

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Начальник учебного отдела  
Института кибернетики

\_\_\_\_\_ О. М. Гергет

«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2016 г.

**ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

методические указания к выполнению лабораторной работы № 504  
по курсу «Элементы и устройства систем управления»  
для студентов направления 270304 - Управление в технических системах

Издательство  
Томского политехнического университета  
Томск 2016

УДК 681.3

### **ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы № 504 по курсу «Элементы и устройства систем управления» для студентов направления 270304 - Управление в технических системах / Составитель В. В. Курганов. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. - 40 с.

Рецензент доцент кафедры АиКС, к.т.н. В. И. Коновалов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изучению методическим семинаром кафедры автоматике и компьютерных систем  
Протокол № «\_\_\_» от «\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2016 г.

Зав. кафедрой,  
профессор, к. т. н.

А. С. Фадеев

## СОДЕРЖАНИЕ

	<b>стр.</b>
1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ . . . . .	4
2 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА. . . . .	4
2.1 Общие сведения . . . . .	4
2.2 Температурные шкалы и единицы измерения . . . . .	4
2.3 Реперные точки . . . . .	5
2.4 Механические и электрические контактные термометры. . . . .	7
2.5 Оценка точности измерения . . . . .	18
3 АППАРАТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ . . . . .	21
4 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ . . . . .	22
5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА . . . . .	23
6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ . . . . .	24
7 ЛИТЕРАТУРА. . . . .	24
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 - Схема электрическая соединений лабораторной установки	
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 - Создание проекта в RASTware	
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 - Градуировочные таблицы термопреобразователей	

## **1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Целью работы является изучение методов и средств измерения температуры.

## **2 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА**

### **2.1 Общие сведения**

Температурой называют физическую величину, характеризующую степень нагретости тела [1].

В отличие от таких физических величин, как длина, масса и др. температура является не экстенсивной (параметрической), а интенсивной (активной) величиной. Так, если гомогенное тело разделить пополам, то и его масса разделится пополам, в отличие от температуры, которая свойством аддитивности не обладает. Другими словами, если тело находится в термическом равновесии, то любая его частица имеет одинаковую температуру.

Эталона температуры не существует. Поэтому измерение температуры возможно только косвенным путём, основываясь на зависимости от температуры таких физических свойств тел, которые поддаются непосредственному измерению. Эти свойства называются термометрическими. К ним относят длину, объём, плотность, термоЭДС, электрическое сопротивление и т.д. Технические средства для измерения температуры называют термометрами.

На практике утвердилось достаточно ограниченное число методов измерения, и в последние годы к ним не прибавилось практически ни одного принципиально нового; исключением можно считать только термометр с кварцевым кристаллом. Тем не менее, в области измерений температуры достигнуты определенные успехи. Во-первых, современная электронная аппаратура для обработки измерительных сигналов дала неожиданно новый толчок для быстрого развития электрических контактных термометров. Одновременно она позволила измерять с помощью радиационных пирометров даже весьма малую энергию излучения тел с низкой температурой. Во-вторых, была разработана новая технология, позволившая изготавливать чувствительные элементы контактных электрических термометров с чрезвычайно малыми размерами (оболочечные элементы). Это положительно повлияло на уменьшение помех – искажений температурного поля вокруг самого датчика и на динамику процесса измерения. Техника измерения низких температур в настоящее время уже перешла из научной области в практическую.

### **2.2 Температурные шкалы и единицы измерения**

Температурные измерения выполняются по определённым температурным шкалам. Температурной шкалой называют конкретную функциональную числовую связь температуры со значением измеряемого термометрического свойства. Это означает, что на основе любого выбранного термометрического свойства может быть построена температурная шкала. В то же время нет ни одного термометриче-

ского свойства, которое бы линейно изменялось с изменением температуры в широком интервале.

Для практического использования введена международная практическая температурная шкала, которая основывается на шести первичных (основных) и многочисленных вторичных реперных точках, характеризующих естественные температуры фазовых превращений (главным образом, это точки затвердевания и кипения), и на интерполяционных уравнениях, используемых между этими точками.

Реперные точки – это значения температуры определённых сред в определённом состоянии, которые могут быть воспроизведены в любое время с высокой точностью. Для измерений между основными реперными точками используют эталонные приборы: платиновый термометр сопротивления, термоэлектрические термометры (термопары) с электродами из платинородиевого сплава и платины и оптические пирометры. Константы, входящие в их интерполяционные уравнения, могут быть определены по реперным точкам (Государственной службой поверки или самими изготовителями).

В зависимости от того, какой температуре присвоено нулевое значение, получают шкалу Кельвина или шкалу Цельсия.

Температурная шкала Кельвина начинается с абсолютного нуля и обозначается буквой  $T$ . Единицей разности температур (температурного интервала) является 1 Кельвин [K]. Единица 1 Кельвин [K], согласно определению, составляет  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды, (которая практически не зависит от давления):

$$1\text{K} = (T_{\text{тройной точки}} - T_{\text{абсолютного нуля}})/273,16.$$

Температурная шкала Цельсия начинается с точки таяния льда и обозначается буквой  $t$ . Нулевая точка этой шкалы лежит на 273,15 K выше абсолютного нуля и на 0,01 K ниже тройной точки воды, которая является одной из основных реперных точек. Температуры точек кипения воды и таяния льда являются функциями давления  $p$ ; при  $p_0=1,013$  бар градус по шкале Цельсия определяется как

$$1^{\circ}\text{C} = (t_{\text{точка кипения}} - t_{\text{таяния}})/100.$$

Единицей шкалы является градус Цельсия [ $^{\circ}\text{C}$ ], равный по величине Кельвину [K].

С учетом выше изложенного, численное соотношение имеет вид

$$t_{[^{\circ}\text{C}]} = T_{[\text{K}]} - 273,15$$

В англоязычных странах часто используют температурные шкалы Ренкина [ $^{\circ}\text{R}$ ] и Фаренгейта [ $^{\circ}\text{F}$ ]. Численные значения температур по этим шкалам пересчитывают по следующим формулам:

$$t_{[^{\circ}\text{C}]} = \frac{5}{9}(T_{[^{\circ}\text{F}]} - 32) \text{ или } T_{[^{\circ}\text{F}]} = \frac{9}{5}t_{[^{\circ}\text{C}]} + 32;$$

$$T_{[\text{K}]} = \frac{5}{9}T_{[^{\circ}\text{R}]} \text{ или } T_{[^{\circ}\text{R}]} = \frac{9}{5}T_{[\text{K}]}.$$

## 2.3 Реперные точки

Каждый термометр следует время от времени подвергать повторной поверке, так как старение материала чувствительного элемента или чрезмерная нагрузка на него могут изменить его первоначальную характеристику. Перед приемо-

сдаточными измерениями, в которых должно быть подтверждено, например, достижение гарантированных показателей потребления, тепла, все приборы для измерения температуры должны проходить поверку.

Поверку приборов осуществляют сравнением их показаний с температурной шкалой. Практически это можно сделать двумя способами:

- сравнением показаний в одной или в нескольких основных или вторичных реперных точках;
- сравнением с показанием образцового (стандартного) прибора в идентичных условиях окружающей среды.

Поверка по реперной точке обеспечивает максимально возможную точность. Однако такая поверка имеет недостаток, заключающийся в том, что сравнение осуществляется только в некоторых дискретных точках температурной шкалы, между которыми приходится интерполировать. Для такой поверки требуется специальное контрольное оборудование, позволяющее с большой тщательностью установить реперные точки. Затраты времени, особенно на подготовку, во время которой во всех элементах оборудования должно быть достигнуто установившееся температурное состояние, весьма значительны. Поэтому поверку в реперных точках проводят довольно редко. Исключением являются те реперные точки, которые могут быть реализованы простыми средствами в любой малой лаборатории: точка таяния льда ( $0,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), тройная точка воды ( $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), точка кипения воды ( $100,00\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а иногда и точка кипения серы ( $444,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Точка таяния льда. Наиболее простой реализацией реперной точки является применение тающего льда. Теплоизолирующий сосуд Дьюара полностью наполняют смесью измельченного льда и очищенной воды [2].

Лед должен быть получен обязательно из обессоленной воды, так как наличие солей в воде снижает точку ее замерзания. Температуру приводят к значению, соответствующему давлению окружающей среды  $p_0 = 1,013\text{ бар}$ ; формула пересчета:  $T_p = 0,01 (1 - p/p_0)$ . Подлежащий поверке стеклянный термометр должен быть погружен в смесь до конца столба показывающей жидкости. Для отсчета температуры термометр несколько приподнимается (вынимается из смеси) на короткое время. При тщательном выполнении всех этих операций достигается воспроизводимость температуры с погрешностью менее  $0,01\text{ К}$ .

Тройная точка воды. Эта реперная точка ( $0,0100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), при которой достигается равновесие между тремя фазами воды (твердой, жидкой и газообразной), может быть реализована с весьма высокой точностью. К тому же она не зависит от барометрического давления.

Устройство для получения тройной точки воды [2] представляет собой стеклянную пробирку с двумя стенками. Пространство между этими стенками заполнено особо чистой водой, из которой удалены газы, а в верхней части - паром. Перед измерением пробирку сначала помещают в обычную ледяную ванну и добавляют сухой лед, чтобы охладить ее. При этом на внутренних стенках пробирки намерзает слой льда. Затем вместо сухого льда добавляют горячую воду, чтобы между стеклом и слоем льда (ледяной рубашкой) образовалась бы тонкая пленка воды. После этого пробирку погружают в сосуд Дьюара, заполненный смесью льда и воды, а отверстие для термометра заполняют ледяной водой. Эта вода сохраняет температуру тройной

точки в течение длительного времени и обеспечивает хорошую теплопередачу к контактному термометру, подлежащему поверке. На этом приборе достигается воспроизводимость температуры, характеризующаяся погрешностью менее 0,0001К.

Точка кипения воды. Температура равновесия между водой и водяным паром при нормальном давлении ( $p_0 = 1,013$  бар), согласно определению, точно равна 100 °С. Наиболее простой метод погружения поверяемого термометра в кипящую воду дает погрешность в лучшем случае не более 0,5 – 1 К, что для грубых измерений может оказаться достаточным. Для более точных измерений применяют специальный прибор с кипящей водой - гипсометр. В этом приборе в качестве реперной точки обычно используют не температуру кипения, а температуру конденсации образовавшегося пара. Воспроизводимость температуры составляет в лучшем случае 0,001 К.

## 2.4 Механические и электрические контактные термометры

Механические контактные термометры являются наиболее распространенным на практике термометрами. Почти все они основаны на тепловом расширении веществ, а точнее на различном расширении двух разных веществ. Эти вещества могут быть использованы в качестве датчиков или расширяющихся тел в датчиках во всех трех фазовых состояниях - твердыми, жидкими и газообразными. Механические контактные термометры обычно характеризуются большой прочностью, малыми затратами на обслуживание, хорошей точностью и низкой стоимостью. Они рассчитаны в основном на повседневное практическое применение, а также для лабораторных и экспериментальных работ. Показание термометра считывают, как правило, прямо на месте измерения. Однако имеются варианты исполнения, в которых измерительный сигнал может быть передан на некоторое ограниченное расстояние. Их изготавливают в виде:

- температурных реле (выключателей) или
- передатчиков температуры (выходные сигналы могут быть пневматическими,
- гидравлическими или электрическими) или даже в
- виде механических регуляторов температуры прямого действия (без подвода какой-либо вспомогательной энергии).

