

5. Воронова Т.С., Пудалов А.Д. Экспериментальные исследования широкодиапазонных пьезо-сорбционных датчиков влажности газов // Вестник Ангарского государственного технического университета. – 2017. – № 11. – С. 119–121.

6. Кожевин А.С., Пудалов А.Д. Модель статической характеристики широкодиапазонных пьезо-сорбционных датчиков влажности для неразрушающего контроля органических растворителей // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. – Ангарск : Издательство АНГТУ, 2017. – С. 103–111.

7. Воронова Т.С., Липнин Ю.А., Мазур В.Г., Пудалов А.Д. Исследование чувствительности широкодиапазонных пьезо-сорбционных влажочувствительных элементов для неразрушающего контроля органических растворителей // Измерительная техника. – 2017. – № 3. С. 65–68.

8. Mazur V.G., Poudalov A.D. Measuring humidity of organic liquids in a wide concentration range of nondestructive testing // 13th international scientifictechnical conference on actual problems of electronic instrument engineering (apeie - 2016) – Novosibirsk, Proceedings: in 12 volumes, Volume 1, Part 1, 2016 – P 263 –266.

**УДК 65.018:378**

*к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*

*e-mail: alexey-kol@narod.ru*

**Григорьева Юлия Евгеньевна,**

*обучающаяся группы АТП-16-1,*

*ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,*

*e-mail: 79041525694@yandex.ru*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛАБОРАТОРНОМ СТЕНДЕ

*Kolmogorov A.G., Grigoreva U.E.*

## EXPERIMENTAL STUDY OF CONTACT TEMPERATURE TRANSDUCERS ON A LABORATORY BENCH

**Аннотация.** Рассмотрено методическое обеспечение для исследования контактных преобразователей температуры на лабораторном стенде.

**Ключевые слова:** лабораторный стенд, температура, методическое обеспечение, контрольно-измерительные приборы, термоэлектрические преобразователи, термометры сопротивления.

**Abstract.** The methodological support for the study of contact temperature transducers on a laboratory bench is considered.

**Keywords:** laboratory stand, temperature, methodological support, control and measuring devices, thermoelectric converters, resistance thermometers.

Измерение и регулирование температуры в производственных процессах является распространенной задачей, как в области научных исследований, так и в инженерной практике. Основными методами измерения температуры в нефтехимической промышленности являются методы, основанные на использовании контактных преобразователей температуры: термометров сопротивления и термоэлектрических преобразователей (термопар).

Для более эффективного освоения ряда специальных дисциплин по направлению

«Автоматизация технологических процессов и производств» (АТП) АНГТУ и приобретения обучающимися необходимых навыков в областях автоматизации технологических процессов, технических измерений, метрологии, разработан учебный лабораторный стенд по измерению и регулированию температуры в тепловом объекте [1]. Стенд позволяет изучить контактные методы измерения температуры, освоить алгоритмы программирования вторичных приборов, нормирующих преобразователей, терморегуляторов, изучить и подобрать спецификацию оборудования для

измерения и регулирования температуры. Опыт применения специализированных лабораторных стендов в обучении студентов показывает, что оборудование может применяться как учебная модель производственного процесса на занятиях для выполнения заданий, направленных на выработку различных производственных умений и навыков; как тренажёр – студенты могут повторять выполнение заданий для закрепления навыков; также применение лабораторного стенда позволяет производить рациональную как количественную, так и качественную оценку результатов обучения конкретным навыкам.

Внешний вид стенда показан на рисунке 1.

Стенд укомплектован преимущественно приборами отечественной фирмы «Овен»,

такими как: блок питания БД14Б-Д4.4-24, универсальный преобразователь интерфейсов НП-КП 20, нормирующий преобразователь НПТ-2.01.1.2, двухпозиционный регулятор температуры ТРМ-502, вторичный прибор измеритель-регулятор ТРМ-148, индикатор токовой петли ИТП-11, пять преобразователей температуры различных градуировок (термопары и термометры сопротивления) и др. [2]. В качестве вспомогательного оборудования используется сенсорная панель оператора Weintek MT1006i, ртутный образцовый термометр ТИН-5-3. В качестве тепловых объектов используются электрический термостат и емкость (2 литра) с холодной водой. Датчики температуры подключаются к стенду при помощи блоков быстросъемных соединений RCA («тюльпан»).



