

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Строительно-политехнический колледж

**МДК.04.01 Производство работ по
неразрушающему контролю, контролю качества
продукции и технологического процесса**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ на тему: «Назначение и устройство контрольно-измерительных приборов» для студентов специальности 27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)» всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 30ця7

ББК Н 197

Составитель А. В. Иванова

Производство работ по неразрушающему контролю, контролю качества продукции и технологического процесса: методические указания к выполнению практических работ для студентов специальности 27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: М. С. Веденева. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. – 19 с.

Методические указания содержат теоретический материал, необходимый для выполнения практических работ по дисциплине «Производство работ по неразрушающему контролю, контролю качества продукции и технологического процесса». Разработано на основе требований ФГОС СПО с опорой на научные принципы формирования содержания образования.

Предназначены для студентов, обучающихся по специальности 27.02.07 «Управление качеством продукции, процессов и услуг (по отраслям)».

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ПР_ПРрНКККПиТП_1.

УДК 30ця7

ББК Н 197

Рецензент – И. В. Поцбнева, канд. техн. наук, доц. кафедры систем управления и информационных технологий в строительстве Воронежского государственного технического университета

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

Практическая работа «Назначение и устройство контрольно-измерительных приборов»

1 Цель работы – изучить основные виды контрольно-измерительных приборов и овладеть навыками их применения.

2 Основные теоретические положения

Контрольно-измерительные средства в технике – обобщённое название группы средств, применяемых для измерения и контроля линейных и угловых размеров деталей и готовых изделий.

Технические средства с нормированными метрологическими параметрами или свойствами, предназначенные для нахождения значения физической величины опытным путём, принято называть средствами измерения (измерительными).

Если же при определении значения физической величины опытным путём необходимо установить, находится ли размер в пределах нормируемых допускаемых значений, то такие средства называются контрольными.

Все применяемые для измерения приборы, на которых можно отсчитать значение размера, могут использоваться также для контроля.

Условно контрольно-измерительные средства разделяются на измерительные инструменты и измерительные приборы. Наиболее часто к инструментам относят простейшие средства (линейки, калибры, штангенциркули), а к приборам - более сложные (профилометры, микрометры и т.д.).

В государственных стандартах принято укрупнённое разделение контрольно-измерительных средств на меры и измерительные приборы.

К мерам относят контрольно-измерительные средства, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера (например, концевые меры, калибры).

К измерительным приборам относят средства измерения, выдающие сигнал измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (оператором). Например, в аналоговых приборах показания, т.е. значения измеряемых величин, определяют по отсчётному устройству. В регистрирующих приборах предусмотрена регистрация показаний самописцем и печатающим устройством.

По принципу действия различают механические, оптические, электрические и пневматические измерительные приборы или комбинированные – оптико-механические, пневмоэлектрические, пневмооптические и т.д.

Принцип действия прибора часто отражается в его названии, например: электроиндуктивный профилометр, пневматический прибор для измерения внутренних размеров и т.д.

В зависимости от принципа действия измерительные приборы имеют различные преобразовательные элементы.

Так, в механических приборах используют механические преобразовательные устройства: резьбовые (например, в микрометре), рычажные (в миниметре), рычажно-зубчатые, зубчатые (в индикаторе часового типа), пружинные (в микрокаторе).

В оптических измерительных приборах действие преобразовательных устройств основывается на световых явлениях; в электрических приборах – на электрических явлениях (индуктивности, фотоэлектрических эффектах и др.).

В пневматических измерительных приборах действие основано на зависимости количества воздуха, протекающего в единицу времени через отверстие, от площади самого узкого поперечного сечения этого отверстия.

Основными метрологическими показателями, определяющими эксплуатационные характеристики прибора, являются: цена деления шкалы, диапазон измерений, предел и погрешность измерений.

Существует условное разделение контрольно-измерительных средств на универсальные и специальные.

К универсальным средствам измерения относятся те, с помощью которых измеряют и контролируют линейные величины (диаметры и длины) независимо от конфигурации контролируемой детали (штанген-инструмент, микрометры, скобы, оптиметры и др.).

Специальные средства измерения предназначаются для измерения либо деталей определенной конструктивной формы (например, зубоизмерительные приборы, резьбоизмерительный инструмент и т.д.), либо определённого параметра изделия (шероховатости, плоскостности, прямолинейности и т.д.).

По расположению относительно детали различают контрольно-измерительные средства: накладные, станковые и приставные. Накладные средства измерения располагаются на детали, в станковых средствах деталь располагается при измерении на приборе, пристав-

ные средства координируются вместе с деталью относительно одной базовой поверхности.

По характеру взаимодействия с деталями контрольно-измерительные средства разделяют на контактные, чувствительный элемент которых имеет механический контакт с поверхностью детали, и бесконтактные, в которых контакт отсутствует (например, оптические и пневматические приборы).

По степени участия оператора в процессе измерения контрольно-измерительные средства разделяют на ручные, механизированные, полуавтоматические и автоматические.

Одним из основных направлений в развитии контрольно-средств является создание мер и приборов, предназначенных для использования их непосредственно на рабочих местах. Большое значение придаётся при этом разработке узкоспециализированных контрольно-измерительных средств повышенной износостойкости и точности, например, контактные части некоторых инструментов оснащают пластинками из твёрдых сплавов и алмаза, приборы с электрическими преобразовательными устройствами имеют отсчётные системы с ценой деления 1 мкм и менее.

Наиболее перспективно использование приборов для контроля параметров, которые должны быть устойчивыми в процессе изготовления деталей (например, прибор для контроля шероховатости поверхности - профилометр), приборов для контроля некруглости детали – кругломеров, приборов для измерения кинематической погрешности зубообрабатывающих станков и т.д. Показания таких приборов записываются обычно в виде диаграмм или в цифровой форме.

Широкое распространение получили приборы для предварительной размерной настройки положения режущего инструмента для станков с программным управлением. Такие приборы позволяют поддерживать заданную точность обработки и значительно сокращают простой оборудования.

Ускорить процесс получения результатов и уменьшить погрешность измерений позволяет использование контрольноизмерительных средств совместно с ЭВМ.

2.1 Применение контрольно-измерительных приборов

Для работы надо знать, что измерительные инструменты позволяют определить действительные размеры детали и их отклонение от номинальных значений. К ним относятся: линейки измерительные, штангенциркули, микрометры, угломеры, рейсмасы, индикаторы и т.д.

Контрольные инструменты определяют только ошибки размеров и формы детали, но не указывают размер ошибок. К ним относятся предельные калибры (пробки, кольца, скобы, втулки), шаблоны, щупы, угольники, лекальные линейки и др.

Измерение кронциркулем и нутромером представлено на рисунке 1.

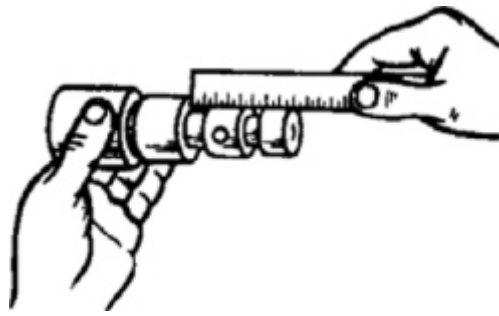
Кронциркуль (рисунок 1б) — наиболее простой инструмент для грубых измерений наружных размеров обрабатываемых деталей. Кронциркуль состоит из двух изогнутых ножек, которые сидят на одной оси и могут вокруг нее вращаться. Разведя ножки кронциркуля несколько больше измеряемого размера, легким постукиванием об измеряемую деталь или какой-нибудь твердый предмет сдвигают их так, чтобы они вплотную касались наружных поверхностей измеряемой детали.

