

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»
(СПбГУТ)

ИНСТИТУТ НЕПРЕРЫВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Отчет по лабораторной работе №1

Дисциплина: Технические средства автоматизации

Исследование технических средств измерения и преобразования параметров технологического процесса в АСУ ТП.

Фамилия: Пятаков
Имя: Сергей
Отчество: Игоревич
№ зачетной книжки: 1910462
Группа №: ПБ-92з

Проверил:

Санкт-Петербург
2022

Цель лабораторной работы: изучение принципов преобразования технологических параметров датчиками и нормирующими преобразователями в унифицированные электрические сигналы АСУ ТП.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения, необходимые для выполнения лабораторной работы.
2. Разработать техническое предложение по выбору и обоснованию технических средств измерения температуры технологического процесса и преобразования в унифицированный сигнал АСУ ТП согласно индивидуальному заданию (таблица 4).
3. Составить отчет по проделанной работе, включить результаты расчетов и обоснование выбора технических средств измерения и преобразования.

Теоретические сведения

Аналоговые сигналы традиционно используются для передачи информации от аналоговых датчиков к преобразователям и регистрирующим устройствам систем контроля и управления.

Назначение аналоговых датчиков заключается в преобразовании физической величины (электрической или неэлектрической) в электрический сигнал, который может быть далее усилен, преобразован при помощи унифицирующих (нормирующих) преобразователей и/или передан по линии передачи.

Для измерения неэлектрических физических величин применяются различные чувствительные элементы, принцип работы которых основан на использовании известных физических явлений. Устройства, предназначенные для преобразования величин неэлектрического характера в электрический сигнал, называются измерительными преобразователями.

В технической литературе, часто, понятия датчик (pick up) и измерительный преобразователь (sensor) между собой не разделяют, и измерительные преобразователи называют просто датчиками. Хотя с функциональной точки зрения понятия измерительного преобразователя и датчика совпадают, но в конструкторской практике под датчиком следует понимать первичный измерительный преобразователь, заключенный в корпус и снабженный устройствами для его установки и фиксации на объекте, а также кабелем для передачи сигнала и соответствующими разъемами.

Информация, полученная от аналоговых датчиков и используемая для целей автоматизации, как правило, вырабатывается в виде тех или иных электрических величин в аналоговой форме, т.е. она может принимать любые значения во всем диапазоне изменения.

Все виды информации в подсистемах контроля и управления АСУ ТП передаются посредством унифицированных электрических сигналов.

Под унифицированным сигналом понимают изменяющуюся в нормированных пределах несущую величину (физическую величину, используемую для передачи информации), параметры которой определяются содержанием передаваемой информации.

В настоящее время в АСУ ТП наиболее широко применяются унифицированные аналоговые сигналы тока и напряжения.

Классификация унифицированных электрических сигналов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Унифицированные электрические сигналы

Виды сигналов Характеристики	Аналоговые						Дискретные	
	Непрерывные			Импульсные			Двоичные	Цифровые
Несущая величина	Постоянный ток	Постоянное Напряжение	Переменное Напряжение	Ток, напряжение			Ток, напряжение	Ток, напряжение
Способ модуляции	По амплитуде		По частоте	ЛИМ	ШИМ	ФИМ	Дискретный сигнал с двумя логическими уровнями	Кодовая
Количественные характеристики, форма сигнала	0 - 5 0 - 20 4 - 20 мА	0 - 1 0 - 10 0 - 100 мВ 0 - 1 0 - 10 В	0 - 100 0 - 200 1000 - 2500 Гц				0; 5 0; 10 0; 20 мА 0; 5 0; 10 0; 24 В	Соответствует типу используемого интерфейса

Устройства, выполняющие преобразования измеряемых физических величин в унифицированные сигналы, называются унифицирующими (нормирующими) преобразователями.

В системах управления унифицирующие преобразователи выступают связующим звеном между чувствительными элементами датчиков и устройствами обработки информации.