Рисунок 1 – Внешний вид лабораторного стенда

Для программирования нормирующего преобразователя используется ноутбук с установленным специальным программным обеспечением от фирмы «Овен». Стенд обеспечивает электрическое питание датчиков температуры с нормирующим преобразователем напряжением постоянного тока 24 В. Электрическое питание стенда осуществляется от сети однофазного переменного тока напряжением 220 В. Стенд позволяет подключить приборы с суммарной потребляемой мощностью не более 1 кВт.

Для успешного выполнения исследований на лабораторном стенде необходимо

оснащение его методическими указаниями с четкой постановкой целей, задач, порядка и условий проведения работ. К сожалению, разработанный на кафедре АТП стенд не содержит необходимого комплекта методического обеспечения, поэтому проведение на нем лабораторных работ затруднено. В связи с этим в работе ставится цель по разработке методического обеспечения для выполнения лабораторных работ на рассматриваемом стенде.

Проанализировав структуру и состав лабораторного стенда «Измерение и регулирование температуры», установленного на

кафедре АТП, в ходе работы были выявлены его функциональные возможности, изучено и сделано подробное описание установленного технологического оборудования. К настоящему моменту разработано три лабораторные работы по экспериментальному исследованию контактных преобразователей температуры. В методических указаниях к ним содержатся цели и задачи работ, последовательность их выполнения, формы итоговых отчетов. Все лабораторные работы разработаны с учетом правил техники безопасности. Рассмотрим вкратце порядок выполнения каждой из лабораторных работ, ее суть и содержание.

Лабораторная работа № 1 предназначена для определения абсолютной погрешности измерительных каналов температуры при подключении первичных преобразователей к вторичному прибору ТРМ-148. При-

ступая к работе, студент получает от преподавателя вариант, в соответствии с которым определяются типы двух первичных преобразователей температуры, подключение которых должно быть произведено к двум из шести возможных входных каналов ТРМ-148.

После того как обучающийся получил задание, собирается схема подключения преобразователей температуры к прибору ТРМ-148 в соответствии с рисунком 2 (показан вариант подключения термометра сопротивления по 3-х проводной схеме к каналу № 2 через блок быстросъемных соединений). Пунктиром на схеме показаны уже скоммутированные в стенде электрические проводки, расположенные на задней панели стенда. Далее стенд включается в работу переводом автомата питания в положение «ВКЛ».

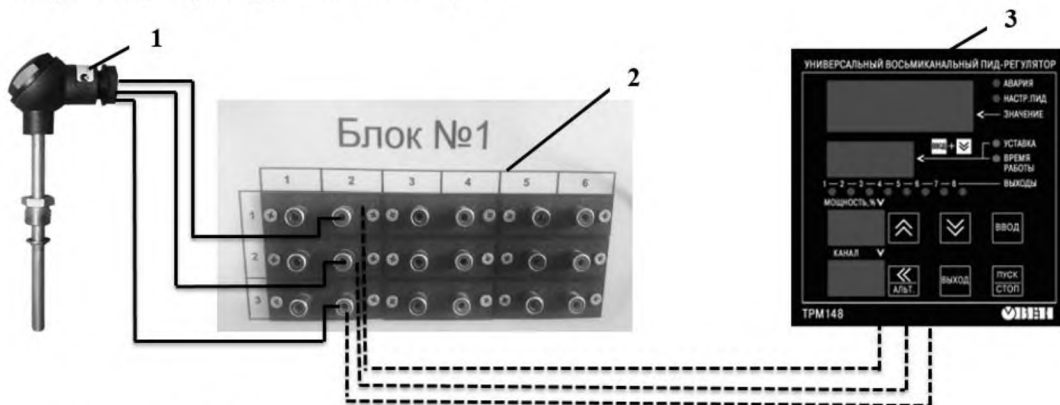


Рисунок 2 – Схема подключения термометра сопротивления к ТРМ 148:  
1 – термометр сопротивления; 2 – блок разъемов RCA; 3 – измеритель-регулятор ТРМ-148

Следующим этапом работы является настройка соответствующих каналов ТРМ-148 на номинальные статические характеристики (НСХ) подключаемых преобразователей температуры. Для этого, используя кнопки «ввод» и «выход» «стрелка вверх» и «стрелка вниз» на лицевой панели ТРМ-148, производится настройка каналов по методике, представленной в руководстве по эксплуатации прибора. Признаком правильной настройки канала является появление на верхнем индикаторе ТРМ-148 текущего значения температуры окружающей среды.