Способ переноса размера с измеряемой детали на измерительную линейку показан на рисунке 1а.

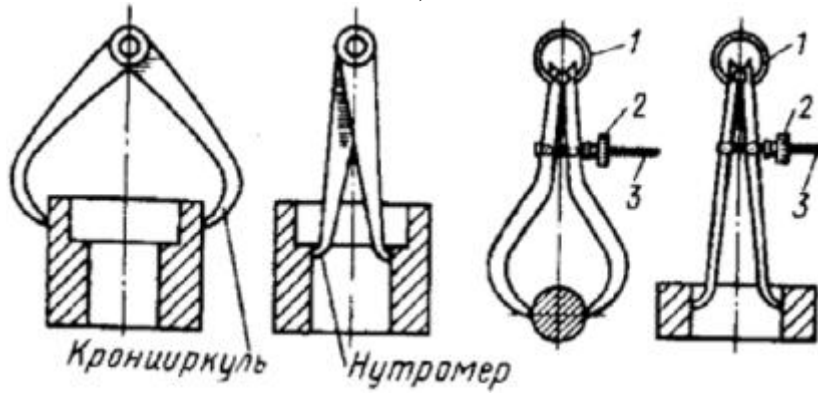
Для грубых измерений внутренних размеров служит нутромер, а также пружинный нутромер (рисунок 1б). Устройство нутромера сходно с устройством кронциркуля; сходно также и измерение этими инструментами.

Вместо нутромера можно пользоваться кронциркулем, заводя его ножки одна за другую (рисунок 1в).

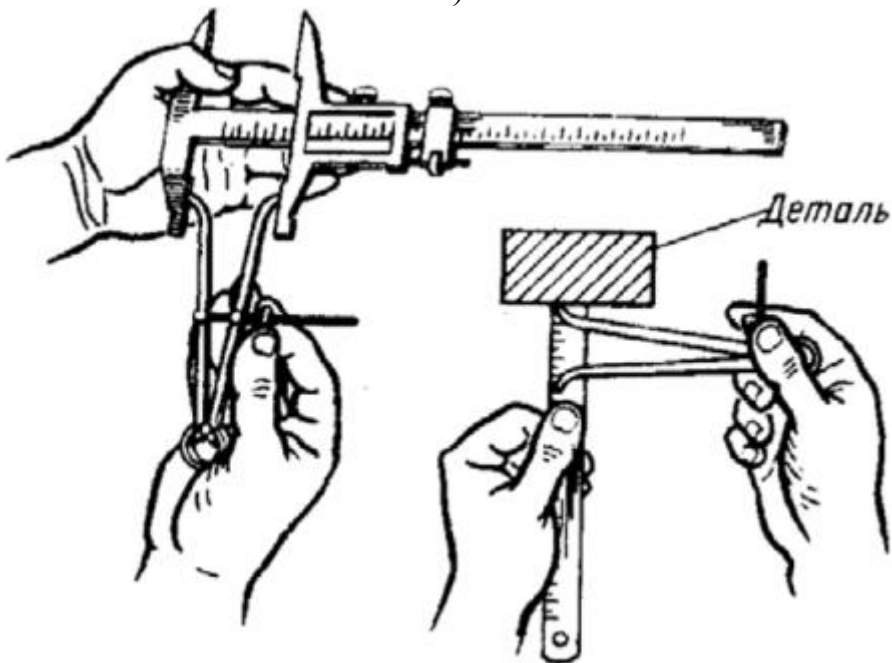
Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних диаметров, длин, толщин и т.д. На рисунке 2 изображены два типа штангенциркулей: с величиной отсчёта 0,05 мм и с глубиномером. Использование нониуса позволяет получить отсчёт дробных частей миллиметра.



а)



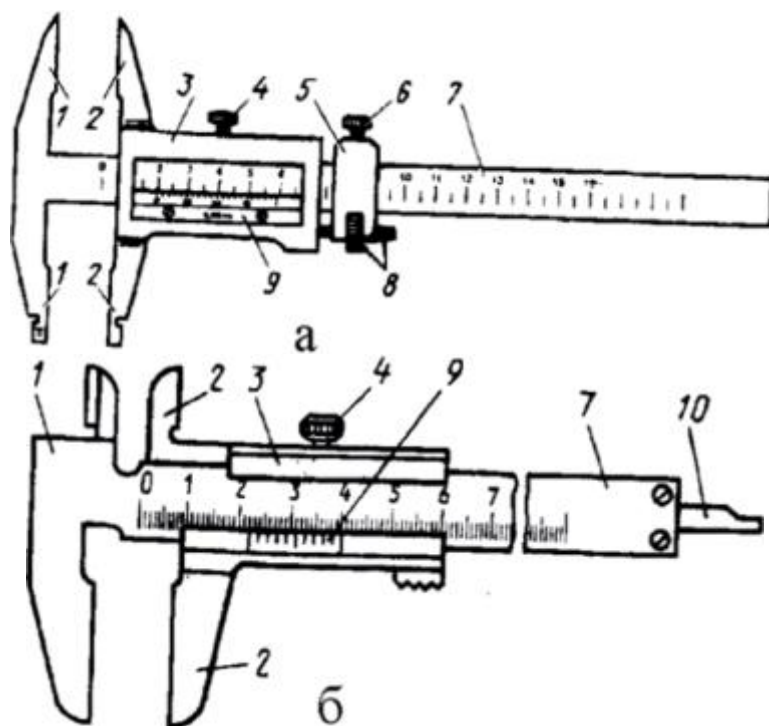
б)



в)

1 – кольцевая разжимная пружина; 2 – регулировочная гайка; 3 – винт

Рисунок 1 – Приёмы измерения кронциркулем и нутромером



а – штангенциркуль с величиной отсчёта 0,05 мм;
 б – штангенциркуль с глубиномером

Рисунок 2 – Штангенциркули

Микрометры предназначены для измерения наружных размеров деталей. На рисунке 3 показаны основные элементы микрометра, а на рисунке 4 правила отсчёта величины измерения.