### 2.4.1. Дилатометрические и биметаллические термометры

#### Дилатометрический термометр

Простейший принцип измерения температуры – это использовать удлинение металлического стержня, рассчитываемое по уравнению

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \text{ или } l_t = l_0(1 + \alpha t)$$

где  $l_0$ ,  $l_t$  длина стержня (м) в первоначальном состоянии, при 0 °С и при температуре  $t$  (°С);

$\alpha$  - коэффициент линейного температурного расширения материала стержня, м/(м·К).

Этот коэффициент в той или иной степени (в зависимости от материала) зависит от температуры, т.е. непостоянен:  $\alpha = f(t)$ . Обычно в качестве чувствительного элемента дилатометрического термометра используют трубку из металла с возможно более высоким  $\alpha$  (например, из латуни), внутри которой концентрично располагается стержень из материала с возможно более низким  $\alpha$ , например, из инвара, фарфора, кварца.

На рис. 2.1 представлена схема дилатометрического термометра. Он состоит из металлической трубы (чувствительного элемента) 1, внутри которой находится стержень 2. Стержень закреплён в нижней точке трубы. Труба имеет коэффициент линейного расширения больше чем стержень. Верхний конец трубы закреплён в штуцере 3. В коробке 4 находится электроконтактное устройство, состоящее из рычага 5, сочленённого со стержнем и контактами (например нормально замкнутый контакт).

При изменении температуры длина трубы за счет расширения изменяется быстрее чем стержень. Стержень движется и при определённой температуре контакты замыкаются или размыкаются.

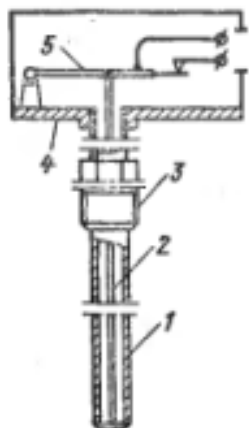


Рисунок 2.1 – Схема устройства дилатометрического термометра - сигнализатора

1 – металлическая труба (чувствительный элемент);  
2 – стержень; 3 – штуцер; 4 – коробка; 5 - рычаг

Для получения необходимой чувствительности дилатометрического термометра трубу изготавливают из материала с большим коэффициентом линейного расширения (например латунь), а стержень из материала с коэффициентом близким к нулю (например инвар).

Диапазон измерений составляет примерно 0 - 1000 °С. Большая длина чувствительных элементов таких термометров не позволяет определять с их помощью температуру в отдельных точках; они показывают температуру, усреднённую по всей длине.

Дилатометрические термометры часто используют там, где требуются большие усилия в исполнительном механизме, например в регуляторах температуры прямого действия.

### Биметаллические термометры

Значительно чаще дилатометрических применяют биметаллические термометры, в которых для индикации температуры также используют различное температурное расширение двух разнородных материалов. Биметаллические термометры могут быть изготовлены весьма малых размеров, в чем состоит их существенное преимущество перед громоздкими дилатометрическими термометрами. Они просты



при конструировании (поскольку у них мало движущихся частей). Их изготавливают в самых разнообразных исполнениях, они просты и дешевы.

Основным элементом биметаллического термометра (см. рисунок 2.2) является биметаллическая пластина 1, состоящая из двух слоёв разнородных металлов, обладающих различными коэффициентами расширения (например латунь и инвар), сваренных между собой по всей длине соприкосновения. При изменении температуры пластина изгибается, что приводит к замыканию контактов 2. Расстояние между контактами, а следовательно и температуру срабатывания можно настроить винтом 3.

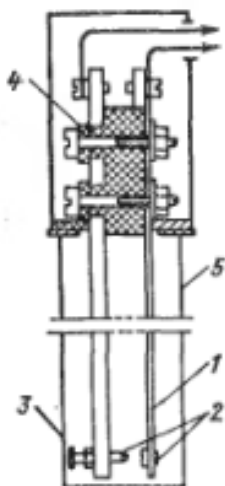


Рисунок 2.2 – Схема устройства биметаллического термометра - сигнализатора

1 – биметаллическая пластина (чувствительный элемент);  
2 – контакты; 3 – настроечный винт; 4 – изолятор; 5 – коробка

Биметаллическими термометрами можно измерять температуру от  $-50$  до  $+600$  °С. При достаточном старении биметаллической полосы чувствительные элементы сохраняют термическую стабильность до  $500$  °С. При температурах до  $600$  °С их можно применять лишь кратковременно. Точность составляет от  $\pm 1$  до  $\pm 3$  %.

#### 2.4.2. Жидкостные термометры.

##### Стеклянные жидкостные термометры

Принцип действия жидкостных термометров основан на расширении жидкости при изменении температуры. Основная часть термометрической жидкости располагается в шарообразном или цилиндрическом резервуаре, который собственно и является чувствительным элементом термометра. Резервуар сообщается с длинным и узким стеклянным капилляром. На верхнем конце капилляра имеется расширительная (переливная) камера, которая используется для сбора термометрической жидкости, если термометр нагревается выше его верхнего предела измерений. При отсутствии такой камеры капилляр разорвался бы из-за слишком высокого внутреннего давления. На нижнем конце капилляра нередко предусматривается такое же расширение, особенно в том случае, если столбик жидкости проходит через нулевую точку.

Для заполнения термометров могут быть применены практически любые жидкости. При этом различают смачивающие (например, органические) и несмачивающие жидкости (например, ртуть). Смачивающие жидкости при измерении снижающейся температуры обуславливают дополнительную погрешность. Органическую

жидкость нужно подкрашивать, чтобы она была видна в капилляре (для облегчения отсчета).

Из-за малого коэффициента температурного расширения ртути резервуар ртутного термометра должен иметь больший объем, чем при заполнении другими жидкостями. Расширение рассчитывают по формуле

$$\Delta V = \beta V \cdot \Delta T \text{ или } V_T = V_0(1 + \beta T)$$

где  $V, V_0, V_T$  - объемы термометрической жидкости ( $\text{м}^3$ ) в первоначальном состоянии, при температуре  $0^\circ\text{C}$  и при температуре  $T$  ( $^\circ\text{C}$ );

$\beta$  - объемный коэффициент температурного расширения.

Коэффициент  $\beta$  примерно в 3 раза больше коэффициента линейного температурного расширения  $\alpha$ . Коэффициент  $\beta$  в той или иной степени (в зависимости от вещества) зависит от температуры:  $\beta = f(T)$ , т.е. не является постоянным.

Диапазон измерения стеклянных жидкостных термометров зависит от свойств термометрической жидкости. Для некоторых наиболее распространенных жидкостей он характеризуется следующими температурами,  $^\circ\text{C}$ :

- изопентан	-195	...	+35;
- нормальный пентан	-130	...	+35;
- этиловый спирт	-110	...	+210;
- толуол	-90	...	+110;
- ртуть - таллий	-60	...	+30;
- ртуть в вакууме	-30	...	+150;
- ртуть под давлением	-30	...	+630;
- то же, в кварцевом стекле	-30	...	+1000.

### 2.4.3. Манометрические термометры

Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления рабочего (термометрического) вещества в замкнутом объеме (термосистеме) от температуры. В соответствии с агрегатным состоянием рабочего вещества в термосистеме манометрические термометры подразделяют на:

- газовые;
- жидкостные;
- конденсационные.

Термосистема термометра (рисунок 2.3) состоит из термобаллона 1, капилляра 2 и манометрической пружины 3. Чувствительный элемент (термобаллон) погружен в среду измерения. При изменении температуры рабочего вещества в термобаллоне изменяется давление, которое через капиллярную трубку передается на пружинный манометр, выполняющего роль измерительного прибора в манометрическом термометре.

Термобаллон представляет собой цилиндр, изготовленный из латуни или специальных сталей, стойких к химическому воздействию измеряемой среды. Геометрические размеры термобаллона зависят от типа термометров и от задач измерения.

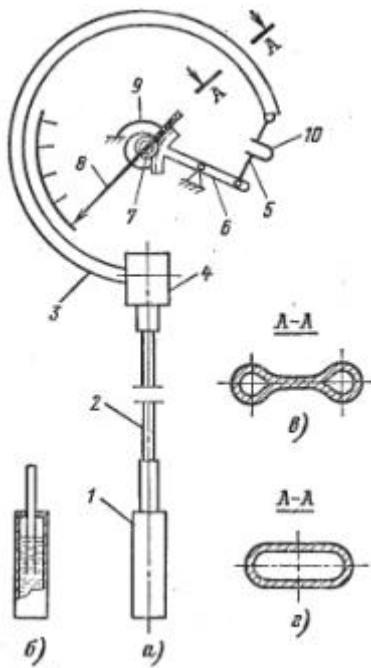


Рисунок 2.3 – Схема манометрического термометра

а – термосистема термометра:

1 – термобаллон; 2 – капилляр; 3 – манометрическая пружина;  
4 – держатель; 5 – поводок; 6 – сектор; 7 – трибка; 8 – стрелка;  
9 – спиральная пружина; 10 – биметаллическая пружина;

б – термобаллон;

в, г – сечение манометрической трубки

В зависимости от конструкции измерительной системы манометрические термометры могут быть показывающими, самопишущими, с дистанционной передачей показаний на расстояние.

#### Газовые манометрические термометры

Принцип действия этих термометров основан на использовании закона Гей-Люссака:

$$P_T = P_0(1 + \beta T),$$

где  $P_0$  и  $P_T$  – давление газа при температурах 0 и  $T$  °С;

$\beta$  – термический коэффициент давления газа, равный  $1/273,15$  или  $0,00366 \text{ K}^{-1}$ .

Для реальных систем линейная связь между  $P_T$  и  $T$  не сохраняется. Это объясняется тем, что с изменением температуры изменяется объём термобаллона, с изменением давления изменяется объём манометрической пружины, а также происходит массообмен между термобаллоном и капиллярной трубкой. Дополнительную погрешность в измерения вносит разность температур между термобаллоном и капилляром.

В то же время эти изменения незначительны и практически можно считать, что шкалы газовых манометрических термометров равномерны.

#### Жидкостные манометрические термометры

В качестве термометрического вещества в таких термометрах используются следующие жидкости:

- ртуть под давлением 10-15 МПа;
- толуол;
- ксилол;
- пропиловый спирт;
- силиконовые жидкости.

При ртутном заполнении диапазон измерений лежит в пределах  $-30 \div +600^{\circ}\text{C}$ , а для органических жидкостей  $150 \div 300^{\circ}\text{C}$ .

#### Конденсационные манометрические термометры

В качестве термометрического вещества в таких термометрах используются легкокипящие жидкости, в частности:

- пропан;
- этиловый эфир;
- ацетон;
- толуол;
- хлористый метил.

В зависимости от используемого термометрического вещества диапазон измерений лежит в интервале от  $-50$  до  $350^{\circ}\text{C}$ . Специально изготовленные конденсационные термометры применяются для измерения сверхнизких температур, например при заполнении гелием для измерения температуры от  $0,8\text{K}$ .

Термобаллон термометра (рисунок 2.3 б) заполнен конденсатом примерно на  $0,7 - 0,75$  объёма, а над конденсатом находится насыщенный пар этой же жидкости. Капилляр в таких термометрах опущен в термобаллон так, что его открытый конец находится в жидкости и даже в том случае, когда при максимальной температуре остаётся только часть жидкости. При этом и капилляр и манометрическая пружина заполнены высококипящей жидкостью, которая служит для передачи давления от термобаллона к манометрической пружине.

