

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
ТЕМПЕРАТУРНОГО ДАТЧИКА
DS18S20**

**Е.Н. Сычёв, К.Н. Маловик,
В.И. Конопля**

Севастопольский национальный
университет ядерной энергии
и промышленности
г. Севастополь, ул. Курчатова, 7
E-mail: sychov-e@rambler.ru

Работа посвящена исследованию динамических характеристик температурного датчика DS18S20 производства фирмы Dallas Semiconductor. В работе предложена и исследована динамическая модель процесса измерения и получены динамические характеристики датчика, указаны ограничения на использование датчиков типа DS18S20.

Введение. В настоящее время американская фирма Dallas Semiconductor (DSC) предлагает большой выбор цифровых температурных датчиков [1]. Эти датчики находят самое широкое применение при создании термосистем различного назначения. Цифровые термодатчики фирмы DSC являются датчиками прямого преобразования температуры в цифровую форму и не требуют дополнительных АЦП. Это позволяет избежать многих проблем, связанных с передачей аналогового сигнала от полупроводникового датчика на вход АЦП.

По заявлению производителем уровню точности цифровые температурные датчики типа DS18S20 вполне удовлетворяют нормам погрешности измерений технологических параметров [2]. В ближайшей перспективе эти датчики могли бы найти самое широкое применение в составе измерительных информационных систем (ИИС) как тепловых, так и атомных электростанций при измерениях в диапазоне относительно невысоких температур, например, температуры охлаждающей воды, конденсата, газов, холодного воздуха [3].

Рассматриваемые температурные датчики являются средством измерительной техники, и поэтому их использование в целях измерений на территории Украины подпадает под действие Закона Украины «О метрологии и метрологической деятельности» [4] и других нормативных документов по метрологии. В целом круг вопросов, связанных с метрологическим обеспечением ИИС и элементов ИИС, достаточно подробно рассматривается в работе [5].

В соответствии с Законом Украины [4] средства измерительной техники (СИТ) могут быть использованы при условии, если они отвечают требованиям относительно точности, установленным для этих средств, в определенных условиях эксплуатации. Выполнение этого условия требует наличия необходимых сведений о метрологических характеристиках (МХ) средств измерений, т.к. принятие решения об использовании или об отказе от использования тех или иных средств измерений в первую очередь определяется их метрологическими характеристиками. В свою очередь перечень нормируемых метрологических характеристик средств измерений является весьма обширным, регламентируется ГОСТ [6] и включает в себя группы статических и динамических характеристик. Как правило, обычная рекламная информация от производителя не содержит всех необходимых и достаточных сведений о динамических характеристиках СИТ, что затрудняет обоснование их выбора для целей измерения в конкретных условиях эксплуатации. В итоге перед потенциальным потребителем СИТ практически неизбежно возникает необходимость проведения дополнительных исследований динамических характеристик этих СИТ. Вышесказанное в полной мере относится к термодатчикам фирмы DSC.

По данным фирмы DSC температурный датчик типа DS18S20 имеет следующие основные параметры [1]:

Таблица 1

Точность (температурный диапазон)	$\pm 0,5^\circ\text{C}$ ($-10^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$)
Максимальный температурный диапазон	$-55^\circ\text{C} \dots +125^\circ\text{C}$
Разрешение	9 разрядов
Диапазон питающего напряжения	3...5,5 В
Ток потребления в активном режиме	1,5 мА
Ток покоя	нулевой
Энергонезависимая память для $T_{\text{выс}}$ и $T_{\text{низк}}$	имеется
Время преобразования (max)	750 мс
Уникальный серийный номер	имеется
Тип корпуса	TO-92

Размер теплочувствительного элемента датчика составляет около $4 \times 3,5 \times 4$ мм.

Информация производителя о метрологических характеристиках датчика DS18S20 является неполной, поскольку фирма производитель, сообщая данные о статических характеристиках термодатчика, ничего не сообщает о его динамических характеристиках. Однако сведения о динамических характеристиках термодатчика могут быть крайне важны, если речь идет об измерениях параметров технологических или природных процессов с малой постоянной времени.

Нами были исследованы динамические характеристики термодатчика. Необходимость такого исследования очевидна по вышеуказанным причинам.