Заключительным этапом работы является расчет допустимой абсолютной погрешности измерительного канала температуры (первичный преобразователь температуры в комплекте с прибором ТРМ-148) и сравнение ее с измеренной абсолютной погрешностью.

В качестве эталонного значения температуры принимаем показания стеклянного ртутного термометра ТИН-5-3, имеющего предел допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 0,1$  °С. Определяем абсолютную погрешность измерения  $\Delta x$  по формуле:

$$\Delta x = T_u - T_o,$$

где  $T_u$  – показания ТРМ-148, °С,

$T_o$  – показания стеклянного ртутного термометра ТИН-5-3, °С.

Далее определяем предел суммарной абсолютной погрешности измерительного канала температуры  $\Delta_c$  (преобразователь в комплекте с ТРМ-148) по формуле:

$$\Delta_c = \sqrt{\Delta_k^2 + \Delta_n^2},$$

где  $\Delta_k$  – предел абсолютной погрешности измерительного канала ТРМ-148, °С,

$\Delta_n$  – предел абсолютной погрешности

преобразователя температуры, °С.

Значение  $\Delta_k$  рассчитывается, исходя из предела основной приведенной погрешности  $\delta$  канала ТРМ-148, указанной в паспорте прибора, в соответствии с выражением:

$$\Delta_k = \frac{\delta (t_k - t_n)}{100},$$

где  $t_k$  и  $t_n$  – соответственно, конечное и начальное значения шкалы ТРМ-148, °С.

Значение  $\Delta_n$  определяется из соответствующего ГОСТ [3, 4].

В завершение работы сравниваются полученные значения абсолютных погрешностей в соответствии с неравенством:

$$|\Delta_x| \leq |\Delta_c|.$$

По результатам сравнения делается вывод: если данное условие выполняется, то исследуемый измерительный канал температуры соответствует метрологическим характеристикам по точности и может быть введен в эксплуатацию на реальном объекте. В противном случае измерительный канал признается не годным к эксплуатации из-за несоответствия метрологических характеристик по точности.

В процессе работы обучающийся проводит на реальном технологическом оборудовании экспериментальные исследования погрешностей различных преобразователей температуры и приобретает практические навыки по: подключению датчиков к прибору ТРМ-148; настройке его измерительных каналов под конкретный вид НСХ преобразователя температуры; расчету абсолютной погрешности измерительного канала температуры в комплекте с ТРМ-148.

Лабораторная работа № 2 предназначена для освоения навыков по подключению нормирующего преобразователя НПП-2 к первичному преобразователю температуры с целью получения унифицированного выходного сигнала 4...20 мА. Чтобы приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен получить от преподавателя вариант, исходя из которого определяется тип первичного преобразователя температуры, нормирование выходного сигнала которого требуется осуществить.

После того, как обучающийся получил задание, собирается схема подключения в соответствии с рисунком 3. Ноутбук подключается к универсальному преобразователю интерфейсов НП-КП-20 посредством интерфейса USB.

Далее стенд включают в работу переводом тумблера автомата питания в положение «ВКЛ». Следующим этапом работы является настройка нормирующего преобразователя НПП-2 под конкретный тип НСХ подключаемого к нему датчика. Эта операция осуществляется путем запуска на ноутбуке программы «Конфигуратор НПП» и выбора из списка доступных НСХ требуемой характеристики. Также в программе настраивается диапазон измерений первичного преобразователя температуры. Настроенные параметры загружаются в НПП-2.