### **2.4.4. Электрические контактные термометры**

Механические контактные термометры несмотря на малые затраты на измерение, надёжность и нетребовательность к обслуживанию имеют один существенный недостаток: их сигналы не могут быть переданы на значительные расстояния и объединены с другими сигналами в информацию, пригодную для дальнейшей обработки.

В промышленной практике температуру измеряют в основном термометрами, действие которых основано на изменении электрических свойств различных веществ с изменением температуры. Важнейшими методами, позволяющими решить практически все проблемы измерения температуры, является определение положительного или отрицательного изменения сопротивления металлов или полупроводников (термометров сопротивления), а также термоэлектродвижущей силы, возникающей при контакте пары, составленной из двух различных металлов или из металла и сплава (термоэлектрических термометров, термопар).

#### **2.4.4.1. Термометры сопротивления**

В основе измерения температуры термопреобразователями сопротивления лежит свойство металлов и полупроводников изменять своё электрическое сопротивление с изменением температуры.

Температурная зависимость электрического сопротивления металлических проводников обусловлена наличием свободных электронов связи в кристаллической решетке металла: при понижении температуры электрическое сопротивление уменьшается. В полупроводниках обычно наблюдается недостаток электронов проводимости; они высвобождаются только при подводе тепловой энергии (повышении температуры). В этом случае с повышением температуры электрическое сопротивление снижается.

#### Металлические элементы термометров сопротивления.

Зависимость сопротивления металлических проводников от температуры может быть с весьма высокой точностью описана уравнениями третьей степени. Однако при обычных требованиях к точности ограничиваются квадратичной или даже линейной функцией:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T)$$

где  $R_0$ ,  $R_T$  - величина сопротивления (Ом) проводника при  $0^\circ\text{C}$  и при температуре  $T(^\circ\text{C})$ ;

$\alpha$  - линейный температурный коэффициент сопротивления,  $\text{K}^{-1}$ .

В качестве материала для термометров сопротивления используют металлы с хорошей электрической проводимостью, например платину, никель и медь. Средний температурный коэффициент сопротивления этих металлов имеет следующие значения,  $10^{-3} \text{K}^{-1}$ : платина 3,85; никель 6,17 и медь 4,27.

Термопреобразователи сопротивления позволяют надёжно измерять температуру в пределах от  $-260$  до  $+1100^\circ\text{C}$ . К термопреобразователям сопротивления предъявляется ряд основных требований:

- стабильность градуировочной характеристики;
- воспроизводимость, обеспечивающая взаимозаменяемость изготавливаемых преобразователей сопротивления.

К числу не основных, но желательных требований относятся:

- линейность функции  $R_t=f(t)$ ;
- высокое значение температурного коэффициента температурного сопротивления  $\alpha$ ;
- большое удельное сопротивление;
- невысокая стоимость материала.

Установлено, что чем чище металл, тем в большей степени он соответствует указанным требованиям и тем больше отношение  $R_{100}/R_0$  и  $\alpha$  (где  $R_0$  и  $R_{100}$  – электрические сопротивления металла при  $0$  и  $100^\circ\text{C}$  соответственно). Поэтому степень чистоты металла принято характеризовать значениями  $R_{100}/R_0$  и  $\alpha$ . При снятии механических напряжений путём отжига указанные характеристики достигают своих предельных значений.

Для изготовления термопреобразователей сопротивления в настоящее время используются платина и медь.

#### *Платиновые термопреобразователи*

Платина является наилучшим материалом для термопреобразователей сопротивления по следующим причинам:

- легко получается в чистом виде;
- обладает хорошей воспроизводимостью;
- химически инертна к окислительной среде при высоких температурах;
- имеет достаточно высокий коэффициент сопротивления  $3,94 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$ ;
- высокое удельное сопротивление  $0,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

Диапазон измеряемых температур от  $-260$  до  $+1100^\circ\text{C}$ . Значение отношения  $R_{100}/R_0$  для платины составляет  $1,3850 - 1,3910$ . Платиновые преобразователи являются наиболее точными первичными преобразователями и часто используются в качестве образцовых и эталонных термометров.

Недостатком платиновых преобразователей является нелинейность характеристики  $R_t=f(t)$  и высокая стоимость материала для их изготовления.

#### *Медные термопреобразователи*

Медь – один из недорогих материалов, легко получаемых в чистом виде. Медные термопреобразователи сопротивления предназначены для измерения температур в диапазоне от  $-50$  до  $+200^\circ\text{C}$ . При более высоких температурах медь активно окисляется и поэтому не используется. Значение отношения  $R_{100}/R_0$  для меди составляет  $1,4260 - 1,4280$ . В широком диапазоне температур зависимость сопротивления от температуры линейна и имеет вид  $R_T = R_0(1 + \alpha T)$ , где  $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{C}^{-1}$ .

#### Полупроводниковые элементы термометров сопротивления

Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления применяются для измерения температуры от  $-100$  до  $+300^\circ\text{C}$ . В качестве полупроводниковых материалов используются: оксиды магния, кобальта, марганца, титана, меди, кристаллы германия.

Основным преимуществом полупроводников является их большой отрицательный температурный коэффициент сопротивления. При повышении температуры полупроводников на один градус их сопротивление уменьшается на 3-5%, что делает их высоко чувствительными к изменению температуры. Кроме того, они обладают значительным удельным сопротивлением и даже при малых размерах обладают значительным номинальным электрическим сопротивлением (от нескольких единиц до нескольких сотен килом), что позволяет не учитывать сопротивления измерительных проводов в измерительных схемах. Малые размеры полупроводников снижают инерционность измерения температуры.

Существенным недостатком полупроводниковых материалов является их значительная нелинейность и невоспроизводимость градуировочной характеристики. Поэтому полупроводниковые термопреобразователи даже одного типа имеют индивидуальные градуировки и не взаимозаменяемые.

### **2.4.4.2. Термоэлектрические термометры (термопары)**

#### Термоэлектрический эффект

Зеебек (Seebeck) Томас Иоганн (09.04.1770 г., Ревель, ныне Таллин, - 10.12.1831, Берлин), немецкий физик, член Берлинской АН (1818). Изучал медицину

в Берлине и Гёттингене. В 1821 открыл явление термоэлектричества (эффект Зеебека).

Зеебек установил, что если электрическая цепь состоит из двух различных металлов или сплавов и точки их соединения (спая) находятся при различных температурах, то в цепи должен протекать ток (рисунок 2.4). При размыкании цепи на ее концах можно измерить разность потенциалов - так называемую термоэлектродвижущую силу (термоЭДС)

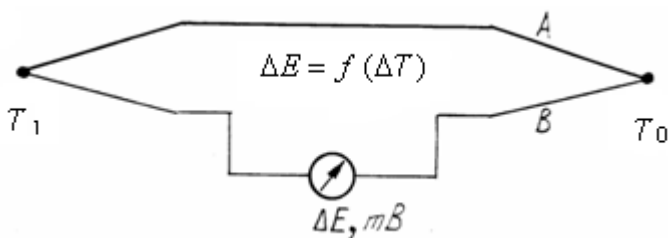


Рисунок 2.4 - Схема определения термоэлектрического эффекта Зеебека

Если же через такую цепь пропускать ток, то в зависимости от направления этого тока в одной точке соединения проводников будет выделяться тепло, а в другой - поглощаться (эффект Пельтье). Если температура одной точки соединения (спая)  $T_0$  известна, то получаемая термоЭДС будет мерой разности между измеряемой температурой  $T_1$  (горячего спая) и контрольной температурой  $T_0$  (холодного спая).

Зависимость между термоЭДС и разностью температур в общем случае нелинейная и может быть выражена уравнением третьей степени. Однако в области температур, обычных при промышленных измерениях, обычно вполне достаточно принять квадратичную зависимость:

$$\Delta E = \alpha + b\Delta T + c\Delta T^2$$

Постоянные  $a$ ,  $b$  и  $c$  зависят в первую очередь от природы и физико-механических свойств обоих металлов или сплавов. Их можно определить путем градуировки в реперных точках. При малых изменениях температур характеристики многих термопар могут быть линеаризованы без большого ущерба для точности:

$$\Delta E = k\Delta T [mV]$$

где  $k$  - коэффициент термоЭДС зависящий также и от уровня температуры, мВ/К.

Все материалы для термопар делят на две группы:

- пары благородных металлов и
- пары неблагородных металлов.

#### Термопары из благородных металлов

Термопары из благородных металлов, преимущественно из платины и ее сплава с родием, обладают высокой точностью и отличаются воспроизводимостью термоэлектрической характеристики. Поэтому платинородий - платиновая термопара Pt10Rh-Pt используется для воспроизведения Международной практической температурной шкалы в интервале температур от 630,7 до 1064,4 °С. Эти термопары более

устойчивы к коррозии и окислению, чем термопары из благородных металлов, и поэтому могут быть использованы при более высоких температурах. Так, термопары Pt10Rh-Pt используют для измерения температур от 0 до 1600 °С, а термопары Pt13Rh-Pt6Rh- от 0 до 1700 °С. В чистую платину при очень высоких температурах диффундируют посторонние вещества, что влечет за собой охрупчивание термоэлектродов и резкое изменение их термоэлектрических свойств. Если применяется высоколегированная платина (например, в сплаве с родием), то эти недостатки устраняются. Термопары из благородных металлов имеют, как правило, низкую чувствительность к изменениям температуры; к тому же они довольно дороги.

Термопары из благородных металлов применяют преимущественно для измерения более низких температур. Они дешевле термопар из благородных металлов, и на их долю приходится абсолютное большинство всех применяемых термопар; во многих странах они отчасти стандартизированы. К таким стандартизированным термопарам относятся медь - константан, железо - константан и нихром—никель (хромель—алюмель).

Термопары медь - константан (Cu - Konst) особенно пригодны для измерения низких температур от - 250 до 400 °С, При более высоких температурах медь не обладает достаточной стойкостью к кислороду воздуха. Эти термопары наряду с железо-константановыми имеют наиболее крутую температурную характеристику, но их характеристика недостаточно линейна.

Железо-константановые термопары (Fe - Konst) допускают более широкий диапазон измерения от - 250 до 700 °С, если коррозионно-активная среда не препятствует их применению (при некоторых условиях железо сильно ржавеет и покрывается окалиной). Постоянство термоэлектрических свойств во времени также надежно не обеспечивается.

Термопары нихром - никель (почти то же, что хромель—алюмель) имеют среди термопар из благородных металлов самый высокий температурный диапазон измерения: от - 200 до 1300 °С. Эти термопары отличаются точностью и устойчивостью, однако их температурный коэффициент т. э. д. с. меньше, чем термопар медь - константан и железо - константан. Характеристика их в достаточной степени линейна. Образование окалины вследствие окисления становится заметным при температурах выше 600 °С, что ограничивает время использования термопар в верхней области их температурного диапазона. Это означает, что термопары при этих условиях могут быть использованы ограниченно (либо в защитной атмосфере, либо лишь короткое время).

### **2.4.5. Пирометры**

Любое тело, температура которого выше абсолютного нуля, испускает тепловое излучение. Средства измерения, определяющие температуру тел по их тепловому излучению называют пирометрами излучения или просто пирометрами [1].

Тепловое излучение представляет собой электромагнитное излучение, испускаемое телом за счет его внутренней энергии. Ввиду того, что интенсивность теплового излучения резко убывает с уменьшением температуры тела, пирометры ис-



пользуются в основном для измерения температуры от 300 до 6000 °С и выше. Для измерения температур свыше 3000 °С пирометры являются практически единственным средством измерения.