Динамические характеристики СИТ следует разделять по признаку полноты описания свойств на полные и частные [7]. К полным характеристикам относятся: дифференциальное уравнение, переходная характеристика, передаточная функция и др. Для нормирования динамических характеристик средств измерений следует выбирать одну из полных динамических характеристик. Для измерительных преобразователей, которые предназначены для использования при измерениях постоянных величин после окончания переходного процесса или при измерениях постоянных величин, изменяющихся так, что динамическими

погрешностями можно пренебречь, следует нормировать время установления выходного сигнала [7].

Итак, динамические характеристики термодатчика характеризуют его инерционные свойства, которые определяют зависимость выходного сигнала датчика от меняющейся во времени температуры. Инерционные свойства термодатчика могут нормироваться в частности пределом допускаемого времени установления результата измерения t_{yo} . Время установления результата измерения датчика t_y - время, в течение которого происходит процесс выравнивания температур контролируемой среды и теплочувствительного элемента датчика при внезапном ступенчатом изменении температуры объекта измерения.

Рассмотрим модель процесса преобразования изменяющейся во времени температуры контролируемой среды $x(t)$ в выходной цифровой сигнал $z(t)$. Этот процесс является, как минимум, двухступенчатым:

1) температура среды $x(t)$ преобразуется в температуру $y(t)$ теплочувствительного элемента датчика;

2) температура $y(t)$ преобразуется в выходной цифровой сигнал $z(t)$.

Соответствующая структурная схема термодатчика содержит два последовательно соединенных звена, отражающих указанные два этапа измерительного преобразования (рис. 1).

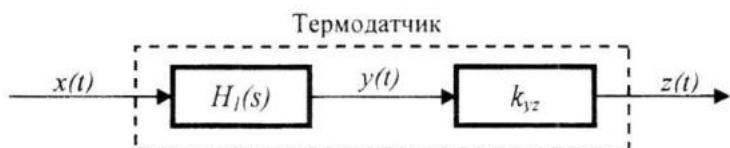


Рис. 1. Структурная схема термодатчика

Здесь $H_1(s)$ – передаточная функция первого звена структурной схемы термодатчика; k_{yz} – коэффициент передачи второго звена.

Второе звено является практически безинерционным (время преобразования не более 750 мс), поэтому достаточно исследовать динамические характеристики первого звена.

В первом приближении моделью первого звена структурной схемы термодатчика будем считать апериодическое звено первого порядка, характеристики которого в общем случае могут быть представлены следующим образом [8]:

дифференциальное уравнение

$$T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t), \quad (i)$$

переходная характеристика $g_1(t)$

$$k(1 - e^{-t/T_1}), \quad (ii)$$

передаточная функция $H_1(s)$

$$\frac{k}{1 + sT_1}, \quad (iii)$$

Здесь T_1 – постоянная времени звена (сек.); k – постоянный коэффициент.

Если время процесса измерения (t) в стационарных условиях значительно превышает постоянную времени термодатчика (T_1), то температура теплочувствительного элемента датчика $y(t)$ становится равной температуре среды $x(t)$, т.е выполняется равенство $y(t > T_1) = x(t > T_1)$, из которого следует, что постоянный коэффициент k в нашем случае будет равен единице. Тогда формулы (i), (ii) и (iii) для принятой схемы термодатчика примут следующий вид:

дифференциальное уравнение

$$T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t), \quad (1)$$

переходная характеристика $g_1(t)$

$$1 - e^{-t/T_1}, \quad (2)$$

передаточная функция $H_1(s)$

$$\frac{1}{1 + sT_1}, \quad (3)$$

Решение дифференциального уравнения (1), соответствующее возбуждению $x(t) \equiv u(t)$, называется откликом $y_u(t)$ на единичный скачок или переходной характеристикой $g_1(t)$ термодатчика. Здесь функция $u(t)$ – функция единично-го положительного скачка:

$$u(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t > 0 \\ 0, & \text{при } t < 0 \end{cases} \quad (4)$$

В пространстве изображений по Лапласу связь между входной $u(t)$ и выходной $y_u(t)$ функциями имеет простой вид:

$$Y_u(s) = U(s) \cdot H_1(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + sT_1} = \frac{1}{s(1 + sT_1)}, \quad (5)$$

где $U(s) = 1/s$ – изображение по Лапласу функции $u(t)$.

