, свободные концы термоэлектродов подключаются к клеммам головки.

ТЭП применяются для измерения температуры в комплекте с нормирующими преобразователями, а также измерительными и регистрирующими приборами, предназначенными для работы с ТЭП.

Проверкой термоэлектрического преобразователя называется совокупность операций, выполняемых для подтверждения соответствия поверяемого ТЭП метрологическим требованиям. Проверка включает в себя внешний осмотр преобразователя, проверку электрической прочности изоляции, электрического сопротивления изоляции и другие виды работ. Однако, наиболее важной операцией при проверке ТЭП является определение ТЭДС при заданных значениях температуры, при этом, полученные градуировочные характеристики должны соответствовать номинальным статическим характеристика ТЭП в пределах допустимых отклонений ТЭДС. При проверке ТЭДС должна быть определена не менее чем при четырех значениях температуры. Для проверки ТЭП используются эталонные средства измерений (ртутные стеклянные термометры; эталонные платинородий-платиновые и платинородий-платинородиевые ТЭП), а также различные вспомогательные средства [2].

Допускаемые отклонения ТЭДС от номинальных значений приведены в таблице 1.

Таблица 1

*Допускаемые значения отклонения ТЭДС от НСХ*

Тип НСХ	Класс	Диапазон измерения, °С	Значение отклонения, °С
ТПП 13 (R) ТПП 10 (S)	1	0...1100	±1
		1100...1600	± [1+0,003 (t-1100)]
	2	0...600	±1,5
		600...1600	±0,0025 t
ТХА (К)	1	-40...375	±1,5
		375...1000	±0,004 t
	2	-40...333	±2,5
		333...1200	±0,0075 t
ТХК (L)	2	-40...300	±2,5
		300...800	±0,0075 t
	3	-200...-100	±0,0015 t
		-100...100	±2,5

где  $t$  – значение измеряемой температуры, °С.

### Описание лабораторной установки

Лицевая панель лабораторной установки показана на рис. 2.

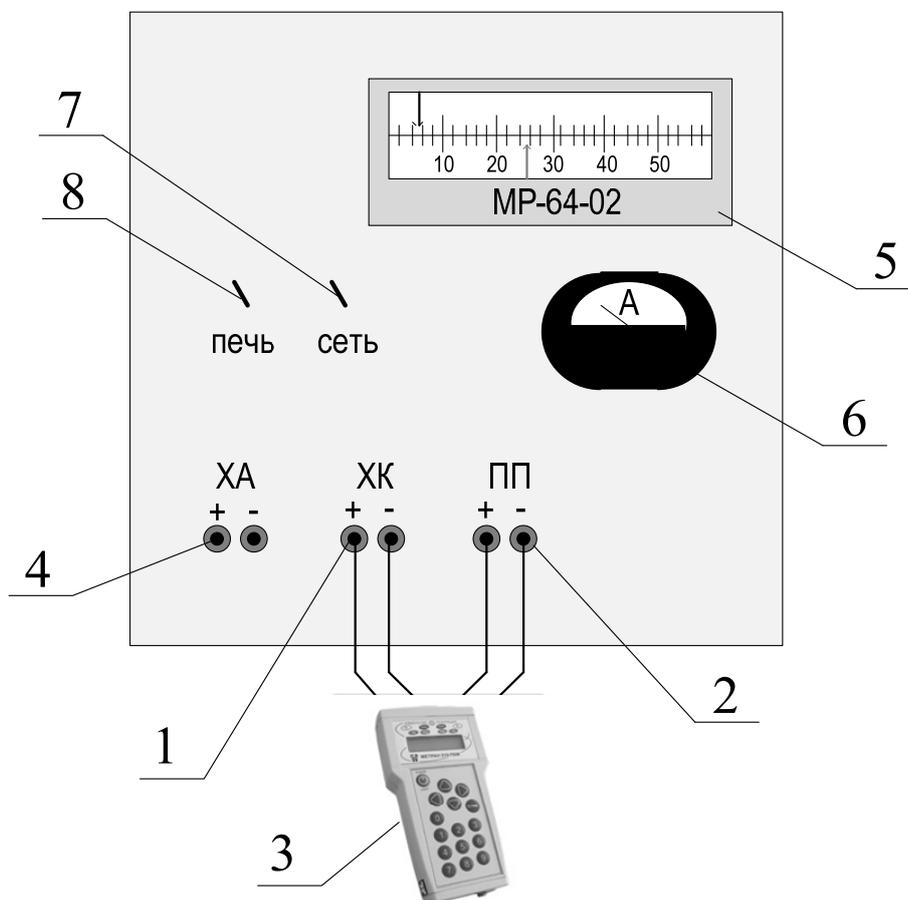


Рис. 2. Схема лабораторной установки:

1 – клеммы поверяемого ТЭП (НСХ L); 2 – клеммы эталонного ТЭП (НСХ S); 3 – эталонный калибратор; 4 – клеммы вспомогательный ТЭП; 5 – пирометрический милливольтметр; 6 – амперметр; 7 – тумблер включения питания установки; 8 – тумблер включения печи

Поверочная установка включает печь, в которую помещены термоэлектрические преобразователи с НСХ K (ХА), L (ХА), S (ПП). На лицевой панели установки размещены клеммы указанных ТЭП: 1 – клеммы поверяемого ТЭП; 2 – клеммы эталонного ТЭП. Измерительная система, включающая в себя ТЭП с НСХ типа K (ХА) и пирометрический милливольтметр 5 предназначена для регулирования температуры в печи. Положение нижней (красной) стрелки милливольтметра соответствует заданному значению температуры, положение верхней стрелки

(черной) – текущему значению температуры в печи. Амперметр 6 предназначен для определения тока в цепи питания печи.

Включение питания сети и печь осуществляется с помощью тумблеров 7 и 8 соответственно.

В качестве эталонного калибратора 3 используется эталонный калибратор типа Метран-510-ПКМ. Виды на лицевую и верхнюю панели калибратора показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

Предел допускаемой основной приведенной погрешности при измерении и генерации напряжения постоянного тока в диапазоне от 0 до 100 мВ составляет  $(0,015 \% + 5 \text{ мкВ})$ ; при измерении и генерации постоянного тока –  $(0,015 \% + 0,25 \text{ мкА})$ .

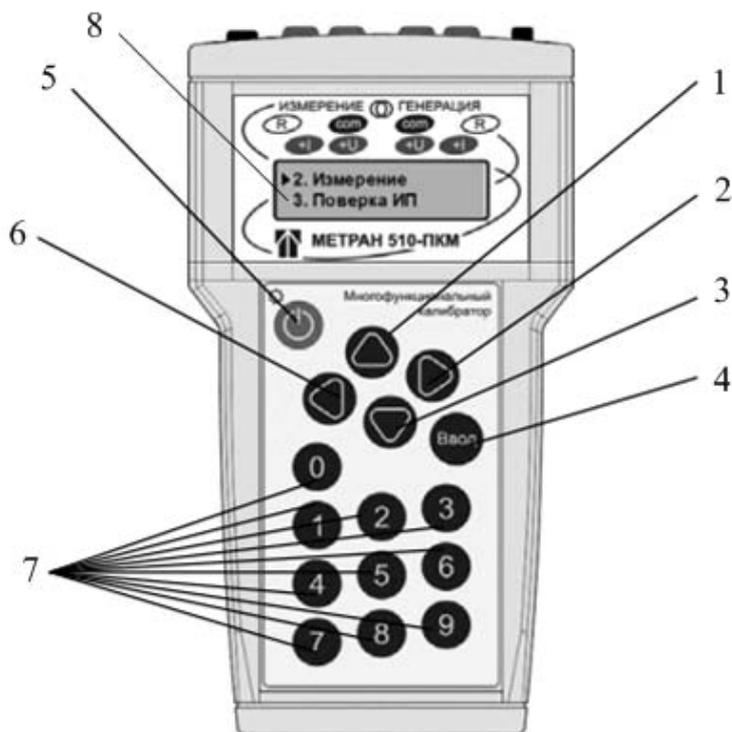


Рис. 3. Вид на лицевую панель калибратора:

1 – кнопка «Вверх»; 2 – кнопка «Вправо»; 3 – кнопка «Влево»; 4 – кнопка «Ввод»; 5 – кнопка включения/выключения питания; 6 – кнопка «Влево»; 7 – цифровые кнопки; 8 – дисплей