Твердые тела, температура которых выше абсолютного нуля, имеют сплошной спектр излучения, т. е. излучают волны  $\lambda$  всех длин от 0 до  $\infty$ :

- 0,40 - 0,75 мкм – видимое глазом световое излучение (свет);
- 0,75 - 0,400 мкм – невидимое глазом световое излучение (инфракрасный участок спектра), за ним следует радиоволновый диапазон;
- менее 0,40 мкм – ультрафиолетовый диапазон, далее рентгеновские и гамма-лучи.

В пирометрах используются лучи видимого и инфракрасного диапазонов.

При излучении передается энергия. Если на какую-либо поверхность падает поток лучистой энергии  $\Phi$  (энергия за единицу времени, Вт), то он частично отражается этой поверхностью, частично поглощается и частично пропускается далее. Соответствующие доли энергии характеризуется коэффициентами, которые должны быть меньше или равны единице:

- коэффициент отражения  $\rho = \Phi_{\text{отр}} / \Phi$ ,
- коэффициент поглощения  $\alpha = \Phi_{\text{погл}} / \Phi$ ,
- коэффициент пропускания  $\nu = \Phi_{\text{проп}} / \Phi$ .

Если тело полностью поглощает весь падающий на него поток лучистой энергии, т.е.  $\alpha=1$ , то такое тело называется абсолютно черным.

Реальные тела не являются абсолютно черными и лишь некоторые из них по оптическим свойствам могут приближаться к абсолютно черным: нефтяная сажа, платиновая чернь, чёрный бархат.

Внешняя поверхность не только поглощает, но и испускает собственное излучение, зависящее от температуры.

В качестве величин, характеризующих тепловое излучение тел, в пирометрии используются следующие:

- спектральная энергетическая светимость (интенсивность монохроматического излучения, или излучательность);
- полная энергетическая светимость (интегральная излучательность);
- спектральная энергетическая яркость.

В настоящее время применяется ряд пирометров.

#### Оптические пирометры

Принцип действия оптических пирометров основан на сравнении спектральной яркости тела со спектральной яркостью градуированного источника излучения.

#### Фотоэлектрические пирометры

Принцип действия фотоэлектрических пирометров основан на изменении параметров чувствительного элемента (фототока, сопротивления) в зависимости от величины лучистой энергии, попадающей на него.

#### Пирометры спектрального отношения или цветовые пирометры

Принцип измерения температуры тела основан её зависимости от отношения спектральных энергетических яркостей, соответствующих двум длинам волн.

#### Радиационные пирометры или пирометры полного излучения

Принцип измерения температуры основан на улавливании теплового излучения и концентрации его на термочувствительном элементе с помощью собирающей линзы или вогнутых зеркал.

Более подробную информацию по пирометрам можно получить в [1].

## 2.5 Оценка точности измерений

В практических измерениях в качестве оценки точности используют величину погрешности или другие величины с нею связанные.

*Погрешность измерения* — оценка отклонения величины измеренного значения от её истинного значения. Погрешность измерения является характеристикой (мерой) точности измерения.

Поскольку выяснить с абсолютной точностью истинное значение любой величины невозможно, то невозможно и указать величину отклонения измеренного значения от истинного. Возможно лишь оценить величину этого отклонения, например, при помощи статистических методов. При этом за истинное значение принимается среднестатистическое значение, полученное при статистической обработке результатов серии измерений. Это полученное значение не является точным, а лишь наиболее вероятным. Поэтому в измерениях необходимо указывать, какова их точность. Для этого вместе с полученным результатом указывается погрешность измерений. Например, запись  $T=2,8\pm 0,1$  с. означает, что истинное значение величины  $T$  лежит в интервале от 2,7 с. до 2,9 с. некоторой оговоренной вероятностью.

В 2004 году на международном уровне был принят новый документ, диктующий условия проведения измерений и установивший новые правила сличения государственных эталонов. Понятие «погрешность» стало устаревать, вместо него было введено понятие «неопределенность измерений», однако ГОСТ Р 50.2.038-2004 допускает использовать термин погрешность для документов, использующихся в России.

### По форме представления различают следующие виды погрешностей

*Абсолютная погрешность* —  $\Delta$  является оценкой абсолютной ошибки измерения. Величина этой погрешности зависит от способа её вычисления, который, в свою очередь, определяется распределением случайной величины  $X_{\text{изм}}$ . При этом равенство:

$$\Delta = |X_{\text{ист}} - X_{\text{изм}}|$$

где  $X_{\text{ист}}$  - истинное значение;

$X_{\text{изм}}$  - измеренное значение,

должно выполняться с некоторой вероятностью близкой к 1.

Если случайная величина  $X_{\text{изм}}$  распределена по нормальному закону, то, обычно, за абсолютную погрешность принимают её среднеквадратичное отклонение. Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах измерения, что и сама величина.

*Относительная погрешность* - отношение абсолютной погрешности к тому значению, которое принимается за истинное:

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X} \cdot 100 [\%]$$

*Приведенная погрешность* - отношение абсолютной погрешности средства измерения к шкале измерительного прибора.

Погрешность вычисляется по формуле

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100 [\%]$$

где  $X_N$  - нормирующее значение, которое зависит от типа шкалы измерительного прибора и определяется по его градуировке:

- если шкала прибора односторонняя, т.е. нижний предел измерений равен нулю, то  $X_N$  определяется равным верхнему пределу измерений;

- если шкала прибора двухсторонняя, то нормирующее значение равно ширине диапазона измерений прибора.

Приведенная погрешность - безразмерная величина (может измеряться в процентах).

*Инструментальные / приборные погрешности* - погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений и вызываются несовершенством принципа действия, неточностью градуировки шкалы, ненаглядностью прибора.

*Методические погрешности* - погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики.

*Субъективные / операторные / личные погрешности* - погрешности, обусловленные степенью внимательности, сосредоточенности, подготовленности и другими качествами оператора.

В технике применяют приборы для измерения лишь с определенной заранее заданной точностью – основной погрешностью, допускаемой нормами в нормальных условиях эксплуатации для данного прибора.

Если прибор работает в условиях, отличных от нормальных, то возникает дополнительная погрешность, увеличивающая общую погрешность прибора. К дополнительным погрешностям относятся: температурная, вызванная отклонением температуры окружающей среды от нормальной, установочная, обусловленная отклонением положения прибора от нормального рабочего положения, и т.п. За нормальную температуру окружающего воздуха принимают 20°C, за нормальное атмосферное давление 101,325 кПа.

Обобщенной характеристикой средств измерения является **класс точности**, определяемый предельными значениями допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими параметрами, влияющими на точность средств измерения; значение параметров установлено стандартами на отдельные виды средств измерений.

Класс точности средств измерений характеризует их точностные свойства, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств, так как точность зависит также от метода измерений и условий их выполнения. Измерительным приборам, пределы допускаемой основной погрешности которых заданы в виде приведенных основных (относительных) погрешностей, присваивают классы точности, выбираемые из ряда следующих чисел: (1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0)\*10<sup>n</sup>, где показатель степени n = 1; 0; -1; -2 и т.д.

### По характеру проявления различают следующие виды погрешностей

*Случайная погрешность* — погрешность, меняющаяся (по величине и по знаку) от измерения к измерению. Случайные погрешности могут быть связаны с несовершенством приборов (трение в механических приборах и т.п.), тряской в городских условиях, с несовершенством объекта измерений (например, при измерении диаметра тонкой проволоки, которая может иметь не совсем круглое сечение в результате несовершенства процесса изготовления), с особенностями самой измеряемой величины (например при измерении количества элементарных частиц, проходящих в минуту через счётчик Гейгера).

*Систематическая погрешность* — погрешность, изменяющаяся во времени по определенному закону (частным случаем является постоянная погрешность, не изменяющаяся с течением времени). Систематические погрешности могут быть связаны с ошибками приборов (неправильная шкала, калибровка и т.п.), неучтёнными экспериментатором.

*Прогрессирующая (дрейфовая) погрешность* — непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени. Она представляет собой нестационарный случайный процесс.

*Грубая погрешность (промах)* — погрешность, возникшая вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры (например, если экспериментатор неправильно прочёл номер деления на шкале прибора, если произошло замыкание в электрической цепи).

### Погрешность измерительного канала

Измерительный канал в общем случае представляет собой ряд последовательно соединённых элементов, каждый из которых обладает собственной погрешностью.

Приведённая погрешность измерительного канала в целом определяется по формуле:

$$\gamma_{\text{ИК}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \gamma_i^2}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{\text{ИК}}$  - результирующая погрешность измерительного канала;  
 $\lambda_i$  - приведённая погрешность  $i$ -го элемента измерительного канала;  
 $n$  - общее количество элементов в измерительном канале.

### 3 АППАРАТУРА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Внешний вид лабораторной установки приведён на рисунке 3.1.

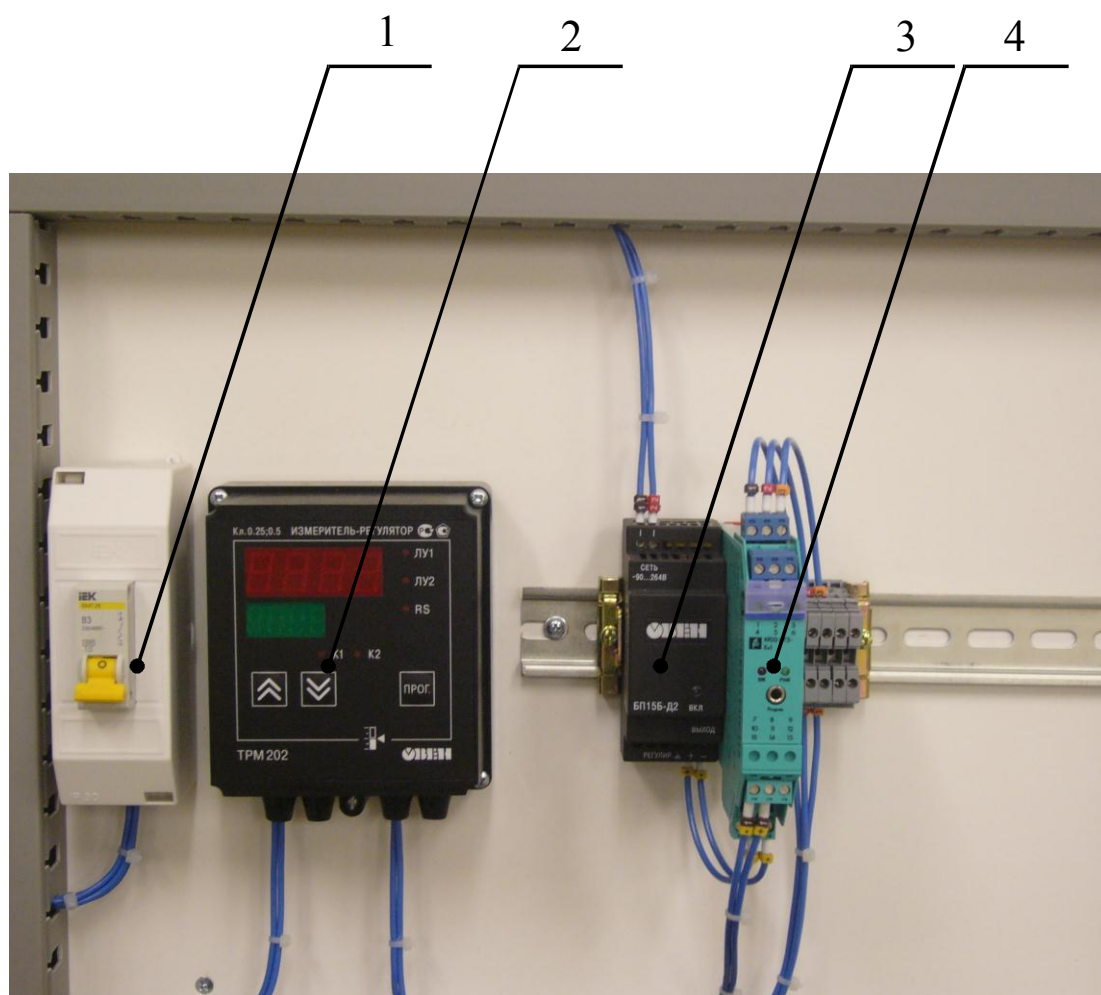


Рисунок 3.1 - Внешний вид лабораторной установки

1 – автоматический выключатель SF1/16А; 2 – измеритель ТРМ 202; 3 – источник питания БП15Б (24В, 15Вт);  
4 - универсальный преобразователь температуры KFD2-UT2-Ex1

Электропитание установки осуществляется от сети 220 В через автоматический выключатель SF1/16А. Электрическая схема соединений лабораторной установки представлена в Приложении 1.