Переводя изображение (5) в про странство оригиналов получим:

$$g_1(t) = y_u(t) = 1 - e^{-t/T_1} \quad (6)$$

На рис.2 сплошной кривой показан график идеализированной переходной характеристики $g_1(t)$ термодатчика.

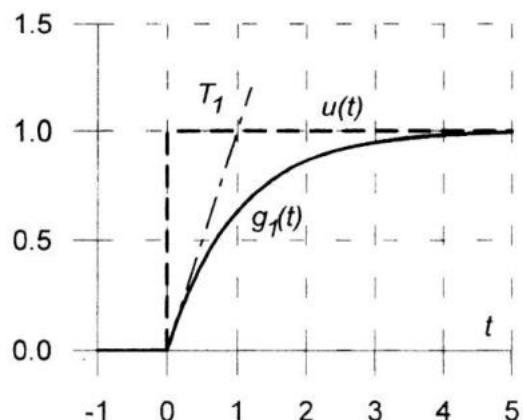


Рис. 2. Идеализированная переходная характеристика термодатчика

График описывает процесс выравнивания температур контролируемой среды и теплочувствительного элемента термодатчика при внезапном ступенчатом изменении температуры объекта измерения (на рис. 2 график изменения температуры объекта измерения показан пунктиром).

Штрих-пунктиром показана касательная, проведенная к графику переходной характеристики в точке $t = 0$. Пересечение этой прямой с установленным значением переходной характеристики $g_{lycm} = 1$ происходит в точке $t = T_1$ (в данном случае $T_1 = 1 \text{ с}$), т.е. процесс выравнивания температур происходит за время, величина которого тем больше, чем больше постоянная времени термодатчика T_1 . Ее снижение достигается уменьшением размеров и массы термодатчика, а также применением специальных теплопроводящих элементов внутри термодатчика, способствующих снижению теплового сопротивления термодатчика.

Рассмотренная модель теплообмена является весьма приближенной, так как она не учитывает многих факторов, в том числе:

- влияния на чувствительный элемент термодатчика других видов теплового воздействия (лучистого и кондуктивного теплообмена, электрического нагрева и пр.);
- влияния параметров потока среды, контактирующей с термодатчиком, на процесс теплообмена и т.д.

В связи с этим график фактической переходной характеристики термодатчика может заметно отличаться от графика, показанного на рис. 2.

На практике при определении полных динамических характеристик предпочтительными являются прямые методы, при которых на вход средства измерений подается испытательный сигнал, позволяющий непосредственно по выходному сигналу определить искомую характеристику. Например, прямой метод нахождения переходной характеристики, включает подачу на вход иссле-

дуемого средства измерений испытательного сигнала, который с достаточной точностью можно считать ступенчатым, регистрацию выходного сигнала, который представляет собой искомую характеристику и нахождение погрешности, с которой получена эта характеристика [7].

Согласно изложенным рекомендациям нами был выполнен ряд экспериментов для исследования характера теплообмена и реальной переходной характеристики термодатчика DS18S20 при ступенчатом изменении температуры объекта измерения. При этом с датчиком выполнялись эксперименты двух видов:

- 1) прямой эксперимент с положительным скачком температуры от 0% до 100% (за счет быстрого перемещения датчика из менее нагретой среды в более нагретую среду);
- 2) обратный эксперимент с отрицательным скачком температуры от 100% до 0% (за счет быстрого перемещения датчика из более нагретой среды в менее нагретую среду).

В качестве горячей и холодной сред использовалась сосуды с водой соответствующей температуры. Сосуды с водой не термостатировались поэтому термическое состояние объектов измерения фактически являлось квазистационарным. Время перемещения датчика из одного сосуда в другой составляло не более 1 сек., т.е. практически одного порядка со временем преобразования датчика (750 мс), поэтому его влияние на характер переходного процесса не учитывалось.

Примеры различных реализаций экспериментальных переходных температурных характеристик датчика, полученных при выполнении прямых и обратных экспериментов, показаны на рис. 3.