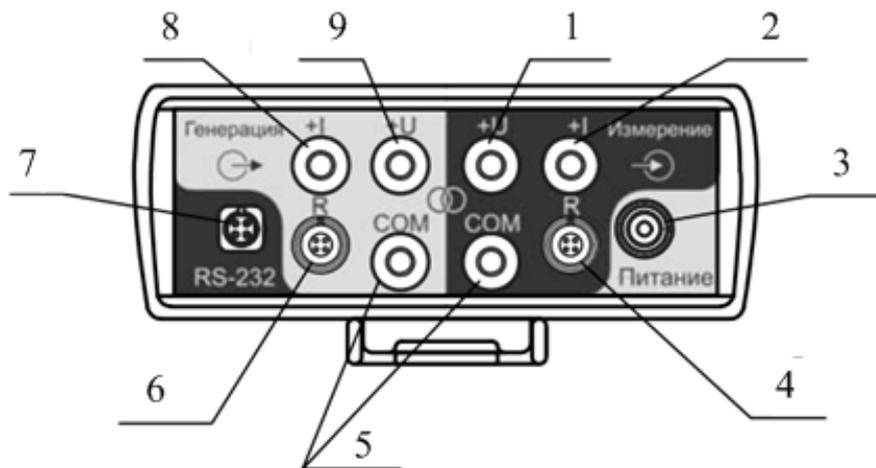


Рис. 4. Вид на верхнюю панель калибратора:

1 – вход кабеля U; 2 – вход кабеля I; 3 – разъем для подключения кабеля блока питания; 4 – вход кабеля R или термозонда; 5 – общий разъем (-) для U/I; 6 – выход кабеля R или термозонда; 7 – разъем подключения кабеля RS 232; 8 – выход кабеля I; 9 – выход кабеля U

### Порядок выполнения работы

1. С помощью пирометрического милливольтметра установить температуру в печи  $t_1$ , соответствующую индивидуальному варианту (см. табл. 1.2).
2. После того, как печь нагреется до нужной температуры (питание печи отключится, показания амперметра б составят 0 А).
3. Подключить с помощью проводников гнездо COM (режим «Измерение») эталонного калибратора к клемме «←» ТЭП 1.
4. Подключить с помощью проводников гнездо U+ (режим «Измерение») эталонного калибратора к клемме «+» ТЭП 1.
5. Включить калибратор, войти в Главное меню (переключение между уровнями меню осуществляется с помощью кнопок 2, 4, 6 (рис. 1.3)).
6. С помощью кнопки 4/6 выполнить команду:  
*Измерение → Измерение напряжения.*
7. Полученное значение занести в протокол поверки (см. Приложение 1) в графу, соответствующую поверяемому ТЭП
8. Отключить проводники от клемм 1, подключить к клеммам 2, измеренное значение ТЭДС занести в протокол поверки в графу, соответствующую эталонному ТЭП.
9. Повторить пп. 3–8 для текущего значения температуры 4 раза, все показания эталонного калибратора занести в протокол поверки.

10. Повторяя пп. 1–9 выполнить измерения для всех заданных в соответствии с индивидуальным вариантом значений температур (см. табл. 1.2).

Таблица 2

*Варианты индивидуальных заданий*

№ варианта	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$
1	100	200	300	400
2	40	80	120	160
3	60	100	140	180
4	80	120	160	200
5	100	150	200	250
6	120	160	200	240
7	140	180	240	260
8	160	200	240	280
9	200	220	240	260
10	250	300	350	400

**Порядок обработки экспериментальных данных**

1. Для каждого значения температуры определить среднее значение ТЭДС (отдельно для поверяемого и эталонного ТЭП) по формуле:

$$E_{cp} = \frac{E_1(t_1) + E_2(t_2) + E_3(t_3) + E_4(t_4)}{4}, \quad (1)$$

где  $E_i$  – ТЭДС, соответствующая температуре  $t_i$ .

2. Определить величину поправки на температуру свободных концов  $E_{попр}$  поверяемого и эталонного ТЭП. Значение величины поправки численно равно значению ТЭДС, соответствующей температуре наружных концов и определяется по таблицам НСХ для каждого ТЭП.
3. Вычислить приведенное значение ТЭДС (отдельно для каждого ТЭП) по формуле:

$$E_{пр} = E_{cp} + E_{попр}, \quad (2)$$

4. По приведенному значению ТЭДС эталонного ТЭП, используя таблицы НСХ для термопары типа  $S$ , определить действительную температуру в печи.
5. Для значений действительной температуры в печи по таблицам НСХ для термопары типа  $L$  определить номинальные значения ТЭДС  $E_1^H$  для поверяемого ТЭП.
6. Определить абсолютную погрешность по формуле:

$$\Delta E = |E_1 - E_1^{НСХ}|. \quad (3)$$

7. Для поверяемого ТЭП определить значение допускаемого отклонения ТЭДС по формуле:

$$\Delta E_0 = \Delta t_0 \cdot S, \quad (4)$$

где  $\Delta t_0$  – допускаемое отклонение от НСХ, определяемое по таблице 1.1;  $S$  – чувствительность преобразователя при измерении температуры  $t_i$ , определяемая соотношением:

$$S = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{E(t_i + dt) - E(t_i - dt)}{(t_i + dt) - (t_i - dt)} = \frac{E(t_i + dt) - E(t_i - dt)}{dt},$$

где величина  $dt$  принимается, как правило, равной  $10^\circ\text{C}$ . Графически чувствительность показана на рис. 5.

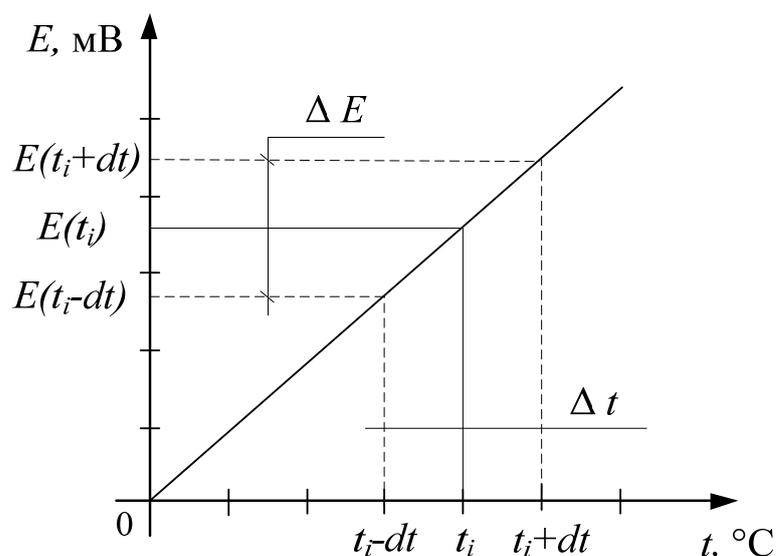


Рис. 5. Определение чувствительности ТЭП

8. Сравнить полученные значения отклонения ТЭДС от НСХ с допускаемым значением отклонения и сделать вывод. Если хотя бы одно значение погрешности превышает допускаемое, термоэлектрический преобразователь не годен для измерений.

### Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы:

- 1) описание принципа работы ТЭП и процедуры его поверки;
- 2) описание лабораторной установки;
- 3) порядок проведения поверки;
- 4) порядок обработки полученных экспериментальных данных;
- 5) ответы на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Какой выходной сигнал имеют термоэлектрические преобразователи?
2. Какие эталонные средства могут использоваться при поверке термоэлектрических преобразователей и почему?
3. Дайте определение чувствительности измерительного преобразователя.
4. Для чего рассчитывается поправка на температуру свободных концов термопары?
5. Что называется номинальной статической характеристикой ТЭП?

## Приложение 1

Протокол (первичной, периодической) поверки № \_\_\_\_\_  
ненужное зачеркнуть

термопреобразователя типа \_\_\_\_\_ от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ Г.

### ЭТАЛОННЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Термопреобразователь			Потенциометр			Установка	Ртутный стеклянный термометр		
Номер	Тип	Разряд	Номер	Тип	Класс	Тип	Номер	Тип	Разряд

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОВЕРКИ

№ эксп.	Операция	Эталонный ТЭП				Поверяемый ТЭП				Погрешность	
		$E_i$	$E_{нопр}$	$E_{прив}$	$t$	$E_i$	$E_{нопр}$	$E_{прив}$	$E_{НСХ}$	$\Delta E$	$\Delta E_{доп}$
		мВ	мВ	мВ	°С	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ	мВ
1	Отсчет										
	Среднее										
2	Отсчет										
	Среднее										
3	Отсчет										
	Среднее										
4	Отсчет										
	Среднее										

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПОВЕРКИ

Тип ТЭП	Номер	Заключение о пригодности ТЭП

Учебное издание

АТРОШЕНКО Юлиана Константиновна  
КРАВЧЕНКО Евгений Владимирович

Подписано к печати 12.11.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.

Заказ . Тираж 5 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)