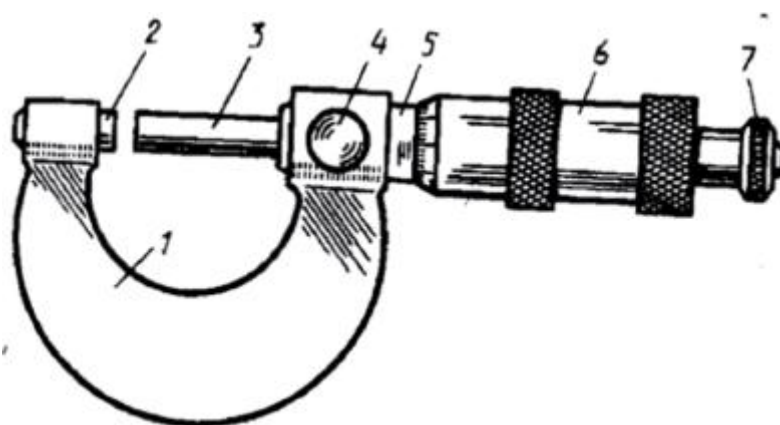


Рисунок 3 – Микрометр

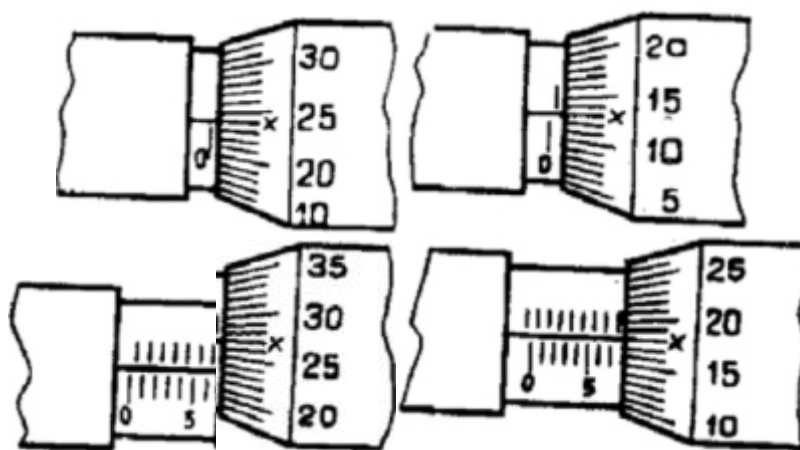
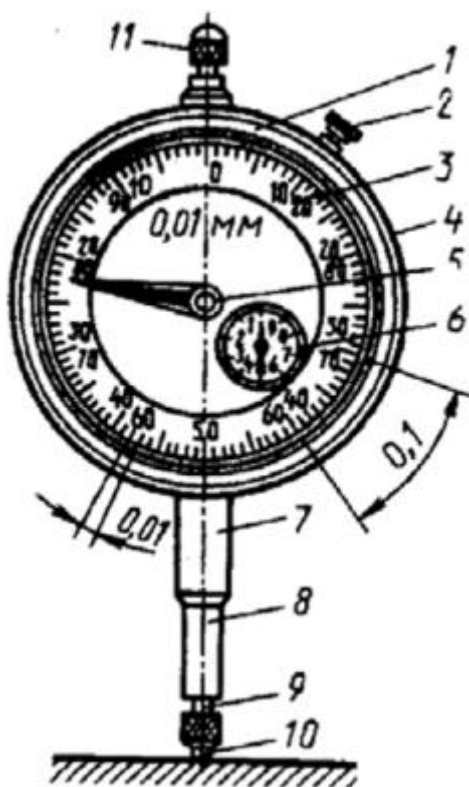


Рисунок 4 – Примеры отсчёта показаний микрометра



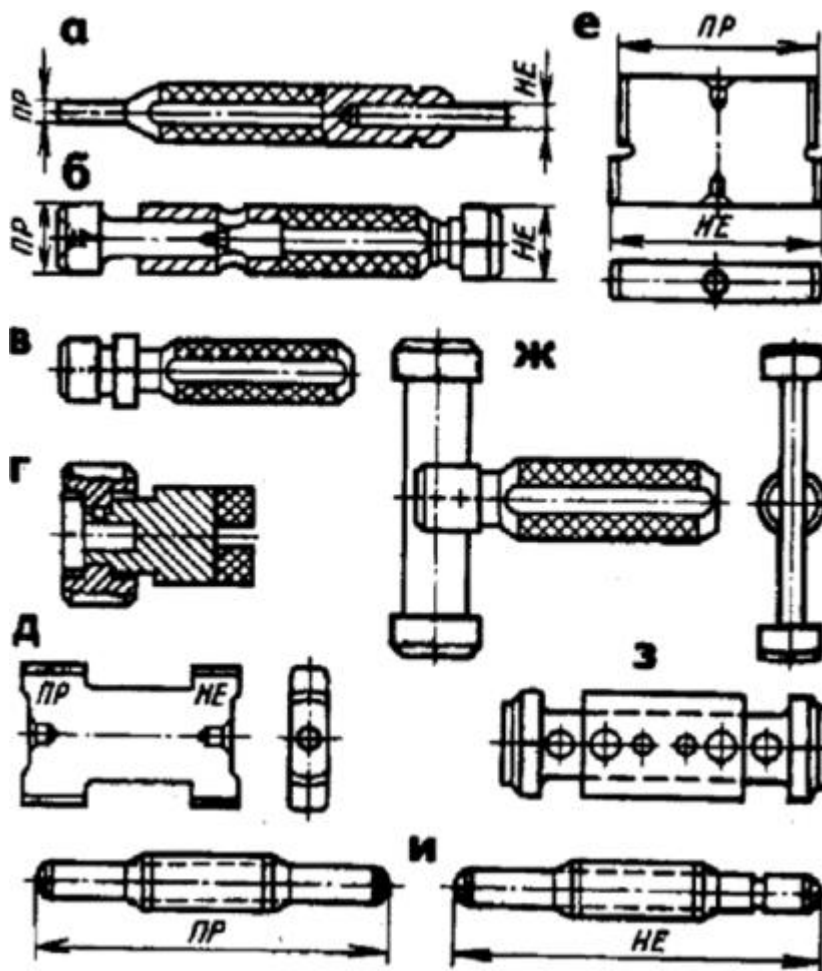
1 – корпус; 2 – стопор обода; 3 – циферблат; 4 – обод; 5 – стрелка;
 6 – указатель полных чисел оборотов; 7 – гильза; 8 – стержень;
 9 – наконечник; 10 – измерительный шарик; 11 – головка

Рисунок 5 – Индикатор (измерительная головка)

Индикаторы (микромеры) предназначены для проверки овальности, торцевого и радиального биения и других отклонений формы и расположения поверхностей деталей или целых узлов в собранном состоянии (рисунок 5).

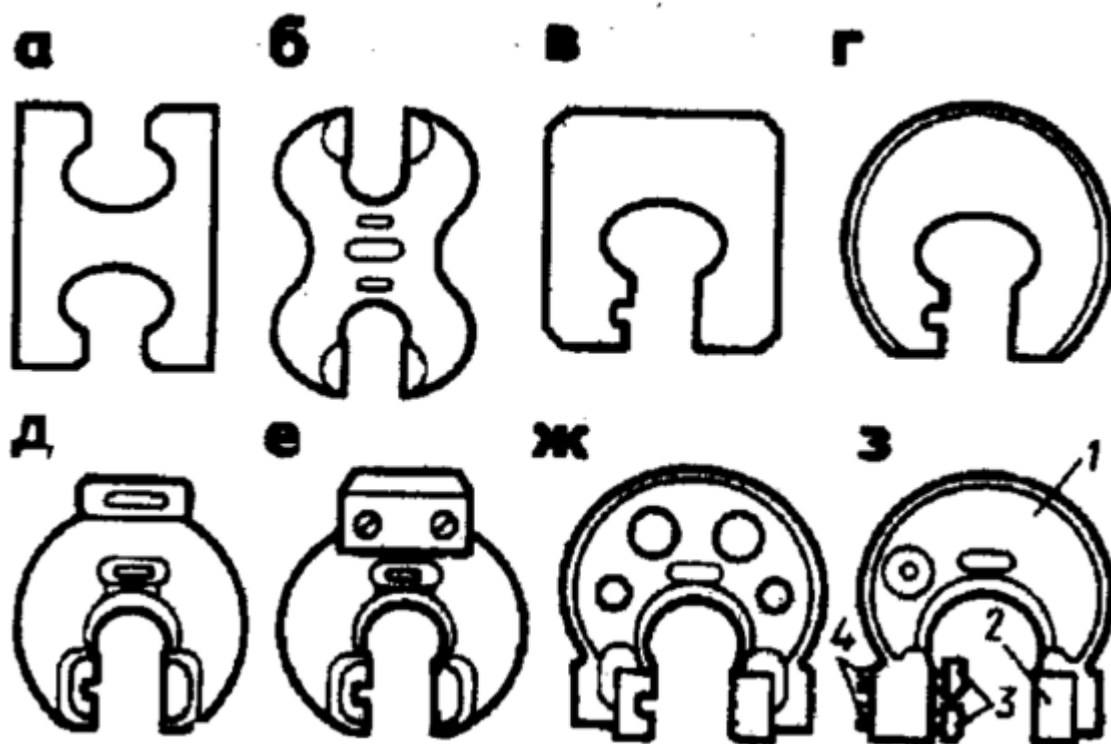
Калибры предназначены для контроля размера отверстий и наружных поверхностей деталей. Обычно калибры имеют две измерительные поверхности проходной и непроходной частей. Для проверки отверстий используют калибры-пробки, а для валов -калибры-скобы.