Различают унифицирующие преобразователи классического (аналогового) типа и унифицирующие преобразователи на базе микропроцессорных контроллеров.

Классический унифицирующий преобразователь преобразует измеряемую величину в унифицированный токовый сигнал или унифицированный сигнал напряжения.

Аналоговые преобразования электрических сигналов основываются, как правило, на использовании типовых аналоговых узлов на операционных усилителях. Для преобразований электрических физических величин наиболее широкое применение получили типовые узлы на основе операционных усилителей. Операционные усилители (ОУ) являются основными элементами подавляющего большинства узлов преобразования аналоговых электрических

сигналов. Высокий коэффициент передачи ОУ (105 и более) позволяет с помощью функциональных обратных связей строить различные узлы статических и динамических преобразований аналоговых электрических сигналов.

Большинство современных датчиков, базирующихся на разнообразных физических явлениях (емкостные, индуктивные, ультразвуковые, оптические и т. д.), как правило, поставляются со встроенными нормирующими преобразователями.

Следует отметить, что современный рынок предлагает готовые технические решения измерительных систем (ИС), входящих в состав программно-технических комплексов (ПТК) или имеющих самостоятельное применение, для получения данных о состоянии технологического объекта управления. Вместе с тем, знание принципов преобразования технологических параметров датчиками и нормирующими преобразователями в унифицированные электрические сигналы необходимы специалистам в области проектирования и эксплуатации различных АСУ ТП.

При проектировании АСУ ТП все технические решения по автоматизации технологического процесса отображаются на функциональной схеме автоматизации.

Различают информационные и управляющие функции АСУТП.

К информационным функциям относятся такие функции АСУТП, выполнение которых предоставляет оператору информацию о состоянии технологического процесса.

В качестве основной информационной функции следует принять функцию контроля (измерения) технологических параметров.

Функциональную структуру контроля (измерения) технологических параметров можно представить в следующем виде (рис.1).

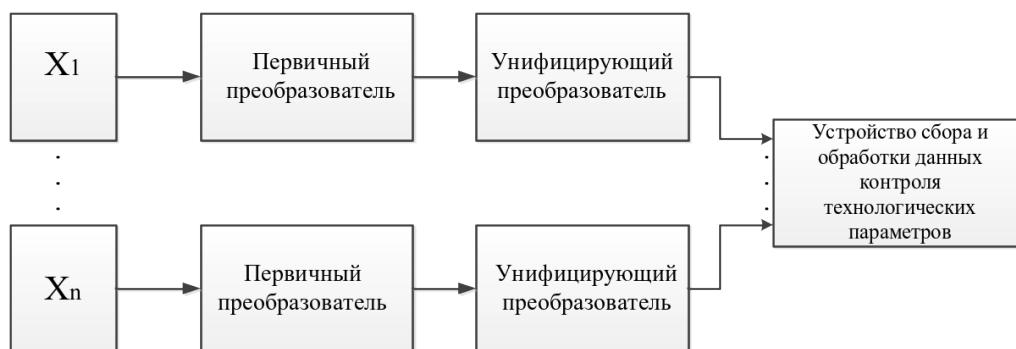


Рис.1 Функциональная структура контроля технологических параметров

На структуре множество технологических параметров $\{X_1, \dots, X_n\}$, их характер, диапазон и скорость изменения являются исходными данными, определяющими назначение подсистемы сбора данных о состоянии технологического процесса (объекта управления) и требования к ее технической реализации. Любая функциональная структура может иметь множество вариантов технической реализации с использованием технических средств измерения и преобразования (датчиков, преобразователей).

Расчет (Выбор) параметров датчиков и нормирующих преобразователей

В качестве исходных данных, для расчета (выбора) датчиков и нормирующих преобразователей, примем следующие параметры:

- технологический процесс выполняется в неагрессивной среде;
- распределенный контроль температурных параметров необходимо выполнять внешними однотипными датчиками;
- рабочий диапазон изменения температуры в точках контроля $T_{\text{ТП}} = (T_{\text{макс}} - T_{\text{мин}})$ составляет $(0 - 500) \text{ } ^\circ\text{C}$;
- $\Delta_{\text{макс.доп}} = \pm 4,0 \%$ - предельная допустимая относительная погрешность измерения.