Ниже в таблице 2 приведены параметры ряда реализаций экспериментальных переходных температурных характеристик, полученных при выполнении прямых и обратных экспериментов (упорядоченных по возрастанию t_y):

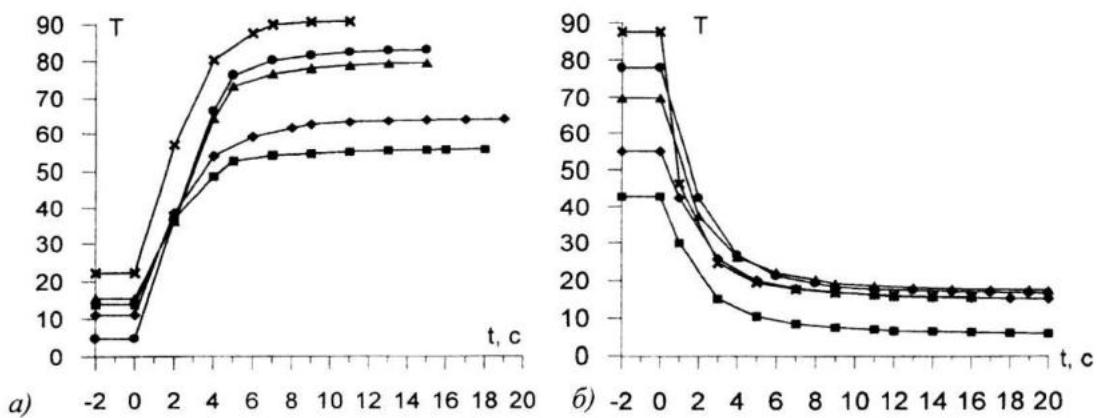


Рис. 3. Примеры реализаций экспериментальных переходных температурных характеристик датчика при положительных (а) и отрицательных (б) скачках температуры

Таблица 2

№	При положительном скачке температуры				При отрицательном скачке температуры			
	$T_{\text{нач}}$, °C	$T_{\text{кон}}$, °C	ΔT , °C	t_y , с	$T_{\text{нач}}$, °C	$T_{\text{кон}}$, °C	ΔT , °C	t_y , с
1.	4,8	66,4	61,6	11	63,1	13,3	-49,8	18
2.	11,6	72,9	61,3	11	26,6	6,4	-20,2	19
3.	5,1	52,8	47,7	13	60,5	13,9	-46,6	19
4.	5,3	35,1	29,8	14	42,9	5,8	-37,1	20
5.	15,1	84,7	69,6	14	50,2	10,7	-39,5	20
6.	4,6	83,1	78,5	15	54,8	14,9	-39,9	20
7.	15,4	79,4	64,0	15	57,2	14,4	-42,8	20
8.	17,2	64,1	46,9	15	63,3	17,7	-45,6	20
9.	5,5	31,1	25,6	17	69,8	17,1	-52,7	20
10.	13,5	57,9	44,4	17	62,1	5,7	-56,4	20
11.	16,2	71,9	55,7	17	77,9	16,3	-61,6	20
12.	13,9	55,6	41,7	18	51,4	6,0	-45,4	21
$t_y \text{ средн} =$				15	$t_y \text{ средн} =$			

Здесь $\Delta T = T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}$, где $T_{\text{нач}}$ и $T_{\text{кон}}$ – начальная и конечная температуры переходных режимов. Следует отметить, что в ходе экспериментов выбор значений начальных и конечных температур ничем строго не регламентировался, а наоборот был специально достаточно вариативным внутри диапазона температур от 0 до 100°C.

При подготовке таблицы соответствующие реализации упорядочивались по величине времени установления t_y , затем данные по некоторым крайним реализациям были исключены. Из таблицы следует, что при отрицательном скачке тем-

пературы время установления выше ($t_y \text{ средн} = 20$ с), чем при положительном скачке температуры ($t_y \text{ средн} = 15$ с). В итоге по результатам экспериментов можно принять, что время установления выходного сигнала датчика типа DS18S20 составляет не менее 20 с.

Для построения графиков экспериментальных и расчетных переходных характеристик термодатчика и определения постоянной времени (T_p) использовались нормализованные по ΔT относительные температуры, рассчитанные для положительного (от 0 до 1) и отрицательного (от 1 до 0) скачков темпе-

туры по выражениям (7) и (8) соответственно:

$$\theta(t) = [T(t) - T_{\text{нач}}] / (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}), \quad (7)$$

$$\theta_-(t) = 1 - \theta(t) = [T_{\text{кон}} - T(t)] / (T_{\text{кон}} - T_{\text{нач}}). \quad (8)$$

Переходная характеристика датчика в случае отрицательного скачка температуры имеет вид:

$$g_{1-}(t) = 1 - g_1(t) = e^{-t/T_1} \quad (9)$$

Графики ряда реализаций экспериментальных (θ, θ_-) и расчетных (при различных значениях T_1) переходных характеристик $g_1(t)$ и $g_{1-}(t)$ датчика при положительном и отрицательном скачках температуры показаны ниже на рис. 4, 5 соответственно.