На рисунках 6 и 7 представлены калибры-пробки и калибры-скобы.



а – из проволоки для диаметров до 3 мм; б – с коническими хвостовиками; г – с насадками; д – неполные листовые двусторонние; в – неполные листовые односторонние; ж – неполные односторонние с ручкой; з – неполные односторонние с накладкой; и – предельные нутромеры (штихмасы) в комплекте из 2 шт.

Рисунок 6 – Калибры для контроля отверстий



а – двусторонняя листовая; б – двусторонняя штампованная;
 в, г – односторонние двухпредельные листовые; д, в – односторонние
 двухпредельные штампованные; ж – со вставными губками литые;
 з – регулируемые; 1- литой корпус; 2 – неподвижная губка;
 3 – регулируемые губки; 4 – регулируемые винты

Рисунок 7 – Калибры-скобы для контроля валов

Шаблоны применяют для проверки сложных профилей и линейных размеров и изготавливаются из листового материала.

Шаблоны для контроля линейных размеров предназначены для проверки длин, глубин и высот уступов, а также неточных деталей сложной формы, изготавливаемых по 11-17 квалитетам точности.

Примеры шаблонов показаны на рисунке 8.

Годность изделия определяют по наличию зазора между соответствующими поверхностями шаблона и изделия. Вместо проходной и непроходной сторон у этих калибров различают стороны, соответствующие наибольшему и наименьшему предельным размерам изделия.

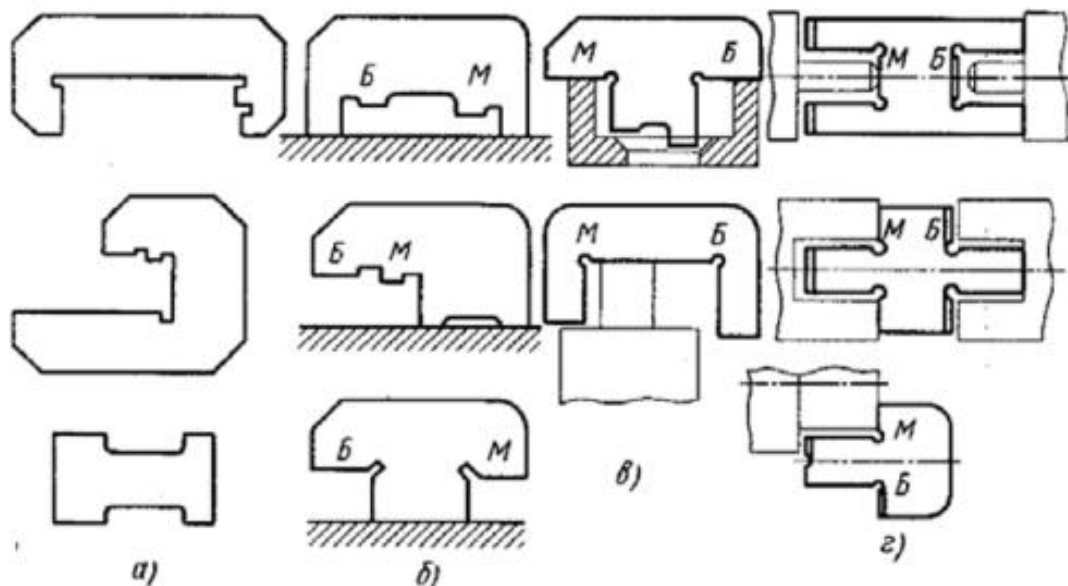


Рисунок 8 – Шаблоны для линейных размеров

Допуски предельных калибров (шаблонов) для глубин и высот уступов для 11-17 квалитетов точности установлены ГОСТ 2534-77.

Расположение полей допусков калибров зависит от направления их износа. При изготовлении калибров для собственного производства допуск на изготовление разрешается увеличить до 50 % за счет поля допуска на износ

К калибрам для проверки линейных размеров можно отнести также щупы, которые представляют собой пластинки из пружинной стали с параллельными измерительными плоскостями. Их применяют для проверки величины зазора между поверхностями. Щупы изготовляют с номинальными размерами от 0,02 до 1 мм длиной 50, 100 или 200 мм. Щупы применяют для измерения размера зазора между сопрягаемыми поверхностями деталей.

Резьбовые калибры (пробки и кольца) применяют для контроля внутренних и наружных резьб.

Плоско-параллельные концевые меры длины применяют для переноса размера единицы длины на изделие (при разметке), проверки и настройки средств измерения (микрометров, калибров-скоб и других), непосредственного измерения размеров изделий, приспособлений, штампов, при наладке станков и т.п. (рисунок 9). На рисунке 10 показаны приёмы измерения и разметки плоскопараллельными концевыми мерами.

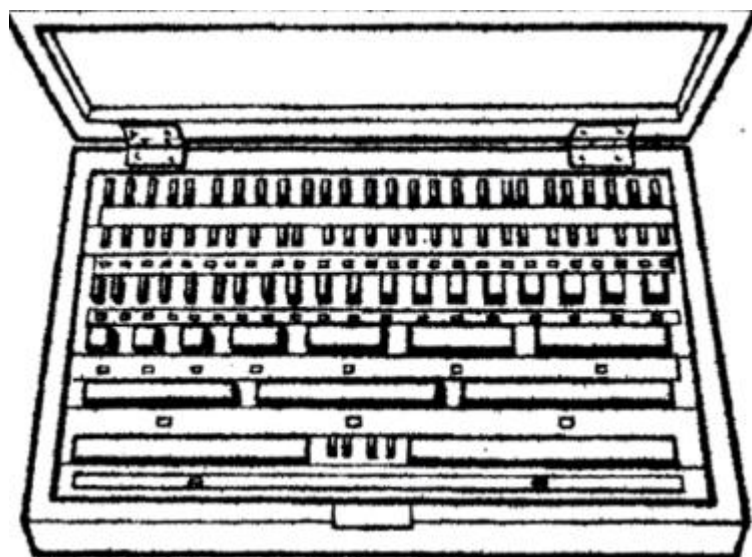


Рисунок 9 – Набор плоскопараллельных концевых мер длины в футляре

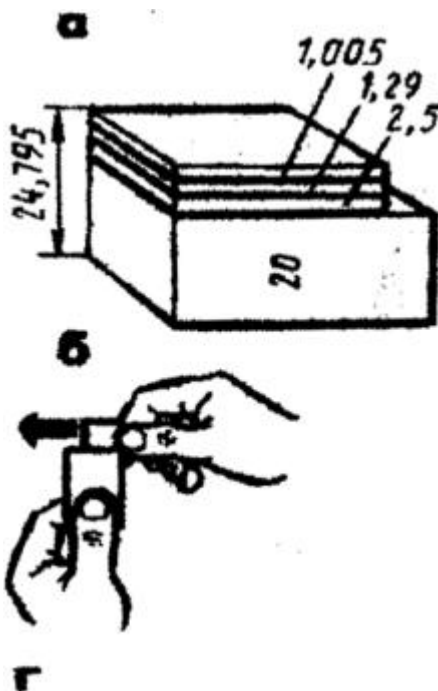


Рисунок 10 – Приёмы измерения и разметки плоско-параллельными концевыми мерами длины

2.2 Цифровые вольтметры

Вольтметры являются измерительными приборами, которые предназначены для измерения электродвижущей силы в электрической цепи на некотором ее участке, то есть, для измерения разности электрических потенциалов, которое называется напряжением. Еди-

ницей измерения этого параметра является Вольт. Такой измерительный прибор должен подключаться параллельно измеряемому участку или нагрузке. Если вольтметр подключить к выводам батарейки или блока питания, то прибор покажет не напряжение, а электродвижущую силу, так как при подключении в цепь с нагрузкой напряжение меняется.