- датчик температуры (термопара) типа L класс 2.

Проектируемая подсистема сбора данных о температурных параметрах распределенного технологического процесса должна обеспечить сбор, с заданной точностью, информации от однотипных датчиков о значениях температуры в точках контроля, преобразование этой информации в унифицированный электрический сигнал.

Для технической реализации подсистемы требуется рассчитать (выбрать) следующие основные параметры датчиков и нормирующих (унифицирующих) преобразователей:

- $L_{\text{д}} = L_{\text{д.макс}} - L_{\text{д.мин}}$ – рабочий диапазон изменения выходного сигнала датчика температуры;
- $\Delta_{\text{макс.д}}$ – предельное значение погрешности датчика температуры;
- $K_{\text{нп}}$ – коэффициент преобразования нормирующего преобразователя;
- $L_{\text{нп}} = L_{\text{нп.макс}} - L_{\text{нп.мин}}$ – рабочий диапазон изменения выходного унифицированного сигнала нормирующего преобразователя;
- $\Delta_{\text{макс.нр}}$ – предельные значения погрешности нормирующего преобразователя;
- выполнить сравнение суммарной погрешности измерения с установленными требованиями.

Выполнени работы

Для решения поставленной задачи техническую реализацию подсистемы предлагается выполнить на основе промышленных датчиков температуры и нормирующих преобразователей, выпускаемых ведущими производителями приборов и средств автоматизации.

1. Выбор датчика температуры.

В качестве датчиков температуры возможно использование двух типов датчиков: термосопротивлений (ТС) и термопар (ТП).

Термосопротивление относится к параметрическому типу преобразователей (электрическое сопротивление ТС зависит от температуры).

Термопара относится к генераторным типам датчиков (значение термо-ЭДС (тэдс) на выходе ТП определяется разностью температур между двумя соединениями (спаями) и материалами, из которых изготовлены термопары).

Принимая во внимание исходные данные технологического процесса и условия производственной среды, предлагается использовать термопары (термопреобразователи) типа ТХА, ТХК, ТЖК, ТНН.

В наибольшей степени исходным данным удовлетворяет термопара ТХК -0292 (хромель-копелевый термопреобразователь).



Рис.2 Термопара ТХК-0292

Приведем основные характеристики термопары ТХК-0292.

Измеряемые среды

Чистый воздух и инертные газы, за исключением серосодержащих и агрессивных веществ, вступающих во взаимодействие с материалом чувствительного элемента.

Диапазон измерения: -40...+600С (t ном.= +450С)

Класс допуска чувствительного элемента: 2 (по ГОСТ 6616)

Устойчивость к внешним воздействиям:

По устойчивости к температуре и относительной влажности окружающего воздуха: По устойчивости к механическим воздействиям: выборочное группа N2 по ГОСТ 12997. В4 по ГОСТ 12997 (для обыкновенного и экспортного исполнения), Т3 по ГОСТ 15150 (для тропического исполнения)

Номинальная статическая характеристика (НСХ):

ТХК-L (по ГОСТ Р 8.585).

Основная погрешность измерения:

для L $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$, от -40 до 300°C ; $\pm 0.0075 t (*)$, от 300 до 600°C . t (*) - значение измеряемой температуры.

1.1 Определение абсолютной погрешности термо-ЭДС (тэдс) термопары ТХК-0292.

Абсолютную погрешность тэдс ΔE можно определить по формуле:

$$\Delta E = i \frac{dE}{dt} \Delta t = \frac{\Delta E}{\Delta T} \Delta t, \quad (1)$$

где $\frac{dE}{dt}$ - чувствительность термопары, рассчитанная для измеряемого диапазона температур Δt . Для упрощения расчетов дифференциалы dE и dt заменены приращениями тэдс ΔE и температуры ΔT , соответственно.