На основании рис. 4, 5 можно заключить, что вид переходных характеристик датчика для различных экспериментальных температурных реализаций как при положительном, так и при отрицатель-

ном скачках температуры достаточно наглядно подтверждает наше предположение о том, что первое звено структурной модели датчика является апериодическим звеном первого порядка.

Из рис. 4, 5, следует также, что постоянная времени термодатчика T_1 с большой вероятностью находится в диапазоне значений от 2 до 3 с, в среднем равна 2,5 с и ее погрешность по абсолютной величине имеет значение около 0,5 с, что кстати не превышает время преобразования датчика (0,75 с). Полученная в нашем исследовании погрешность постоянной времени (около $\pm 0,5$ с) может быть обусловлена несколькими факторами, в частности, как указывалось выше, это может быть связано с квазистационарными условиями эксперимента и приближенным характером рассмотренной модели теплообмена. Указанные моменты, при необходимости, могут стать предметом дальнейших исследований.

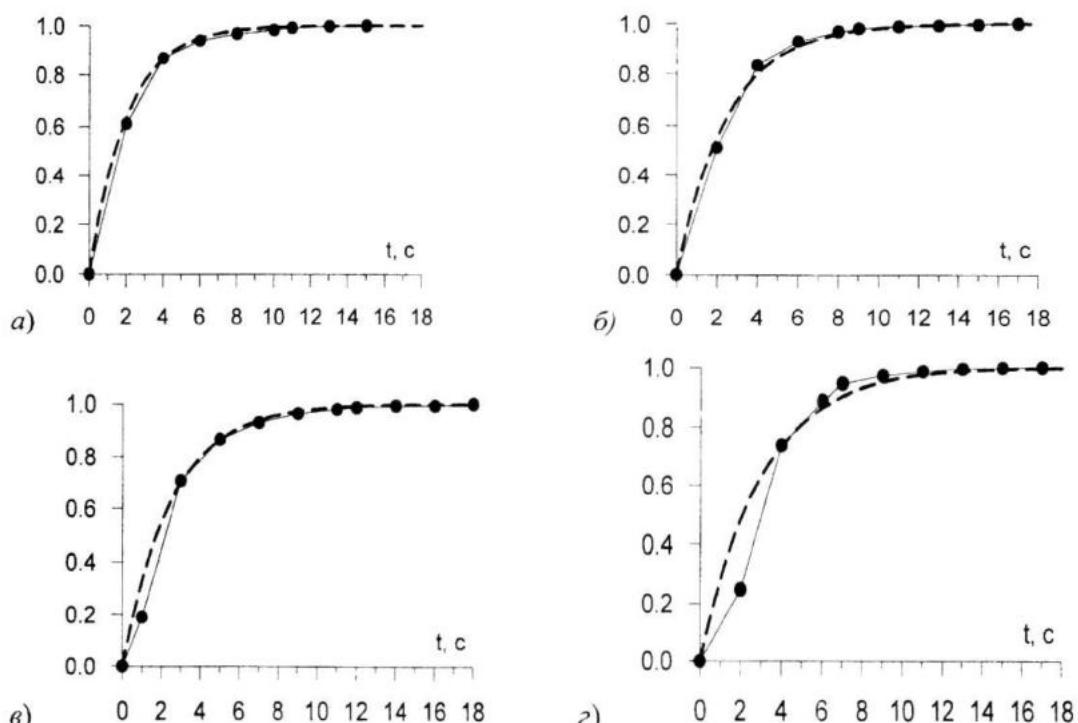


Рис. 4. Графики реализаций экспериментальных (θ - сплошные кружки) и расчетных (g_1 - пунктир) переходных характеристик датчика при положительном скачке температуры.
Значения T_1 в g_1 составляют: для а) - 2,0 с; для б), в) - 2,5 с; для с) - 3,0 с