Если говорить о способе монтажа, то вольтметры подразделяют на три основные группы:

- стационарные;
- щитовые;
- переносные;

Как становится ясно из названия, стационарные приборы используются там, где необходим постоянный контроль, щитовые – в распределительных щитках и на приборных панелях, а переносные – в компактных приборах, которые можно использовать в любом месте (рисунок 11).



Рисунок 11 – Внешний вид цифровых вольтметров

По назначению все вольтметры делятся:

- переменного тока;
- постоянного тока;
- селективные;
- фазочувствительные;
- импульсные.

Вольтметры переменного тока, как и постоянного используются для измерений в сетях с соответствующим типом тока, а вот селективные – могут отделять гармоническую составляющую сложного сигнала, и определять среднеквадратическое значение напряжения.

На рисунке 12 показана обобщенная структурная схема цифрового вольтметра.

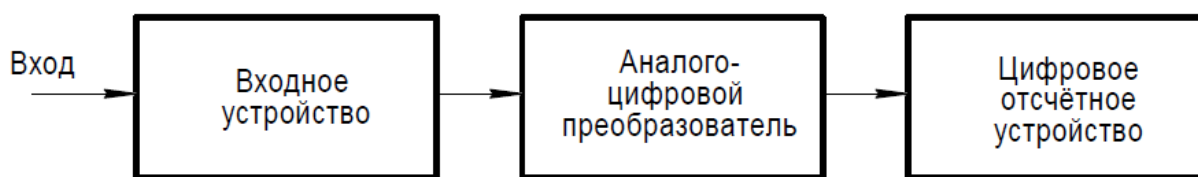


Рисунок 12–Обобщенная структурная схема цифрового вольтметра

При измерении постоянного напряжения оно может поступать на выходное устройство непосредственно или через фильтр, необходимый для подавления помех промышленной частоты 50 Гц и ее гармоник.

Входное устройство обеспечивает высокоомный вход и расширение пределов измерения. С его выхода аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) "напряжение код", а цифровой код с выхода последнего на цифровое отчетное устройство, а также на цифровой выход.

Мультиметр – это электротехнический прибор, который может измерять различные параметры электрического тока. Это в основном напряжение, сопротивление, сила тока, емкость конденсаторов, а также некоторые функции, типа прозвонки и проверки целостности диодов и транзисторов.

В настоящее время на полке можно увидеть большое разнообразие этих приборов. Цифровые мультиметры уже почти вытеснили аналоговые мультиметры в силу своей дешевизны, удобства, а также многозадачности.

Наиболее простые цифровые мультиметры имеют портативное исполнение. Их разрядность 2,5 цифровых разряда (погрешность обычно около 10 %). Наиболее распространены приборы с разрядностью 3,5 (погрешность обычно около 1,0 %). Выпускаются также чуть более дорогие приборы с разрядностью 4,5 (точность обычно около 0,1 %) и существенно более дорогие приборы с разрядностью 5 разрядов и выше.

Разрядность цифрового измерительного прибора, например, «3,5» означает, что дисплей прибора показывает 3 полноценных разряда, с диапазоном от 0 до 9, и 1 разряд – с ограниченным диапазоном. Так, прибор типа «3,5 разряда» может, например, давать показания в пределах от 0,000 до 1,999, при выходе измеряемой величины

за эти пределы требуется переключение на другой диапазон (ручное или автоматическое).

Количество разрядов не определяет точность прибора. Точность измерений зависит от точности АЦП, от точности, термо- и временной стабильности применённых радиоэлементов, от качества защиты от внешних наводок, от качества проведённой калибровки.

Типичные диапазоны измерений, например, для распространённого мультиметра M830-832:

– постоянное напряжение (DCV): 0..200 мВ, 2 В, 20 В, 200 В, 1000 В;

– переменное напряжение (ACV): 0..200 В, 750 В.

Внешний вид и расположение органов управления мультиметра серии 830-832 представлено на рисунке 13.



Рисунок 13 – Расположение органов управления мультиметра серии 830-832

Конструктивно прибор представляет собой прямоугольного вида корпус с округлёнными углами из крепкого пластика. Его длина и ширина соответственно составляют 126 и 70 мм, а толщина всего 28 мм. Вес в полной комплектации не превышает 150 грамм. Устройство выпускается в чёрном цвете с нанесёнными белыми надписями,

обозначающими возможное положение переключателя. Тестер имеет жидкокристаллический экран, три гнезда для подключения измерительных проводов и переключатель режимов галетного типа. Сзади устройства расположен отсек с закрывающейся крышкой для размещения батарейки. Для работы мультиметра требуется элемент питания типа «КРОНА» с напряжением девять вольт.

Передняя панель прибора устроена следующим образом.

Переключатель функций и диапазонов. Этот переключатель используется как для выбора функций и желаемого предела измерений так и для выключения прибора. Для продления срока службы батареи переключатель должен быть в положении “OFF” когда прибор не используется.

Дисплей. 3,5-разрядный 7-сегментный ЖКИ высотой 0.5 дюйма.

Разъем “COMMON” (общий). Разъем для черного (отрицательного) провода-щупа.

Разъем “V,Ω,mA”. Разъем для красного (положительного) провода-щупа для измерения всех напряжений, сопротивлений и токов (кроме 10 А).

Разъем “10A”. Разъем для красного (положительного) провода-щупа для измерения токов в диапазоне до 10А.

Точность гарантируется на срок не менее 1 года при температуре 23+50С и относительной влажности не более 75%.

Точность измерения постоянного и переменного напряжения приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Точность измерения постоянного и переменного напряжения

Диапазон	Разрешающая способность	Точность при 18-28 ⁰ С
Постоянное напряжение (DCV)		
200 мВ	100 мкВ ± 0,25% ± 2D	± 0,25% ± 2D
2 В	1 мВ	± 0,5% ± 2D
20 В	10 мВ	
200 В	0,1В	
1000 В	1 В	
Переменное напряжение (ACV)		
200 В	0,1В	± 1.2% ± 10D
750 В	1 В	± 1.2% ± 10D
Примечание – D – единица младшего разряда		

Измерение постоянного напряжения

1. Подключите красный щуп к входу “V,Ω,mA”, а черный к “СОМ”.
2. Установите переключатель пределов измерений на требуемый предел DCV, если измеряемое напряжение заранее неизвестно установите переключатель на наибольший предел, а затем уменьшайте до тех пор, пока не получите необходимую точность измерений.
3. Подсоедините щупы к исследуемой схеме или устройству.
4. Включите питание исследуемой схемы или устройства, на дисплее возникнут полярность и величина измеряемого напряжения.

Измерение переменного напряжения

1. Подключите красный щуп к входу “V,Ω,mA”, а черный к “СОМ”.
2. Установите переключатель пределов измерений на требуемый предел AC V.
3. Подсоедините щупы к исследуемой схеме или устройству.
4. Считайте показания на дисплее.

2.3 Термопары

Термопара (ТП) – это термоэлектрическое устройство замкнутой цепи, чувствительное к температуре, которое состоит из двух проводников, выполненных из разнородных металлов, которые соединены на обоих концах. Электрический ток создается, когда температура на одном конце или спае, отличается от температуры на другом конце. Это явление носит название эффекта Зеебека, который является основой измерения температуры с помощью термопар.

Один конец называется горячим спаем, а другой конец называется холодным спаем. Измерительный элемент с горячим спаем помещается внутрь оболочки первичного преобразователя, и на него воздействует температура технологического процесса. Холодный спай или опорный спай – это точка подключения вне технологического процесса, где температура известна и где измеряется напряжение. (например, в измерительном преобразователе, на входной плате системы управления или в устройстве формирования сигналов) (рисунок 14).

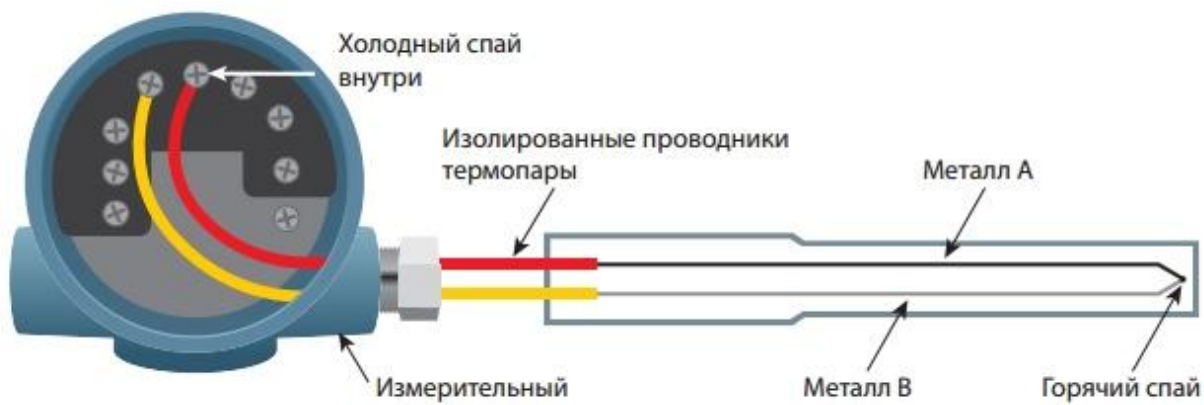


Рисунок 14 – Внешний вид термопары в сборе

В соответствии с эффектом Зеебека, напряжение, измеряемое на холодном спае, пропорционально разнице температур горячего и холодного спаев. Это напряжение может называться напряжением Зеебека, термоэлектрическим напряжением или термоэлектрической э.д.с. По мере роста температуры горячего спая напряжение, наблюдаемое на холодном спае, также возрастает нелинейно в зависимости от роста температуры. Линейность кривой «температура-напряжение» зависит от сочетания металлов, образующих термопару.

Напряжение, измеряемое на холодном спае, зависит от разницы температур горячего и холодного спаев; поэтому, необходимо знать температуру холодного спая, чтобы рассчитать температуру горячего спая. Этот процесс называется «компенсацией холодного спая» (КХС). КХС выполняется управления, устройством аварийных отключений или другим устройством формирования сигнала. В идеале измерение КХС выполняется как можно ближе к точке измерения, потому что длинные провода термопары очень чувствительны к электрическим помехам, и сигнал в них ухудшается.

Точное проведение КХС имеет решающее значение для точности измерения температуры. Точность КХС зависит от двух факторов: точности измерения эталонной температуры и близости точки эталонного измерения к холодному спаю. Во многих измерительных преобразователях используется изотермическая клеммная колодка (часто выполненная из меди) со встроенным прецизионным термистором, ТС или транзистором для измерения температуры колодки.

Спаи термопар изготавливаются в различных конфигурациях, каждая из которых имеет свои преимущества для применения в определенных системах. Спаи могут быть заземленными или незазем-

ленными, а двухэлементные термопары могут быть изолированными или неизолированными (рисунок 15).

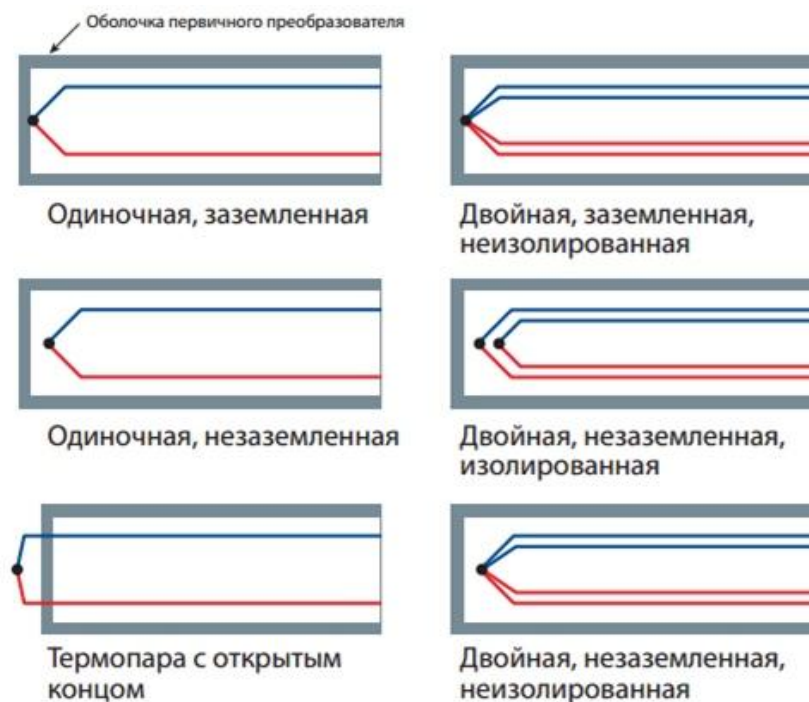


Рисунок 15 – Конфигурации горячих спаев

Заземленные спаи термопар образуются, если спай термопары соединяется с оболочкой первичного преобразователя. Заземленные спаи обладают лучшей теплопроводностью, что, в свою очередь, повышает быстродействие. Однако заземление также делает цепи термопар более подверженными влиянию электрических шумов, которые могут исказить сигнал напряжения термопары, если контрольно-измерительный прибор не обеспечивает развязку. (Все высококачественные измерительные преобразователи и платы ввода/вывода предусматривают электрическую развязку в стандартной комплектации). Заземленный спай также в большей степени подвержен загрязнению химическими примесями со временем.

Незаземленные спаи получают тогда, когда элементы термопары не соединяются с оболочкой первичного преобразователя, а окружены изолирующим порошком. Незаземленные спаи имеют несколько меньшее быстродействие, чем заземленные спаи, но менее чувствительны к электрическим шумам.

Термопары с открытым спаем имеют горячий спай, выступающий из загерметизированного конца оболочки, обеспечивая высокое быстродействие. Герметизация препятствует попаданию влаги или

других загрязнений внутрь оболочки. Обычно такие термопары применяются только в некоррозионных газах, например, в воздуховодах.