Поскольку номинальная статическая характеристика (НСХ) термопар типа ТХА не является абсолютно линейной, расчёт абсолютной погрешности выполним в определённых точках НСХ. Для этого разобьём диапазон изменения температуры на несколько поддиапазонов в[°]С (например, 10), полагая в каждом поддиапазоне статическую характеристику линейной:

0 – 50;	250 – 300.
50 – 100;	300 – 350.
100 – 150;	350 – 400.
150 – 200;	400 – 450.
200 – 250;	450 – 500.

Выполним расчет абсолютной погрешности на границах поддиапазонов по формуле (1), используя данные тэдс НСХ в ГОСТ Р 8.585-2001 для ТХК-Л:

$$\Delta E_0 = \Delta t \frac{\Delta E_1 - \Delta E_{-1}}{\Delta T} = 2,5 \frac{0,063 - (-0,063)}{2} = 0,1575 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{50} = \Delta t \frac{\Delta E_{51} - \Delta E_{49}}{\Delta T} = 2,5 \frac{3,375 - 3,238}{2} = 0,1713 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{100} = \Delta t \frac{\Delta E_{101} - \Delta E_{99}}{\Delta T} = 2,5 \frac{6,935 - 6,788}{2} = 0,1838 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{150} = \Delta t \frac{\Delta E_{151} - \Delta E_{149}}{\Delta T} = 2,5 \frac{10,701 - 10,547}{2} = 0,1925 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{200} = \Delta t \frac{\Delta E_{201} - \Delta E_{199}}{\Delta T} = 2,5 \frac{14,641 - 14,480}{2} = 0,2013 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{250} = \Delta t \frac{\Delta E_{251} - \Delta E_{249}}{\Delta T} = 2,5 \frac{18,725 - 18,559}{2} = 0,2075 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{300} = \Delta t \frac{\Delta E_{301} - \Delta E_{299}}{\Delta T} = 2,5 \frac{22,928 - 22,758}{2} = 0,2125 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{350} = \Delta t \frac{\Delta E_{351} - \Delta E_{349}}{\Delta T} = 0,0075 * 350 \frac{27,222 - 27,048}{2} = 0,2284 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{400} = \Delta t \frac{\Delta E_{401} - \Delta E_{399}}{\Delta T} = 0,0075 * 400 \frac{31,580 - 31,404}{2} = 0,264 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{450} = \Delta t \frac{\Delta E_{451} - \Delta E_{449}}{\Delta T} = 0,0075 * 450 \frac{35,976 - 35,799}{2} = 0,2987 \text{ мВ};$$

$$\Delta E_{500} = \Delta t \frac{\Delta E_{501} - \Delta E_{499}}{\Delta T} = 0,0075 * 500 \frac{40,387 - 40,211}{2} = 0,33 \text{ мВ}.$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2- Зависимость абсолютной погрешности ТХК-0292 от температуры.

№ п.п	T, °C	E, мВ	ΔE, мВ	№ п.п	T, °C	E, мВ	ΔE, мВ
1	-1	-0,063	0,1575	7	299	22,758	0,2125
	0	0			300	22,843	
	1	0,063			301	22,928	
2	49	3,238	0,1713	8	349	27,048	0,2284
	50	3,306			350	27,135	
	51	3,375			351	27,222	
3	99	6,788	0,1838	9	399	31,404	0,264
	100	6,862			400	31,492	
	101	6,935			401	31,580	
4	149	10,547	0,1925	10	449	35,799	0,2987
	150	10,624			450	35,888	
	151	10,701			451	35,976	
5	199	14,480	0,2013	11	499	40,211	0,33
	200	14,560			500	40,299	
	201	14,641			501	40,387	
6	249	18,559	0,2075	-	-	-	-
	250	18,642					

	251	18,725					
--	-----	--------	--	--	--	--	--

По результатам расчета абсолютная погрешность ТХК-0292 имеет место при температуре 500 °С.

По данным расчета представим график НСХ термопары ТХК-0292 для диапазона измерения температуры технологического процесса (рис.3).

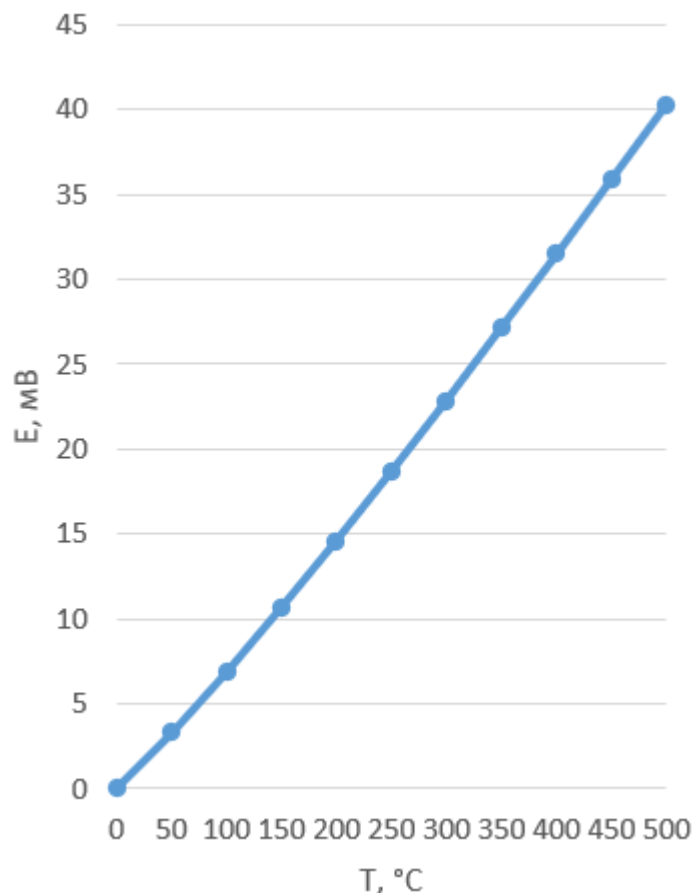


Рис.3 График НСХ термопары ТХК-0292

Согласно заданию требуется определить максимальную относительную погрешность измерения и преобразования температуры термопарой ТХК-0292.

Максимальную относительную погрешность определим по формуле (2)

$$\Delta_{\text{макс.д}} = ([\Delta E]_{\text{макс}} / E_{\text{макс}}) \cdot 100; \quad (2)$$

$$\Delta_{\text{макс.д}} = ([\Delta E]_{500} / E_{500}) \cdot 100 = 0,33 / 40,299 \cdot 100 = \mathbf{0,82\%}$$

2. Выбор нормирующего преобразователя

Нормирующие преобразователи температуры предназначены для преобразования сигнала датчиков термосопротивления или термоЭДС термопар в стандартный выходной токовый сигнал 0...5, 0...20 или 4...20 мА.

Необходимость применения нормирующих преобразователей связана с тем, что в некоторых случаях измеренное значение температуры требуется передать на устройства регистрации и управления. Сделать это, имея выходной сигнал термоЭДС и, особенно, термосопротивления весьма проблематично.

Диапазон рабочих температур нормирующего преобразователя не имеет ничего общего с диапазоном измерения (преобразования) температур, или, иначе говоря, шкалой нормирующего преобразователя.

Довольно широко распространены нормирующие преобразователи щитового монтажа и для монтажа на DIN рейку. Как правило, они требуют подачи напряжения питания 24В постоянного тока или 220В переменного тока.

В рамках поставленной задачи целесообразно выбирать нормирующие преобразователи, обеспечивающие совместную работу с термопарами соответствующего типа и диапазоном измерения.

Предлагается выбрать для применения НПТ-1 нормирующий преобразователь производства ГК «Теплоприбор» (г. Москва).



Рис.4 Нормирующий преобразователь НПТ-1.