## 4 ЗАДАНИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

### Подготовительная часть

- 1 Изучите настоящей методические указания к выполнению лабораторной работы.
- 2 Ознакомьтесь с электрической схемой установки.
- 3 Изучить расположение элементов системы на стенде.
- 4 Ознакомьтесь с техническими характеристиками приборов и органами управления, расположенными на стенде.

### Работа с PACTware

- 5 В соответствии с Приложением 2 запустите программу **PACTware** на персональном компьютере.
- 6 Убедитесь в наличии связи между преобразователем KFD2-UT2-Ex1 и персональным компьютером.
- 7 Создайте проект в **PACTware** (без сохранения).
- 8 Настройте входы преобразователя в соответствии с заданным вариантом. Вариант задания выберите из таблицы 4.1 «Варианты заданий», предварительно согласовав выбор с преподавателем.
- 9 Настройте выходы преобразователя.
- 10 Проконтролируйте наличие показаний на приборе ТРМ202 (при изменении входного тока в диапазоне 4-20 мА показания прибора изменяются в диапазоне 0-100%).

### Порядок выполнения эксперимента

- 11 Разбейте заданный диапазон изменения температуры на десять одинаковых интервалов.
- 12 Найдите (рассчитайте, если таковые отсутствуют) значение сопротивлений, соответствующие заданному типу термопреобразователя, в конце каждого интервала, включая начальную точку диапазона. Для определения значений сопротивления использовать градуировочные таблицы, приведённые в Приложении 3.
- 13 Задавая с помощью магазина сопротивлений рассчитанные значения сопротивлений  $R_i$ , измерьте значения токов на выходе универсального температурного преобразователя KFD2-UT2-Ex1  $I_i$  (по компьютеру) и на выходе измерителя ТРМ202  $X_i$ . В качестве выходного сигнала измерителя ТРМ202 принять показания прибора.
- 14 Рассчитать приведённую погрешность (класс точности) универсального температурного преобразователя KFD2-UT2-Ex1 принимая за истинные значения величины сопротивлений, задаваемые магазином сопротивлений. В качестве приведённой погрешности преобразователя на интервале изме-

рения принять максимальную приведённую погрешность в точках измерения.

- 15 Рассчитать приведённую погрешность (класс точности) измерителя ТРМ202, принимая за истинные значения величины сопротивлений, задаваемые магазином сопротивлений.

Расчет приведённой погрешности выполнить с учетом того, что измеритель ТРМ202 является элементом измерительного канала (см. выражение (4) для измерительного канала). Структура канала приведена на рисунке 4.1.

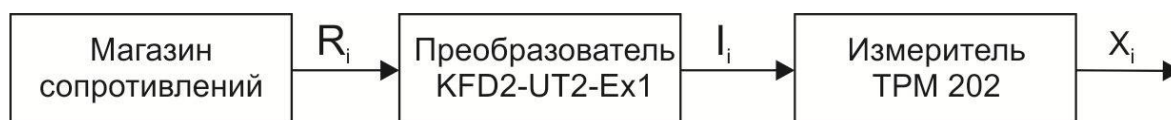


Рисунок 4.1 - структура измерительного канала

- 16 Сделать выводы о соответствии заявленных классов точности преобразователей их реальным метрологическим характеристикам.

Таблица 4.1 – Варианты заданий

Вариант	Тип преобразователя	Диапазон измерения	
		Минимальное значение, °С	Максимальное значение, °С
1	ТСМ 100М (Cu100)	-100	100
2	ТСМ 50М (Cu50)	-50	180
3	ТСП 100П (Pt100 GOST)	-200	500
4	ТСН 100Н (NI100)	-50	150
5	Pt100 ( $W_{100}=1,3851$ )	-200	200
6	Pt50 ( $W_{100}=1,3900$ )	-50	200
7	Pt100 ( $W_{100}=1,3920$ )	150	150
8	ТСП 50П ( $W_{100}=1,3910$ )	-200	200
9	ТСП 100П ( $W_{100}=1,3910$ )	500	850
10	ТСП гр. 21 ( $W_{100}=1,3910$ )	-100	400

## 5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен быть оформлен в соответствии с установленными правилами и содержать следующее.

- 1 Титульный лист с указанием номера и названия работы, фамилии студентов, выполнивших работу, дату выполнения.
- 2 Цель работы.
- 3 Электрическую схему стенда.
- 4 Результаты экспериментов в виде графиков и таблиц (если необходимо).
- 5 Необходимые расчёты и выводы по работе.
- 6 Ответы на контрольные вопросы.

## 6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

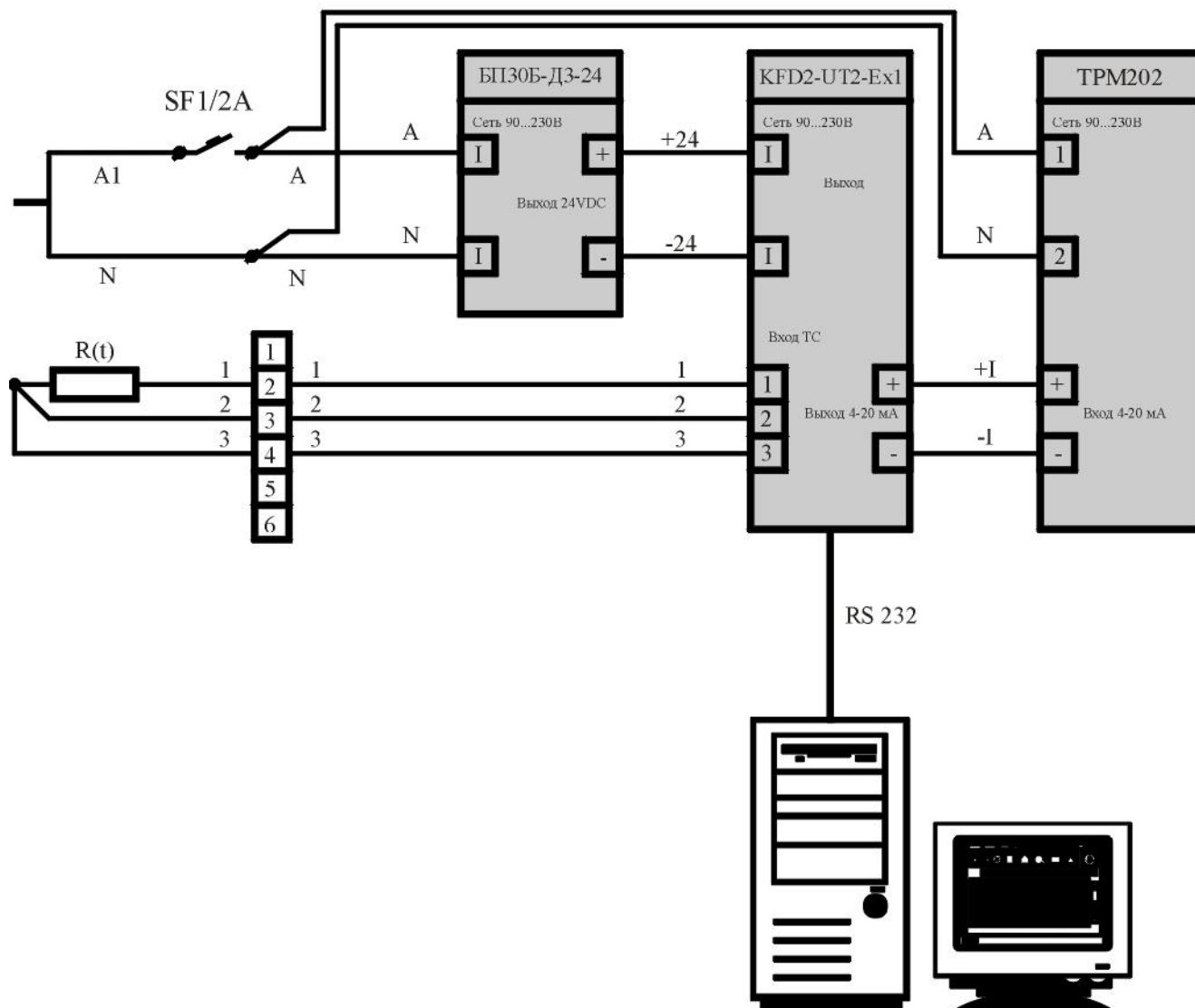
1. Назовите достоинства и недостатки медных термопреобразователей?
2. Что означает  $W_{100}$ ?
3. Дайте определение «горячего» спая и «холодного» спая термопары.
4. Расшифруйте обозначения 50М, 100П.
5. Назовите основной способ измерения термосопротивлений.
6. Чем отличается «уравновешенный» мост от «неуравновешенного»?
7. Назовите способ компенсации сопротивления проводов при измерении температуры при помощи термосопротивлений.

## 7 ЛИТЕРАТУРА

1. Фарзани Н. Г., Илясов Л. В., Азим-заде А. Ю. Технологические измерения и приборы: Учебник для студентов вузов по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». – М.: Высшая школа, 1989. – 456 с.: ил.
2. Хансуваров К. И., Цейтлин В. Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара: Учебное пособие для техникумов. – М.: Издательство стандартов, 1990. 287 с., ил.



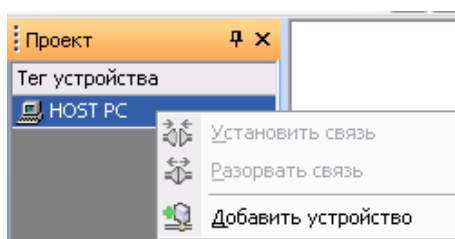
Схема электрическая соединений лабораторной установки



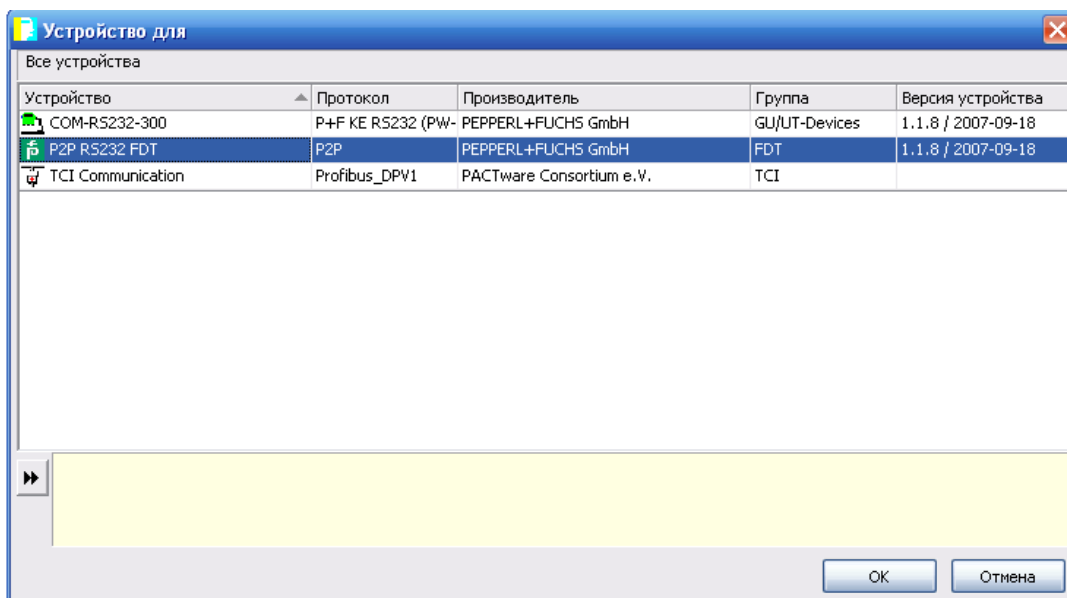
## Создание проекта в PACTware

Запустите программу **PACTware**, установленную на компьютере. Ярлык для запуска **PACTware** находится на рабочем столе.

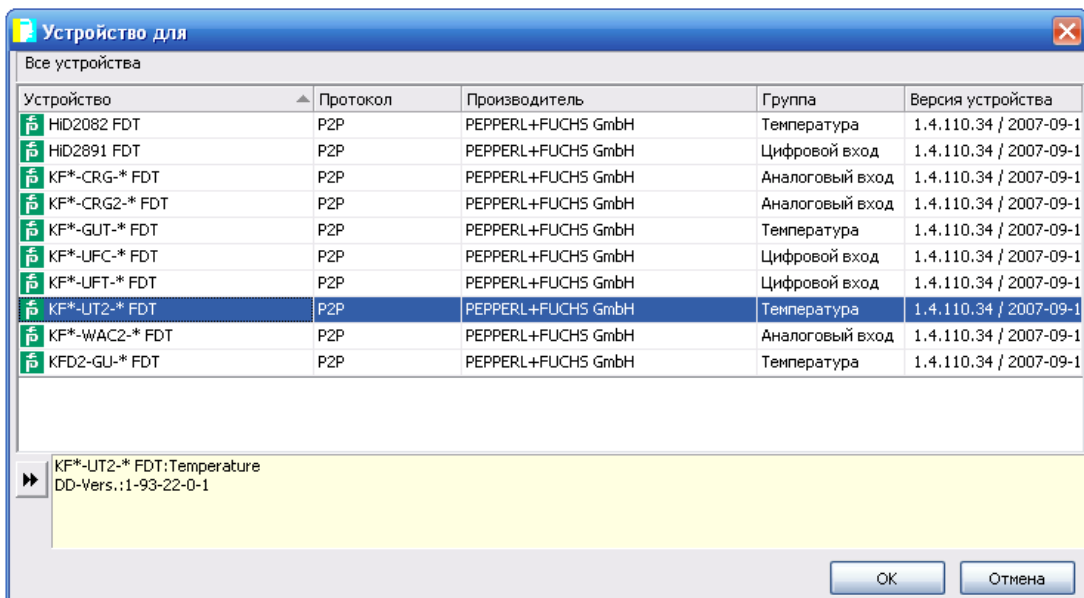
В группе меню **Устройство** в **Панели навигации** выбрать команду **Добавить устройство**.



В открывшемся списке устройств выбрать связь с приборами – P2P RS232 FDT.



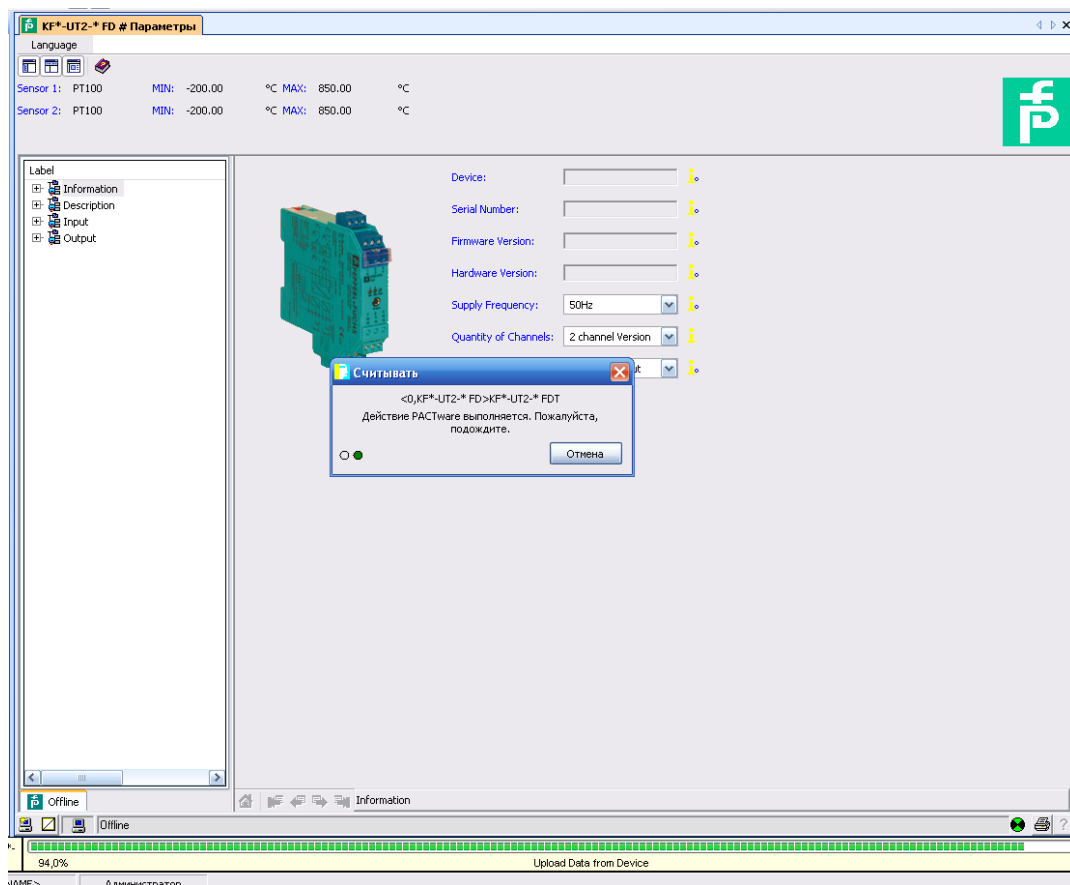
Вновь вызвать группу меню **Устройство**, выбрать **Добавить устройство** и в открывшемся окне выбрать тип барьера **KF\*-UT2-\*FDT**.



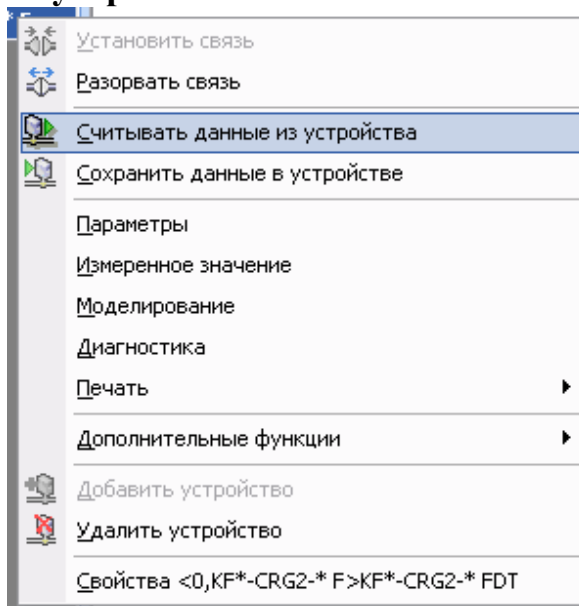
Проект готов для дальнейшей работы.

## Установка связи между компьютером и прибором

Щелчком правой кнопки мыши на каталоге устройств откройте контекстное меню и выберите **Установить связь**. Процесс соединения сопровождается соответствующим окном на экране.

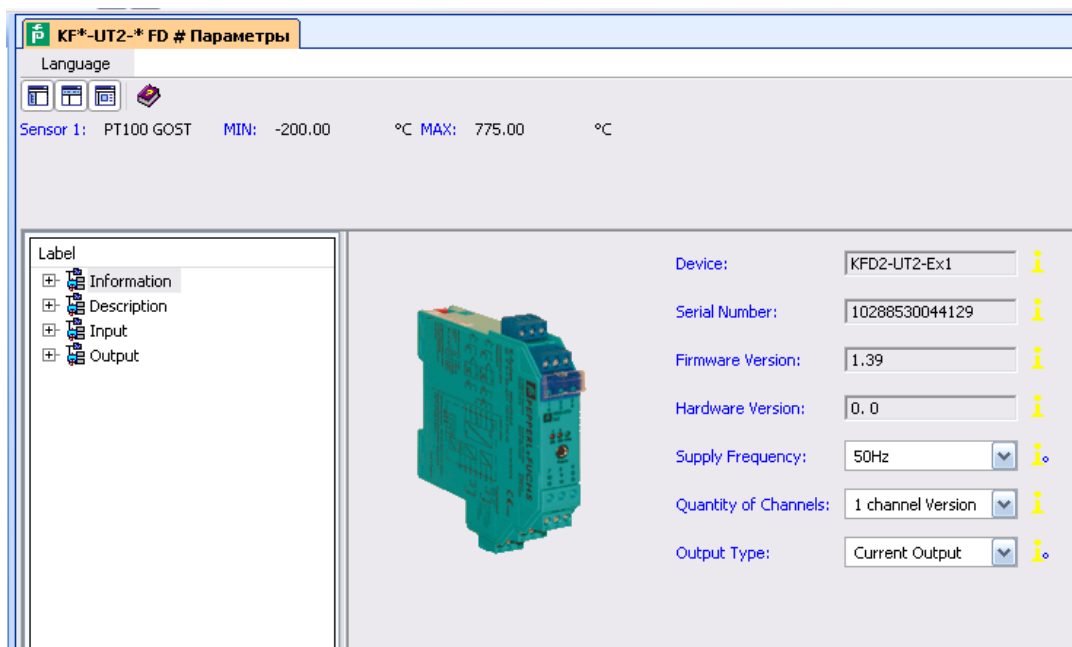


Если подключение прошло успешно, то в контекстном меню выберите команду **Считывать данные из устройства**



На экране появятся свойства барьера сгруппированные по вкладкам, в том числе:

- общая информация;
- информация о входах;
- информация о выходах.



## Информация о входах барьера

The screenshot displays the configuration page for the KF\*-UT2-\* FD # Параметры. At the top, it shows 'Sensor 1: PT100 GOST' with a range from MIN: -200.00 °C to MAX: 775.00 °C. The left sidebar contains a tree view with 'Input 1' selected. The main area features a 3D model of the sensor module. To the right, the configuration parameters are as follows:

- Sensor: Potentiometer
- Connection Mode: +/- 100mV
- Unit: mV
- Cold Junction Compensation: (empty field)
- Ext. Ref. Temp.: 25.00
- Lead Resistance: 0.00 Ohm
- 2-Wire Calibration: (empty field)
- Detect Sensor Breakage:  Active
- Detect Sensor Short Circuit:  Active
- Rate: Standard
- Firmware Version: Version >= 1.35

## Информация о выходах барьера

The screenshot displays the configuration page for the KF\*-UT2-\* FD # Параметры, focusing on the output settings. The left sidebar shows 'Analogue Output 1' selected. The main area contains four graphical representations of current output ranges and their corresponding characteristics:

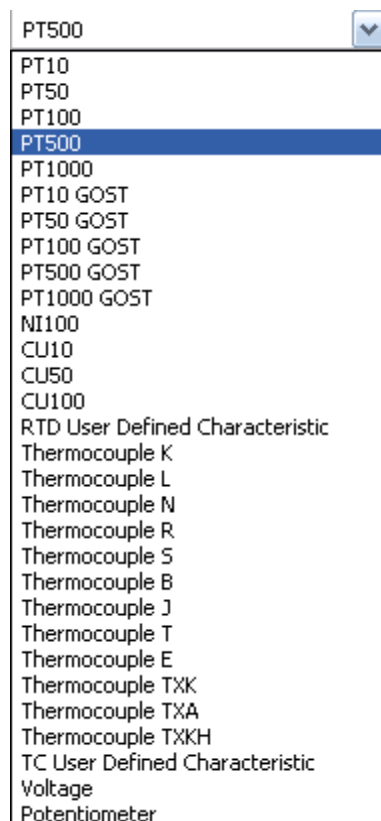
- (1) 0 .. 20mA: A bar chart showing a range from 0 to 20.0 mA, with a green segment from 0 to 20.0 and a red segment from 20.0 to 20.0.
- (1) 4 .. 20mA begrenzt / limited: A bar chart showing a range from 0 to 20.0 mA, with a green segment from 4.0 to 20.0 and a red segment from 0 to 4.0 and from 20.0 to 20.0.
- (1) 4 .. 20mA NE43: A bar chart showing a range from 0 to 21.0 mA, with a green segment from 4.0 to 20.0 and a red segment from 0 to 3.6, from 3.8 to 4.0, and from 20.5 to 21.0.
- (1) 4 .. 20mA unbegrenzt / unlimited: A bar chart showing a range from 0 to 22.0 mA, with a green segment from 4.0 to 20.0 and a red segment from 0 to 2.0 and from 22.0 to 22.0.

On the right, the output configuration parameters are:

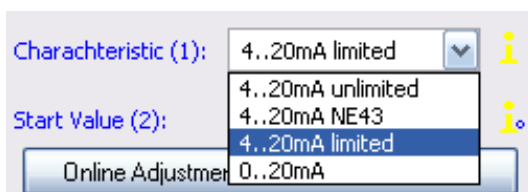
- Assigned Input: Input 1
- Characteristic (1): 4..20mA limited
- Start Value (2): 0.00 °C
- End Value (3): 100.00 °C
- Error Indication: Up- / Downscale
- Output Invert:  Active

## Настройка входов и выходов барьера

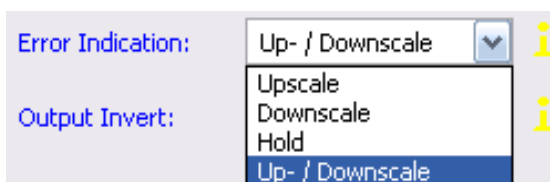
На вкладке Input выбрать тип сенсора и задать диапазон измерения в соответствии с вариантом лабораторной работы.



На вкладке Output установить режим активного источника тока 4..20 mA limited



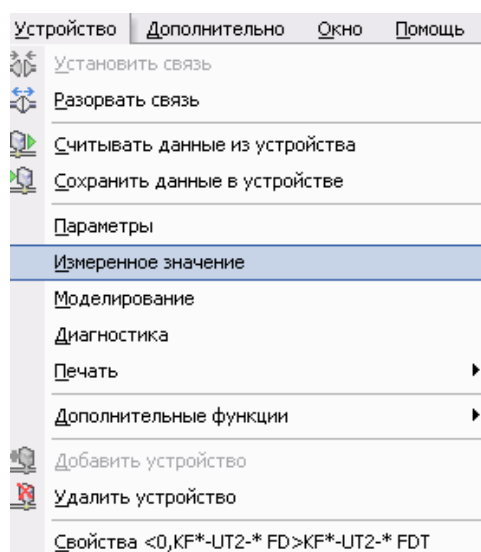
и пределы изменения выходного сигнала барьера Up/Downscale, что означает что измеренное значение не должно быть выше или ниже нормы.



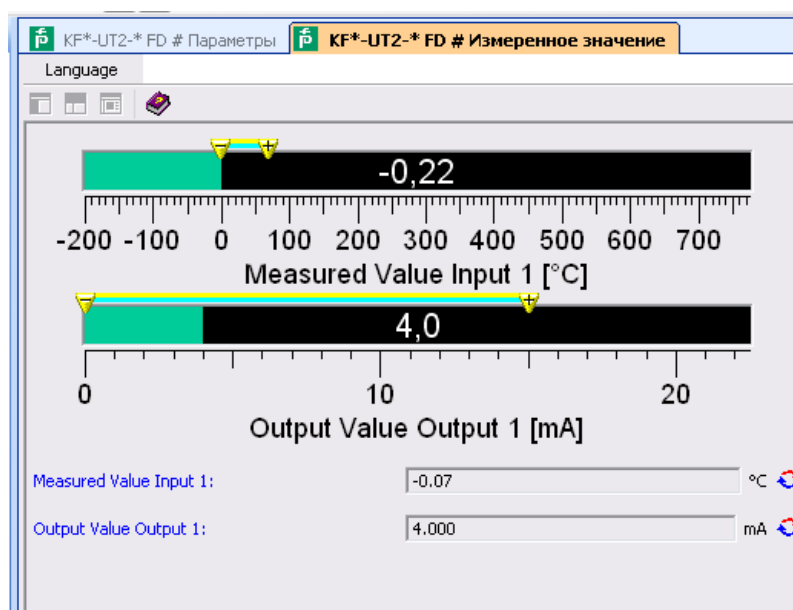
Программа PACTware настроена на работу с конкретным устройством.

## Измерение

Войдите в режим **Измеренное значение**

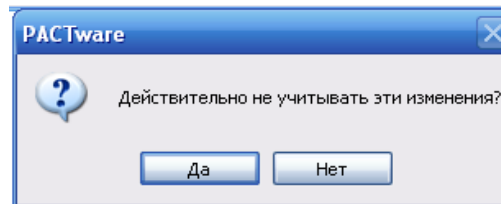
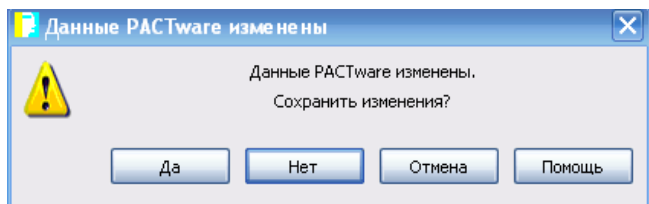


На экране появится окно с результатами измерений



## Завершение работы в PACTware

При выходе изменения в программе **не сохранять**.  
При закрытии программа дважды ответит **Нет**.





Градуировочные таблицы термопреобразователей сопротивления медных и никелевых

Температура термопреобразователя	Сопротивление термопреобразователя медного ТСМ, Ом ( $W_{100}=1,4280$ )			Сопротивление термопреобразователя никелевого ТСН, Ом ( $W_{100}=1,6170$ )	
	100M	50M	10M	100H	50H
1	2	3	4	5	6
<b>-200</b>	<b>12,170</b>	<b>6,085</b>	<b>1,217</b>		
-180	20,580	10,290	2,058		
-160	29,680	14,840	2,968		
<b>-150</b>	<b>34,210</b>	<b>17,105</b>	<b>3,421</b>		
-140	38,710	19,355	3,871		
-120	47,660	23,830	4,766		
<b>-100</b>	<b>56,530</b>	<b>28,265</b>	<b>5,653</b>		
-90	61,010	30,505	6,101		
-80	65,390	32,695	6,539		
-70	69,750	34,875	6,975		
-60	74,110	37,055	7,411	65,450	32,725
<b>-50</b>	<b>78,450</b>	<b>39,225</b>	<b>7,845</b>	<b>74,210</b>	<b>37,105</b>
-45	80,620	40,310	8,062	76,630	38,315
-40	82,780	41,390	8,278	79,100	39,550
-35	84,940	42,470	8,494	81,590	40,795
-30	87,100	43,550	8,710	84,120	42,060
-25	89,260	44,630	8,926	86,680	43,340
-20	91,410	45,705	9,141	89,280	44,640
-15	93,560	46,780	9,356	91,910	45,955
-10	95,710	47,855	9,571	94,570	47,285
-5	97,860	48,930	9,786	97,270	48,635
<b>0</b>	<b>100,000</b>	<b>50,000</b>	<b>10,000</b>	<b>100,000</b>	<b>50,000</b>
5	102,140	51,070	10,214	102,770	51,385
10	104,280	52,140	10,428	105,560	52,780
15	106,420	53,210	10,642	108,400	54,200
20	108,560	54,280	10,856	111,260	55,630
25	110,690	55,345	11,069	114,160	57,080
30	112,830	56,415	11,283	117,100	58,550
35	114,970	57,485	11,497	120,060	60,030
40	117,110	58,555	11,711	123,070	61,535
45	119,250	59,625	11,925	126,100	63,050
<b>50</b>	<b>121,390</b>	<b>60,695</b>	<b>12,139</b>	<b>129,170</b>	<b>64,585</b>
55	123,530	61,765	12,353	132,270	66,135
60	125,670	62,835	12,567	135,410	67,705

1	2	3	4	5	6
65	127,800	63,900	12,780	138,580	69,290
70	129,940	64,970	12,994	141,780	70,890
75	132,080	66,040	13,208	145,020	72,510
80	134,220	67,110	13,422	148,290	74,145
85	136,360	68,180	13,636	151,600	75,800
90	138,500	69,250	13,850	154,940	77,470
95	140,640	70,320	14,064	158,310	79,155
<b>100</b>	<b>142,780</b>	<b>71,390</b>	<b>14,278</b>	<b>161,720</b>	<b>80,860</b>
105	144,910	72,455	14,491	165,210	82,605
110	147,050	73,525	14,705	168,750	84,375
115	149,190	74,595	14,919	172,320	86,160
120	151,330	75,665	15,133	175,950	87,975
125	153,470	76,735	15,347	179,620	89,810
130	155,610	77,805	15,561	183,340	91,670
135	157,750	78,875	15,775	187,100	93,550
140	159,890	79,945	15,989	190,910	95,455
145	162,020	81,010	16,202	194,770	97,385
<b>150</b>	<b>164,160</b>	<b>82,080</b>	<b>16,416</b>	<b>198,680</b>	<b>99,340</b>
155	166,300	83,150	16,630	202,640	101,320
160	168,440	84,220	16,844	206,650	103,325
165	170,580	85,290	17,058	210,710	105,355
170	172,720	86,360	17,272	214,820	107,410
175	174,860	87,430	17,486	218,990	109,495
180	177,000	88,500	17,700	223,210	111,605
185	179,130	89,565	17,913		
190	181,270	90,635	18,127		
195	183,410	91,705	18,341		
<b>200</b>	<b>185,550</b>	<b>92,775</b>	<b>18,555</b>		

Градуировочные таблицы термопреобразователей сопротивления Pt100, Pt50

Температура термопреобразователя	Сопротивление термопреобразователя RTD, Ом					
	W <sub>100</sub> =1,3851		W <sub>100</sub> =1,3900		W <sub>100</sub> =1,3920	
	Pt100	Pt50	Pt100	Pt50	Pt100	Pt50
1	2	3	4	5	6	7
-250						
<b>-200</b>	18,520	9,260	17,470	8,735	17,080	8,540
-150	39,720	19,860	38,950	19,475	38,650	19,325
<b>-100</b>	60,260	30,130	59,750	29,875	59,540	29,770
-90	64,300	32,150	63,840	31,920	63,660	31,830
-80	68,330	34,165	67,920	33,960	67,760	33,880

1	2	3	4	5	6	7
-70	72,330	36,165	71,980	35,990	71,840	35,920
-60	76,330	38,165	76,030	38,015	75,900	37,950
<b>-50</b>	80,310	40,155	80,050	40,025	79,950	39,975
-40	84,270	42,135	84,070	42,035	83,990	41,995
-30	88,220	44,110	88,070	44,035	88,010	44,005
-20	92,160	46,080	92,060	46,030	92,020	46,010
-10	96,090	48,045	96,040	48,020	96,020	48,010
<b>0</b>	<b>100,000</b>	<b>50,000</b>	<b>100,000</b>	<b>50,000</b>	<b>100,000</b>	<b>50,000</b>
10	103,900	51,950	103,950	51,975	103,970	51,985
20	107,790	53,895	107,890	53,945	107,930	53,965
30	111,670	55,835	111,820	55,910	111,880	55,940
40	115,540	57,770	115,740	57,870	115,820	57,910
<b>50</b>	<b>119,400</b>	<b>59,700</b>	<b>119,650</b>	<b>59,825</b>	<b>119,750</b>	<b>59,875</b>
60	123,240	61,620	123,540	61,770	123,660	61,830
70	127,080	63,540	127,420	63,710	127,560	63,780
80	130,900	65,450	131,290	65,645	131,450	65,725
90	134,710	67,355	135,150	67,575	135,330	67,665
<b>100</b>	<b>138,510</b>	<b>69,255</b>	<b>139,000</b>	<b>69,500</b>	<b>139,200</b>	<b>69,600</b>
110	142,290	71,145	142,840	71,420	143,060	71,530
120	146,070	73,035	146,660	73,330	146,900	73,450
130	149,830	74,915	150,470	75,235	150,730	75,365
140	153,580	76,790	154,270	77,135	154,550	77,275
<b>150</b>	<b>157,330</b>	<b>78,665</b>	<b>158,060</b>	<b>79,030</b>	<b>158,360</b>	<b>79,180</b>
160	161,050	80,525	161,840	80,920	162,160	81,080
170	164,770	82,385	165,610	82,805	165,940	82,970
180	168,480	84,240	169,360	84,680	169,710	84,855
190	172,170	86,085	173,100	86,550	173,480	86,740
<b>200</b>	<b>175,860</b>	<b>87,930</b>	<b>176,830</b>	<b>88,415</b>	<b>177,230</b>	<b>88,615</b>
210	179,530	89,765	180,550	90,275	180,960	90,480
220	183,190	91,595	184,260	92,130	184,690	92,345

**Градуировочные таблицы термопреобразователей сопротивления платиновых  
(ГОСТ)**

Температура термопреобразователя	Сопротивление термопреобразователя ТСП, Ом ( $W_{100}=1,3910$ )						
	1П	5П	10П	50П	100П	500П	гр.21
1	2	3	4	5	6	7	8
-260	0,0040	0,0200	0,040	0,200	0,40	2,00	0,187
-250	0,0102	0,0510	0,102	0,510	1,02	5,10	0,470
<b>-200</b>	<b>0,1730</b>	<b>0,8650</b>	<b>1,730</b>	<b>8,650</b>	<b>17,30</b>	<b>86,50</b>	<b>7,950</b>
-150	0,3878	1,9390	3,878	19,390	38,78	193,90	17,847
<b>-100</b>	<b>0,5964</b>	<b>2,9820</b>	<b>5,964</b>	<b>29,820</b>	<b>59,64</b>	<b>298,20</b>	<b>27,440</b>
-90	0,6374	3,1870	6,374	31,870	63,74	318,70	29,330
-80	0,6783	3,3915	6,783	33,915	67,83	339,15	31,210
-70	0,7190	3,5950	7,190	35,950	71,90	359,50	33,080
-60	0,7596	3,7980	7,596	37,980	75,96	379,80	34,940
<b>-50</b>	<b>0,8000</b>	<b>4,0000</b>	<b>8,000</b>	<b>40,000</b>	<b>80,00</b>	<b>400,00</b>	<b>36,800</b>
-40	0,8403	4,2015	8,403	42,015	84,03	420,15	38,650
-30	0,8804	4,4020	8,804	44,020	88,04	440,20	40,500
-20	0,9204	4,6020	9,204	46,020	92,04	460,20	42,340
-10	0,9602	4,8010	9,602	48,010	96,02	480,10	44,170
<b>0</b>	<b>1,0000</b>	<b>5,0000</b>	<b>10,000</b>	<b>50,000</b>	<b>100,00</b>	<b>500,00</b>	<b>46,000</b>
10	1,0396	5,1980	10,396	51,980	103,96	519,80	47,824
20	1,0792	5,3960	10,792	53,960	107,92	539,60	49,643
30	1,1186	5,5930	11,186	55,930	111,86	559,30	51,450
40	1,1578	5,7890	11,578	57,890	115,78	578,90	53,264
<b>50</b>	<b>1,1970</b>	<b>5,9850</b>	<b>11,970</b>	<b>59,850</b>	<b>119,70</b>	<b>598,50</b>	<b>55,060</b>
60	1,2361	6,1805	12,361	61,805	123,61	618,05	56,862
70	1,2750	6,3750	12,750	63,750	127,50	637,50	58,653
80	1,3138	6,5690	13,138	65,690	131,38	656,90	60,438
90	1,3525	6,7625	13,525	67,625	135,25	676,25	62,210
<b>100</b>	<b>1,3911</b>	<b>6,9555</b>	<b>13,911</b>	<b>69,555</b>	<b>139,11</b>	<b>695,55</b>	<b>63,992</b>
110	1,4296	7,1480	14,296	71,480	142,96	714,80	65,761
120	1,4679	7,3395	14,679	73,395	146,79	733,95	67,524
130	1,5061	7,5305	15,061	75,305	150,61	753,05	69,282
140	1,5443	7,7215	15,443	77,215	154,43	772,15	71,030
<b>150</b>	<b>1,5823</b>	<b>7,9115</b>	<b>15,823</b>	<b>79,115</b>	<b>158,23</b>	<b>791,15</b>	<b>72,782</b>
160	1,6202	8,1010	16,202	81,010	162,02	810,10	74,523
170	1,6579	8,2895	16,579	82,895	165,79	828,95	76,259
180	1,6956	8,4780	16,956	84,780	169,56	847,80	77,990
190	1,7331	8,6655	17,331	86,655	173,31	866,55	79,715
<b>200</b>	<b>1,7705</b>	<b>8,8525</b>	<b>17,705</b>	<b>88,525</b>	<b>177,05</b>	<b>885,25</b>	<b>81,435</b>
210	1,8078	9,0390	18,078	90,390	180,78	903,90	83,150
220	1,8450	9,2250	18,450	92,250	184,50	922,50	84,859
230	1,8821	9,4105	18,821	94,105	188,21	941,05	86,562

1	2	3	4	5	6	7	8
240	1,9190	9,5950	19,190	95,950	191,90	959,50	88,262
<b>250</b>	<b>1,9559</b>	<b>9,7795</b>	<b>19,559</b>	<b>97,795</b>	<b>195,59</b>	<b>977,95</b>	<b>89,960</b>
260	1,9928	9,9640	19,928	99,640	199,28	996,40	91,642
270	2,0292	10,1460	20,292	101,460	202,92	1 014,60	93,330
280	2,0657	10,3285	20,657	103,285	206,57	1 032,85	95,001
290	2,1021	10,5105	21,021	105,105	210,21	1 051,05	96,680
<b>300</b>	<b>2,1383</b>	<b>10,6915</b>	<b>21,383</b>	<b>106,915</b>	<b>213,83</b>	<b>1 069,15</b>	<b>98,338</b>
350	2,3178	11,5890	23,178	115,890	231,78	1 158,90	106,600
<b>400</b>	<b>2,4944</b>	<b>12,4720</b>	<b>24,944</b>	<b>124,720</b>	<b>249,44</b>	<b>1 247,20</b>	<b>114,720</b>
450	2,6681	13,3405	26,681	133,405	266,81	1 334,05	122,700
<b>500</b>	<b>2,8389</b>	<b>14,1945</b>	<b>28,389</b>	<b>141,945</b>	<b>283,89</b>	<b>1 419,45</b>	<b>130,550</b>
550	3,0067	15,0335	30,067	150,335	300,67	1 503,35	138,270
<b>600</b>	<b>3,1717</b>	<b>15,8585</b>	<b>31,717</b>	<b>158,585</b>	<b>317,17</b>	<b>1 585,85</b>	<b>145,850</b>
650	3,3323	16,6615	33,323	166,615	333,23	1 666,15	153,300
<b>700</b>	<b>3,4912</b>	<b>17,4560</b>	<b>34,912</b>	<b>174,560</b>	<b>349,12</b>	<b>1 745,60</b>	<b>160,508</b>
750	3,6472	18,2360	36,472	182,360	364,72	1 823,60	167,656
<b>800</b>	<b>3,8002</b>	<b>19,0010</b>	<b>38,002</b>	<b>190,010</b>	<b>380,02</b>	<b>1 900,10</b>	<b>174,671</b>
850	3,9503	19,7515	39,503	197,515	395,03	1 975,15	181,549
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>900</b>	<b>4,0975</b>	<b>20,4875</b>	<b>40,975</b>	<b>204,875</b>	<b>409,75</b>	<b>2 048,75</b>	<b>188,293</b>
950	4,2417	21,2085	42,417	212,085	424,17	2 120,85	194,902
<b>1000</b>	<b>4,3830</b>	<b>21,9150</b>	<b>43,830</b>	<b>219,150</b>	<b>438,30</b>	<b>2 191,50</b>	<b>201,377</b>
1050	4,5214	22,6070	45,214	226,070	452,14	2 260,70	
<b>1100</b>	<b>4,6568</b>	<b>23,2840</b>	<b>46,568</b>	<b>232,840</b>	<b>465,68</b>	<b>2 328,40</b>	

**Для замечаний**



# Изучение методов и средств измерения температуры

## Методические указания




Составитель Курганов Василий Васильевич

Подписано к печати 20.03.2016.

Формат 60x84-16. Бумага «Классика»

Печать RISO. Усл. печ. л. 1.16. Уч. – изд. л. 1.05.

Заказ № . Тираж 100 экз.

	<p>Томский политехнический университет Система менеджмента качества Томского политехнического университета сертифици- рована NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту ISO 9001:2000</p>	
<p>ИЗДАТЕЛЬСТВО  . 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.</p>		