Термопары с двумя чувствительными элементами бывают трех разных видов.

Изолированные конструкции имеют место в тех случаях, когда два независимых спая термопары размещаются в одной оболочке. Изолированные спаи могут давать неодинаковые показания температуры, но могут выявлять дрейф показаний вследствие загрязнения одного из элементов химическими примесями. Если один из спаев выходит из строя, это не обязательно влияет на второй спай.

Неизолированные конструкции имеют место, когда два спая термопары помещаются в одну оболочку и все четыре проволоки термопары физически соединяются. Неизолированные спаи дают одинаковые показания температуры для повышения достоверности измерения в данной точке. Однако если один из спаев выходит из строя, это вероятнее всего означает, оба спая отказали одновременно.

Существует много *типов термопар*, в которых используются различные сочетания металлов. Эти сочетания имеют разные выходные характеристики, которые определяют диапазон температур, в котором можно применять ту или иную термопару, и соответствующий выходной сигнал напряжения. Чем больше амплитуда напряжения на выходе, тем выше разрешение измерения, что повышает повторяемость и точность результатов. Существуют соотношения между разрешением измерения и диапазоном температур, которые делают отдельные типы термопар подходящими для определенных диапазонов и применений (рисунок 16).

Сводная таблица содержит основные параметры термопар, имеющих стандартные градуировки (таблица 1).

Таблица 1 – Сводная таблица типов термопар

Тип термопары	Материалы термоэлектродов		Диапазон рабочих температур, °С
	положительного	отрицательного	
ТПП (S)	Платинородий (10% Rh)	Платина	0-1300 (1600)
ТПП (R)	Платинородий (13% Rh)	Платина	0-1300 (1600)
ТПР (В)	Платинородий (30% Rh)	Платинородий (6% Rh)	600-1700
ТХК (L)	Хромель	Копель	-200-700 (900)
ТХА (K)	Хромель	Алюмель	-200-1200 (1300)
ТВР (А)	Вольфрам-рений (5% Re)	Вольфрам-рений (20% Re)	0-2200 (2500)

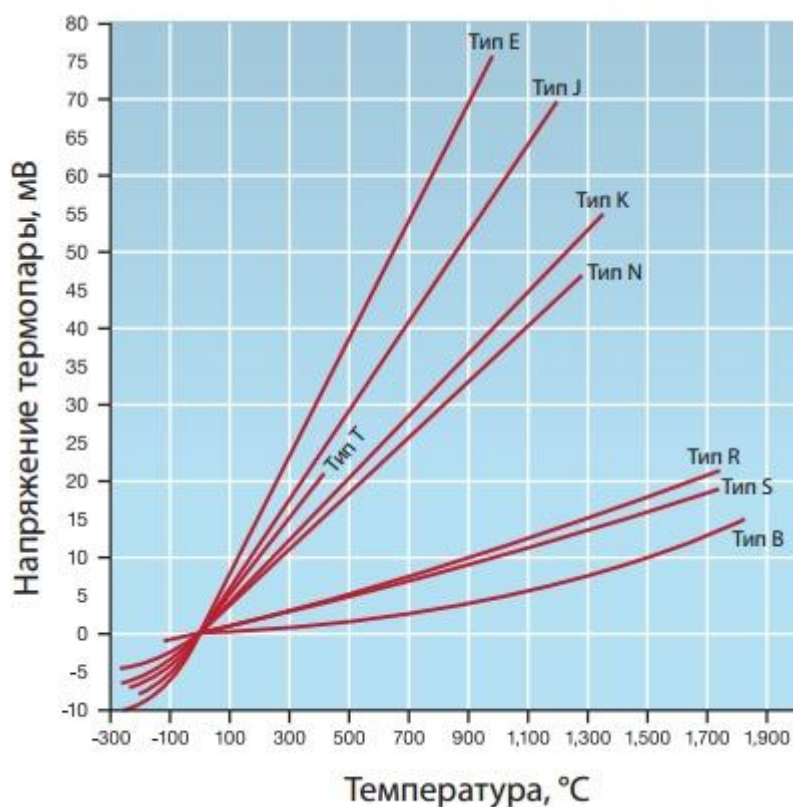


Рисунок 16 – Зависимости термо-ЭДС термопары от температуры для широко используемых типов термопар

Основные источники погрешностей измерений с помощью термопар

Любое измерение выполняется с той или иной точностью. Точность измерения зависит от метода, внешних условий, состояния средств измерения и некоторых других факторов. Далее приводятся основные источники погрешностей измерений температуры с помощью термопар.

1. Изменение термо-ЭДС в процессе работы термопары. Данное явление получило название термоэлектрической нестабильности термоэлектродных сплавов. Установлено, что в процессе эксплуатации все термоэлектродные сплавы изменяют свою термо-ЭДС, что приводит к изменению показаний термопар. При относительно низких температурах или при кратковременной эксплуатации изменения термо-ЭДС могут быть незначительными и не увеличивать погрешность измерений. При высоких температурах или длительной эксплуатации термопар нестабильность может достигать больших значений, что приводит к существенному снижению точности измерений. Основными причинами, вызывающими термоэлектрическую не-

стабильность, являются: взаимодействие термоэлектродов с окружающей средой; взаимодействие электродов с изолирующими и защитными материалами; взаимодействие термоэлектродов друг с другом; внутренние процессы, протекающие в термоэлектродных сплавах при изменении температуры, воздействии радиации, электромагнитных полей, высокого давления.

2. На точность измерений может оказывать влияние сопротивление изоляции термоэлектродов. Под влиянием высоких температур может понизиться электрическое сопротивление изоляции термоэлектродов, что, в свою очередь, может привести к существенному искажению показаний термопары.

3. К возникновению погрешностей измерений может привести неправильный выбор измерительного прибора. При уменьшении диаметра термоэлектродов возрастает удельное сопротивление (сопротивление на единицу длины) цепи. Такой же эффект наблюдается и при повышении температуры. Если входное сопротивление измерительного прибора не соответствует сопротивлению подключенной цепи, то могут возникнуть большие погрешности измерений.

4. Причиной возникновения погрешностей может стать изменение температуры свободных концов термопары. Эта температура может изменяться в процессе измерения либо может отличаться от температуры свободных концов во время градуировки термопары.

5. Погрешность измерения может возникнуть из-за того, что электроды термопары имеют различные значения термо-ЭДС вдоль своей длины. Данное явление называется термоэлектрической неоднородностью термоэлектродных сплавов и возникает из-за неоднородности физических свойств металлов и сплавов, из которых изготовлены электроды термопары. Неоднородность физических свойств обусловлена колебаниями состава и структуры материалов. Причинами таких колебаний могут быть радиоактивное облучение, механическое или электромагнитное воздействие на непосредственно электроды или заготовки, из которых они изготовлены, химические реакции, протекающие в процессе изготовления или эксплуатации электродов термопары.

6. Погрешности в определении градуировочной характеристики эталонных термопар.

7. Отклонение градуировочной характеристики термопар от стандартной градуировочной таблицы.

Для обеспечения единства измерений температуры в качестве

международного стандарта в 1968 году была принята Международная Практическая Температурная Шкала МПТШ-68 (стандартом является уточненная в 1990 году версия шкалы – ITS-90 (МТШ-90), использующая в качестве опорных (реперных) точек температуры изменения агрегатного состояния определенных веществ, которые могут быть воспроизведены. Помимо этого, стандарт определяет типы эталонных средств измерения во всем диапазоне температур. Перечень некоторых реперных точек МТШ-90 приведен в таблице 2.