НПТ-1 нормирующий преобразователь предназначен для преобразования значения температуры измеренной при помощи термопары или термосопротивления, в унифицированный сигнал постоянного тока 0—20; 4—20мА. Может использоваться во вторичных приборах систем автоматического контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях промышленности, в том числе подконтрольных Ростехнадзору, а также в коммунальном хозяйстве, диспетчеризации, телемеханических информационно-измерительных комплексах и т.д.

Основные характеристики НПТ-1

Наименование	Значение
Номинальное значение напряжения питания (постоянного тока)	24 В

Диапазон допустимых напряжений питания (постоянного тока)	12 – 36 В
Потребляемый ток, не более:	
– для рабочего режима	35 мА
– для режима конфигурирования (питание осуществляется от USB-Host)	50 мА
Номинальный диапазон	0 – 20 мА, 4 – 20 мА
Функция преобразования входных сигналов	монотонно возрастающая или убывающая
Нелинейность преобразования, не хуже	±0,1%

2.1 Выбираем, в качестве номинального диапазона выходного тока нормирующего преобразователя, унифицированный сигнал 0 – 20 мА., поскольку особых требований к передаче унифицированного сигнала по каналам связи в исходных данных не определено.

2.2 Определяем коэффициент преобразования (передачи) нормирующего аналогового преобразователя «напряжение - ток» $K_{нп}$ при известной максимальной термо-ЭДС термопары в измеряемом диапазоне температуры и выходном максимальном значении тока унифицированного сигнала (0 – 20 мА), по формуле (3):

$$i_{\max} = \frac{E_{\max}}{R_{вн}}, \quad (3)$$

где $K_{нп} = \frac{1}{R_{вн}} = \frac{i_{\max}}{E_{\max}} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{40,299 \cdot 10^{-3}} = 0,496 \frac{1}{\text{Ом}}$.

2.3 Определим максимальное и минимальное значения выходного сигнала тока нормирующего аналогового преобразователя, соответствующие верхнему и нижнему пределам измерения температуры:

$$L_{\max. нп} = E_{500} \cdot K_{нп} = 40,299 \cdot 0,496 = 19,988 \text{ мА};$$

$$L_{\min. нп} = E_0 \cdot K_{нп} = 0 \cdot 0,496 = 0 \text{ мА}.$$

2.4 Основная погрешность нормирующего преобразователя НПТ-1 составляет $\pm 0,1 \%$.

3. Расчет суммарной погрешности измерения температуры

Для выбранного измерительного преобразователя (термопара ТХК-0292 + нормирующий преобразователь НПТ-1) рассчитаем дисперсию суммарной относительной погрешности измерения температуры по формуле:

$$D_{\Sigma} = D_{\delta} + D_{нн}, \quad (4)$$

где $D_{\delta}, D_{нн}$ - дисперсии предельных погрешностей датчика и нормирующего преобразователя.

Дисперсии предельных значений погрешностей датчика и нормирующего преобразователя рассчитаем по правилу «трех сигм» (значения Δ_{\max} указываются в о.е.):

$$D = \frac{\Delta_{\max}^2}{3} \quad (5)$$

$$D_{\delta} = \frac{\Delta_{\max}^2}{3} = \frac{7,47^2}{3} = 18,11 \cdot 10^{-6}$$

$$D_{нн} = \frac{\Delta_{\max}^2}{3} = \frac{0,11^2}{3} = 0,04 \cdot 10^{-6}$$

Суммарная дисперсия относительной погрешности измерения температуры составит

$$D_{\Sigma} = D_{\delta} + D_{нн} = 18,11 \cdot 10^{-6} + 0,04 \cdot 10^{-6} = 18,15 \cdot 10^{-6}$$

Для проверки выполнения заданного требования по предельной погрешности измерения температуры ($\Delta_{\max, \text{доп}} = \pm 4,0 \%$) определим значение дисперсии допустимой относительной погрешности по формуле (5):

$$D_{\text{доп}} = \frac{\Delta_{\max, \text{доп}}^2}{3} = \frac{4,0^2}{3} = 5,33 \cdot 10^{-3}$$

Сравнение значения суммарной дисперсии относительной погрешности измерения температуры выбранным измерительным преобразователем со значением дисперсии допустимой относительной погрешности позволяет считать требования выполненными

$$D_{\Sigma} = 18,15 \cdot 10^{-6} < D_{\text{доп}} = 5,33 \cdot 10^{-3}$$

Результаты расчета (выбора) параметров измерительного преобразователя приведены в таблице 3

Таблица 3

Параметр	Диапазон термо-ЭДС (мВ) ТХК-0292	D_o	$K_{ин}$	Выходной сигнал (мА) НПТ-1	$D_{ин}$	D_{Σ}
Значение	0 – 40,299	$5,92 \cdot 10^{-6}$	0,496	0 -20	$0,11 \cdot 10^{-6}$	$7,58 \cdot 10^{-6}$

Контрольные вопросы

1. Статическая характеристика.
Статическая характеристика – зависимость выходной величины объекта y , т.е. величины, характеризующей объект управления, от величины подаваемого на его вход воздействия x , при условии, что подаваемое воздействие постоянно, т.е. $x = \text{const}$
2. Динамическая характеристика.
Динамические характеристики – это зависимости между мгновенными значениями напряжений и токов в цепях нагруженного УЭ, т.е. при наличии в его цепях внешних сопротивлений.
Динамические характеристики отличаются от статических, поскольку последние снимаются без внешних сопротивлений (статические характеристики приводятся в справочниках).
3. Диапазон изменения входного сигнала.
Такой параметр, как диапазон входного сигнала аналого-цифрового преобразователя может вызвать некоторую путаницу. Его не следует смешивать со способами конфигурирования входа АЦП (несимметричный, дифференциальный или псевдо-дифференциальный). Диапазон входного сигнала определяется величиной опорного напряжения преобразователя.
4. Погрешность измерения преобразователя.
Погрешность измерения – отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. На практике всегда имеют дело с оценкой погрешности измерения с некоторой доверительной вероятностью, т.к. истинное значение величины определить невозможно.
5. Измерительные преобразователи.
Измерительными преобразователями называют средства измерений, предназначенные для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не доступной непосредственному восприятию наблюдателем.
6. Нормирующие преобразователи.
С целью первоочередной обработки сигнала с выхода первичного преобразователя, такого как термометр сопротивления,

термоэлектрический термометр или измерительный прибор, выдающий сигнал переменного тока (как например манометр), - применяют **нормирующий преобразователь**. Его называют также измерительным или промежуточным преобразователем.

Нормирующий преобразователь позволяет получить удобоваримый сигнал постоянного тока из имеющегося первичного сигнала.

7. Унифицированные электрические сигналы.

Унифицированный сигнал – пропорциональное значению ФВ значение определенного вида (ток, напряжение) выходного сигнала преобразователя, в определенном диапазоне его возможных изменений (например: ток в диапазоне 4-20мА, напряжение в диапазоне $\pm 5\text{В}$ или 0-10В).

Формат выходного сигнала – набор его характеристик: напряжение, ток или заряд, значение, амплитуда, частота, фаза или цифровой код.

8. Достоинства и недостатки применения унифицированных аналоговых сигналов тока и напряжения.

В качестве аналогового сигнала наиболее часто служит либо сигнал напряжения, изменяющийся в диапазоне от 0 до 10 В, либо токовый сигнал, изменяющийся в диапазоне от 4 до 20 мА.

Когда используется унифицированный сигнал напряжения от 0 до 10 В, то этой непрерывной последовательности напряжений от 0 до 10 В ставится в соответствие последовательность измеряемых физических величин, например давлений или температур.

В отличие от сигнала напряжения, токовый характер сигнала позволяет передавать его без искажений на значительно большие расстояния, поскольку падения напряжений на линиях и на сопротивлениях автоматически компенсируются. Кроме того очень проста диагностика целостности передающих цепей — если ток есть, значит линия цела, если тока нет — имеет место обрыв