Далее производится настройка соответствующего канала ТРМ-148 на прием унифицированного сигнала 4...20 мА по методике, представленной в руководстве по эксплуатации прибора. Признаком правильной настройки канала является появление на верхнем индикаторе ТРМ-148 примерного текущего значения температуры окружающей среды. Заключительным этапом работы является проверочный расчет величины выходного токового сигнала  $I$  нормирующего преобразователя НПП-2 при измерении температуры окружающей среды по формуле:

$$I = y_n + \frac{16}{x_e - x_n} (T - x_n),$$

где  $y_n$  – нижний предел выходного токового сигнала, равный 4 мА,

$x_e$  – верхний предел диапазона измерения датчика температуры, °С,

$x_n$  – нижний предел диапазона измерения датчика температуры, °С,

$T$  – измеренная температура окружающей среды, °С.

Число 16 является разностью между конечным и начальным значением диапазона изменения токового сигнала 4...20 мА.

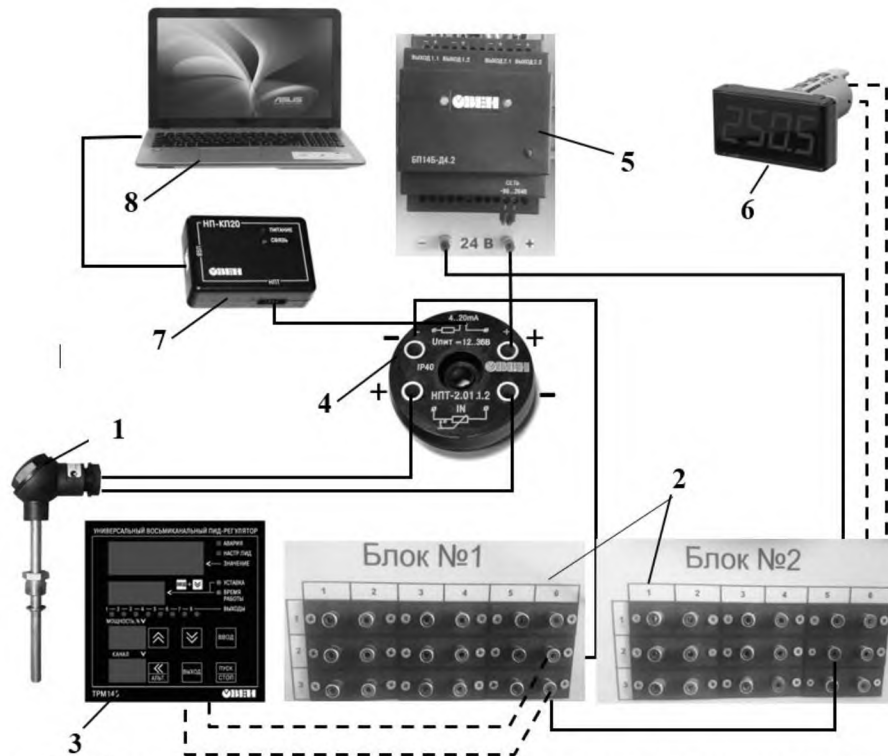


Рисунок 3 – Схема подключения преобразователя температуры к нормирующему преобразователю НПТ-2:

1 – преобразователь температуры; 2 – блок разъемов RCA; 3 – измеритель-регулятор ТРМ-148; 4 – нормирующий преобразователь НПТ-2; 5 – блок питания БД14Б-Д4.4-24; 6 – индикатор токовой петли ИТП-11; 7 – универсальный преобразователь интерфейсов НП-КП20; 8 – ноутбук

Заключительным этапом работы является проверка правильности теоретического определения значения токового выхода  $I$  с инструментально измеренным значением этой величины  $I_u$  при помощи индикатора токовой петли ИТП-11, включенного в измерительную схему. Для этого воспользуемся формулой для вычисления основной приведенной погрешности:

$$\gamma = \frac{I_u - I}{I} 100 \%$$

Если  $\gamma$  не превышает 1 %, то расчет произведен верно.

В ходе работы обучающийся изучает схемы подключения первичных преобразователей температуры к НПТ-2 и прибору ТРМ-148, закрепляет навыки по настройке измерительного канала ТРМ-148 под унифицированный выходной токовый сигнал, занимается программированием НПТ-2 (с использованием ноутбука) под конкретный вид НСХ при помощи программы «Конфигуратор НПТ», и, в конечном итоге, производит расчет величины выходного токового сигнала

НПТ-2 при известном значении температуры на входе нормирующего преобразователя.

В процессе работы обучающийся проводит на реальном технологическом оборудовании экспериментальные исследования по нормированию выходного сигнала различных преобразователей температуры и приобретает практические навыки по: программированию нормирующего преобразователя НПТ-2; подключению и настройке датчиков к прибору ТРМ-148 по интерфейсу токовой петли; теоретическому расчету величины токового выхода преобразователя; определению основной приведенной погрешности данного значения относительно инструментально определяемого.

Лабораторная работа №3 предназначена для получения практических навыков по определению показателя тепловой инерции первичных преобразователей температуры экспериментальным способом.

Под тепловой или термической инерцией преобразователя температуры понимается свойство менять собственную температуру при изменении температуры окружающей среды не мгновенно, а по истечении не-



которого промежутка времени. Согласно [4], показатель тепловой инерции – время, необходимое для того, чтобы при внесении преобразователя температуры в среду с постоянной температурой разность температур среды и любой точки внесенного в нее преобразователя температуры стала равной 0,37 того значения, которое будет в момент наступления регулярного теплового режима. Показатель тепловой инерции определяется по переходному процессу в режиме простого охлаждения преобразователя температуры от 50...100 °С до 15...20 °С.

Приступая к работе, обучающийся получает три преобразователя температуры: ДТС125-100П.В2.100 (термометр сопротивления платиновый с диаметром защитной арматуры 5мм), ДТС045-100П.С3.120 (термометр сопротивления платиновый с диаметром защитной арматуры 10 мм), ДТПЛ045-0100.120 (термопара хромель-копелевая с диаметром защитной арматуры 10 мм). После получения задания, студент собирает схему подключения датчиков температуры к прибору ТРМ-148 в соответствии с рисунком 4. Преобразователи температуры погружаются в термостат для нагрева.

После того, как обучающийся соберет схему, необходимо подключить термостат к розетке, смонтированной на лицевой панели

стенда. Подача напряжения 220 В к розетке осуществляется от двухпозиционного регулятора температуры ТРМ-502, оснащенного ручным задатчиком, с помощью которого устанавливается температура разогрева термостата в диапазоне 50...100 °С. Выставляя любое задание термостату в данном диапазоне, включаем нагрев термостата (время полного прогрева составляет примерно 10...15 мин). Об окончании разогрева свидетельствует загорание зеленого светодиода на лицевой панели ТРМ-502. Пока идет разогрев, осуществляется настройка вторичного прибора ТРМ-148 на требуемые НСХ. Признаком правильной настройки каналов является появление на верхнем индикаторе ТРМ-148 плавно изменяющегося значения температуры в термостате. Помимо этого, на экране сенсорной панели оператора Weintek появляются графики ее изменения во времени, измеренные тремя преобразователями. После того, как термостат разогрет до необходимой температуры, из него поочередно вынимаются датчики и опускаются в предварительно подготовленную емкость с водой температурой 15...20 °С, вследствие чего на панели оператора наблюдается падение температуры. Эксперимент завершается при установлении стационарного температурного режима.

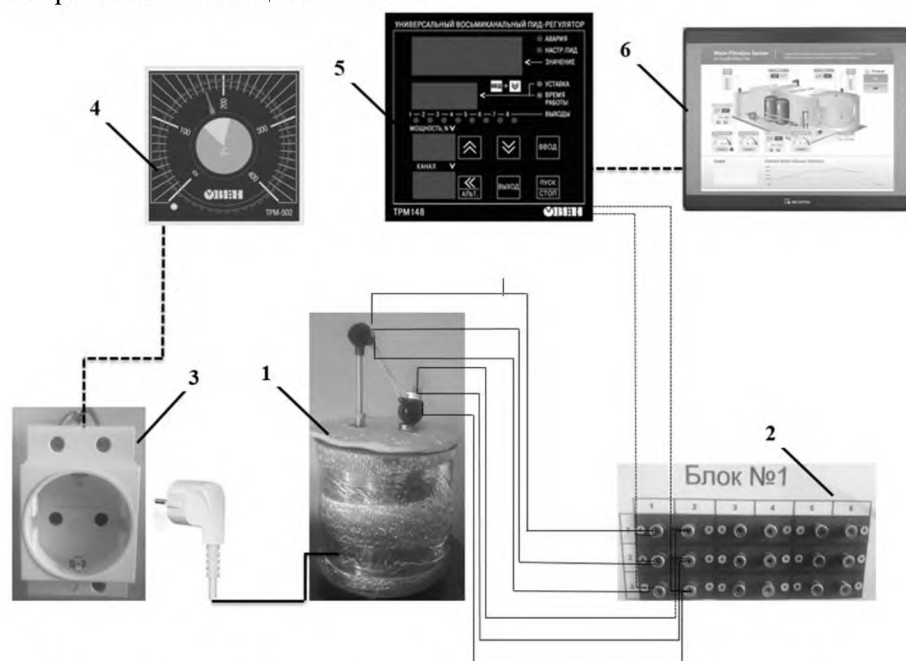


Рисунок 4 – Схема для определения показателя тепловой инерции преобразователей температуры: 1 – термостат с погруженными преобразователями температуры; 2 – блок разъемов RCA; 3 – розетка; 4 – двухпозиционный регулятор температуры ТРМ-502; 5 – измерительный регулятор ТРМ-148; 6 – сенсорная панель оператора Weintek MT1006i

Следующим этапом работы является обработка полученных на экране сенсорной панели оператора графиков динамических переходных характеристик трех преобразователей температуры. Для этого производится фотосъемка графика с последующей его распечаткой и обработкой. На графике определяется перепад температур между нагретым и охлажденным состоянием ( $\Delta T$ ) преобразователя. Затем вычисляется величина  $\Delta T_{37}$  по формуле:

$$\Delta T_{37} = 0,37\Delta T.$$

Значение откладывается вверх от линии, соответствующей температуре 15...20 °С. Расстояние от начала изменения температуры до проекции точки  $\Delta T_{37}$  на ось времени соответствует значению показателя тепловой инерции  $\tau$  (рисунок 5).

В заключение обучающийся делает выводы о инерционности различных преобразователей температуры, сравнивая полученные результаты.

В процессе работы обучающийся ставит эксперименты по снятию динамических переходных характеристик различных преобразователей температуры и получает практические навыки по определению их показателя тепловой инерции.

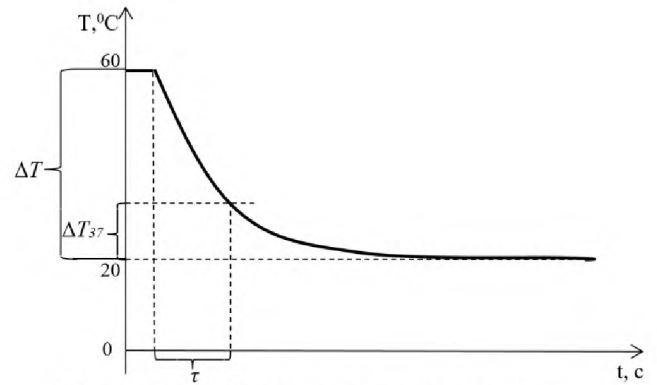


Рисунок 5 – Определение показателя тепловой инерции

Достижение высокого качества подготовки бакалавров и магистров технического профиля трудно представить без использования в процессе обучения реального измерительного оборудования. Применение специализированных лабораторных стендов позволяет использовать его как эффективный инструмент освоения и проверки профессиональных навыков и компетенций обучающихся.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колмогоров А.Г., Чигорьев Я.С., Ткаченко Р.А., Герасимчук М.В. Лабораторный стенд для изучения методов измерения и регулирования температуры // Сб. «Современные технологии и НТП» / Тезисы докладов науч.-технич. конф. [Текст]. – Ангарск: Изд-во АГТА. – 2014. – С.9

2. Контрольно-измерительные приборы «Овен» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.owen.ru>, свободный. –

Загл. с экрана. (дата обращения: 02.11.2018).

3. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний [Текст]. – Введ. 2009-12-15. М.: Стандартинформ, 2011. – 27 с.

4. ГОСТ 6616-94. Преобразователи термоэлектрические. Общие технические условия [Текст]. – Введ. 1999-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1998. – 12 с.