В зависимости от диапазона измеряемых температур различают две основные группы методов измерения: контактные (собственно термометрия) и бесконтактные (пирометрия или термометрия излучения). Бесконтактные способы применяются, как правило, для измерения очень высоких температур. Измерение температуры с помощью термопар относится к контактному способу измерения.

Таблица 2 – Краткий перечень реперных точек МТШ-90

Реперная точка	Температура, К	Температура, °С
Точка затвердевания золота	1337,33	1064,18
Точка затвердевания серебра	1234,93	961,78
Точка затвердевания цинка	692,677	419,527
Тройная точка воды	273,16	0,01
Тройная точка кислорода	54,3584	-218,7916
Точка плавления галлия	302,9146	29,7646
Точка затвердевания золота	1337,33	1064,18

Подключение термопары к термометру зависит от того, используется ли внутренний или внешний эталонный спай. Внутренние эталонные спаи, как правило, используются для достижения высокой пропускной способности с низкой и средней точностью. Остается меньше возможностей для ошибки, и процесс выглядит проще. Ограничение точности связано с дополнительной неопределенностью в самой цепи компенсации эталонного спаи (обычно дополнительно от 0,05 °С до 0,25 °С).

Подключите 2-проводную термопару непосредственно или через удлинительный провод к термометру, соблюдая полярность. Никогда не используйте медь для удлинительного провода, так как это может привести к погрешности. Убедитесь, что все соединения чистые и хорошо закреплены. Плохо закрепленные и (или) загрязненные

соединения вызывают паразитные напряжения и ошибки при измерении. Использование реле и мультиплексов также ведет к ошибкам, поскольку эти устройства, как правило, изготовлены из меди. Существуют реле, изготовленные из материалов термопар, которые могут использоваться, если требуется откалибровать большое количество термопар одного типа. Однако реле, изготовленные из материалов термопар, будут по-прежнему создавать ошибку, которую крайне трудно оценить. Если требуется откалибровать большое количество термопар, рекомендуется применять многоканальные термометры или технику внешнего спая.

Внешний эталонный спай обладает высокой точностью и практически всегда используется для калибровки термопар из благородных металлов (тип R и S). Он, как правило, не является необходимым для соответствия требованиям к точности термопар из цветных металлов. Внешние эталонные спаи должны использоваться, когда требуется высокая точность или показания не оборудованы внутренней компенсацией холодного спая (например, обычный цифровой мультиметр). Подключение внешнего эталонного спая требует большего участия с одним проверяемым устройством и может стать довольно сложным, когда требуется откалибровать несколько устройств, сводя погрешность к минимуму. Термопара подключена к показаниям высококачественными медными проводами. Соединения термопары с медью затем погружают в ледяную ванну, чтобы сформировать эталонный спай. Соединения должны быть электрически изолированы друг от друга и быть физически сухими. Как правило, провода приварены, припаяны или туго прикручены и защищены термоусадочными трубками. Группа проводов вставляется в концевую трубку с тонкими металлическими или стеклянными стенками, а трубка вставляется в ванну со льдом. Важную роль играет глубина погружения, которая зависит от диаметра проволоки. Обычно расстояния от шести до двенадцати дюймов достаточно. Медные соединительные провода присоединены к термометру либо непосредственно, либо через реле. Для каждого проверяемого устройства требуется отдельный эталонный спай. Некоторые проверяемые устройства подключаются к разъемам термопары, и их нельзя легко отсоединить согласно описанию. В этих случаях «датчики эталонного спая» могут быть изготовлены из меди и провода термопары нужного типа. На конце термопары установлены разъемы, соответствующие разъемам на проверяемом устройстве. Эти датчики должны быть откалиброваны, если требуется высокая

точность. В качестве альтернативы может использоваться компенсация внутреннего эталонного сая. Часто показания со встроенной компенсацией эталонного сая имеют встроенные разъемы термопары.

3 План практического занятия

Работа выполняется в группах по 2 человека в следующей последовательности:

1 Ознакомиться основными теоретическими положениями.

2 Выполнить задания:

– провести измерения параметров предложенной детали с помощью:

а) линейки;

б) кронциркуля;

в) нутромера;

г) штангенциркуля;

д) микрометра;

е) индикатора (микромера);

ж) калибров;

и) шаблонов линейных размеров;

– выполнить разметку с помощью плоскопараллельных концевых мер длины;

– выполнить измерение напряжения цифровым вольтметром;

– выполнить измерение температуры термопарой.

3 Оформить отчет о работе на практической работе. Отчет должен содержать:

– тему и цель практической работы;

– классификацию контрольно-измерительных приборов;

– результаты измерений;

– выводы. В выводах должны быть обобщены результаты всей проделанной работы.

4 Контрольные вопросы для защиты практической работы

1 Что такое измерительные средства?

2 Что такое контрольные средства?

3 Что относят к мерам, а что - к измерительным приборам?

- 4 Понятие контрольно-измерительных средств: универсальных и специальных.
- 5 Для чего предназначен штангенциркуль?
- 6 Назначение микрометра, индикатора.
- 7 Назначение калибров, скоб, шаблонов.
- 8 Назначение плоскопараллельных концевых мер.
- 9 Назовите основные метрологические показатели, определяющие эксплуатационные характеристики прибора или инструмента.
- 10 Для измерения какой физической величины предназначены вольтметры?
- 11 Чем отличаются цифровые вольтметры от аналоговых?
- 12 Какие типы вольтметров существуют и для решения каких задач они предназначены?
- 13 Перечислите основные типы и области применения цифровых вольтметров.
- 14 Перечислите основные структурные элементы цифрового вольтметра.
- 15 Перечислите важнейшие метрологические характеристики цифровых вольтметров?
- 16 Как вольтметр обозначается на электронной схеме?
- 17 Какие средства измерения включает в себя цифровой мультиметр модели 830-832?
- 18 Для измерения какой физической величины предназначены термопары?
- 19 Чем конструктивно отличаются термопары?
- 20 Назовите основные типы и области применения термопар.
- 21 Перечислите основные способы изготовления горячего спаев термопары.
- 22 Перечислите базовые конфигурации горячих спаев.
- 23 Перечислите важнейшие метрологические характеристики термопар?
- 24 Назовите основные источники погрешностей измерений с помощью термопар.

Библиографический список

1. ГОСТ 8.497-83 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Амперметры, вольтметры, ваттметры, варметры. Методика поверки (с Изменением N 1) : введен Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 09.12.83 № 5815 : дата введения установлена 01.01.85 : введен взамен Инструкции 184-62. – Москва : Изд-во стандартов, 2005 // Техэксперт : информационно-справочная система / ООО «Группа компаний «Кодекс». – Кемерово, [200 –]. – Режим доступа: компьютерная сеть Сиб. гос. индустр. ун-та.

2. Атрошенко, Ю. К. Метрология, стандартизация и сертификация. Сборник лабораторных и практических работ : учебное пособие для СПО / Ю. К. Атрошенко, Е. В. Кравченко. – Москва : Юрайт, 2019. – 178 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-07981-4. – URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/442309> (дата обращения: 05.03.2021).

3. Степанова, Е. А. Метрология и измерительная техника: основы обработки результатов измерений : учебное пособие для СПО / Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов. – Москва : Юрайт, 2019. – 95 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-10715-9. – URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/431339> (дата обращения: 05.03.2021).

4. Рачков, М. Ю. Физические основы измерений : учебное пособие для СПО / М. Ю. Рачков. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – 146 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-10162-1. – URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/438591> (дата обращения: 05.03.2021).