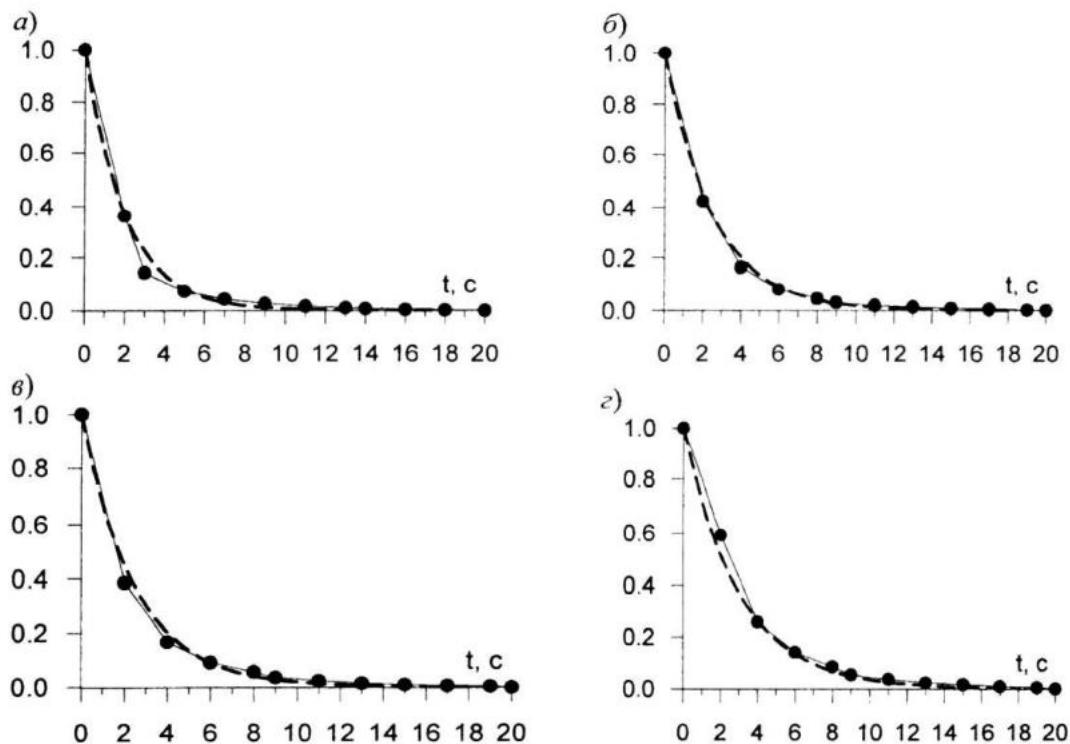


Рис. 5. Графики реализаций экспериментальных (θ - сплошные кружки) и расчетных (g_1 - пунктир) переходных характеристик датчика при отрицательном скачке температуры.
Значения T_1 в g_1 составляют: для а) – 2,0 с; для б), в) – 2,5 с; для г) – 3,0 с

Заключение. Датчик DS18S20 по своим свойствам является инерционным апериодическим звеном первого порядка с присущими такому звену динамическими характеристиками.

Значение постоянной времени (T_1) датчика составляет порядка $2,5 \text{ с} \pm 0,5 \text{ с}$.

Время установления результата измерения (t_u) датчика составляет не менее 20 с, что делает затруднительным, или даже невозможным, его использование для измерений параметров высокоскоростных динамических процессов.

Результаты исследования могут быть распространены на другие типы температурных датчиков (например: DS18B20, DS1822) производства фирмы Dallas Semiconductor, тип корпуса которых совпадает с типом корпуса датчика DS18S20.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шитиков А. Цифровые датчики фирмы от Dallas Semiconductor. «Компоненты и технологии», №2, 2001. / Электронный ресурс. Адрес в Интернете:http://kit-e.ru/articles/sensor/2001_02_48.php
- РД 34.11.321. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций.
- РД 34.11.308. Методика выполнения измерений температуры холодного воздуха в энергетических котлах.
- Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 15.06.04 – № 1765/04.
- Конопля В.И., Сычев Е.Н. Метрологическое обеспечение измерительных информационных систем. Севастополь: СНУЯЭиП, 2010. – 180 с.
- ГОСТ 8.009 – 84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
- ГОСТ 8.256 – 77. ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерений.
- ГОСТ 8.508 – 84. ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП.