

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра сопротивления материалов  
и деталей машин

## **МЕТРОЛОГИЯ**

*Лабораторный практикум  
для студентов группы специальностей  
74 06 Агроинженерия*

Минск  
БГАТУ  
2009

УДК 006.91(07)

ББК 30.10я7

М 54

Рекомендовано научно-методическим советом факультета «Технический сервис в АПК» БГАТУ.

Протокол № 4 от 23 апреля 2009 года

Составители:

канд. техн. наук, доц. *К.В. Сашко*;  
канд. техн. наук, проф. *Б.В. Цитович*;  
канд. техн. наук, доц. *Н.Н. Романюк*;  
ст. препод. *А.Л. Вольский*;  
ст. препод. *П.В. Клавсуть*

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Технология металлов» БГАТУ  
*В.М. Капцевич*;  
канд. техн. наук, доц. кафедры «Технология металлов» БГСХА  
*В.М. Короткин*

М 54      **Метрология** : лабораторный практикум / К.В. Сашко [и др.]. –  
Минск : БГАТУ, 2009. – 140 с.

ISBN 978-985-519-147-7.

УДК 006.91(07)

ББК 30.10я7

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Общие требования безопасности.....	5
2. Требования безопасности перед началом работы.....	5
3. Требования безопасности во время работы.....	6
4. Требования безопасности в аварийных ситуациях.....	6
5. Требования безопасности по окончании работы.....	7
Лабораторная работа №1 ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	8
Лабораторная работа №2 ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ.....	83
Лабораторная работа №3 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	97
Лабораторная работа №4 ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ.....	110
Лабораторная работа №5 ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ.....	127

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Метрология, стандартизация и сертификация» является одной из важнейших инженерных дисциплин, поскольку неразрывно связана с главной задачей современного машиностроения – обеспечением высокого качества выпускаемой продукции.

Совершенствование технологических процессов, производство точных, надежных и долговечных машин и приборов, повышение качества продукции, обеспечение взаимозаменяемости и кооперирования производства невозможны без развития метрологии и постоянного совершенствования техники измерений.

**Метрология** – наука об измерениях физических величин, методах и средствах обеспечения их единства. Основные проблемы метрологии: развитие общей теории измерений; установление единиц физических величин и их системы; разработка методов и средств измерений, а также методов определения точности измерений; обеспечение единства измерений, единообразия средств и требуемой точности измерения; установление эталонов и образцовых средств измерений; разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений и др. Важнейшая роль в решении указанных проблем отводится государственной метрологической службе, имеющей научно-исследовательские институты и разветвленную сеть лабораторий государственного надзора и других организаций. Большую роль в развитии метрологии сыграл Д. И. Менделеев, который руководил метрологической службой в России в период 1892–1907 гг. Его выражение «Наука начинается с тех пор, как начинают измерять» до сих пор является крылатым.

**Цель изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация»** – формирование у будущих инженеров знаний и практических навыков использования и соблюдения требований технических нормативных правовых актов, выполнения точностных расчетов и метрологического обеспечения при изготовлении, эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники, изучение методики и порядка сертификации продукции и услуг.

**Задачи дисциплины** – формирование у студентов прочных знаний: элементов теории технических измерений, системы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений, основ выбора требований к точности параметров и сущности стандартизации этих требований, по сертификации продукции, услуг, персонала и систем качества.

## **1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ**

1.1 Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ после изучения требований и правил по охране труда, проверки преподавателем их знаний и оформления в журнале регистрации инструктажа.

1.2 Студенты обязаны знать и четко соблюдать правила внутреннего распорядка, установленные требования и правила по охране труда при нахождении в лаборатории и выполнении лабораторных работ.

Не допускается приносить и употреблять в лаборатории алкогольные, наркотические и токсические средства.

Студенты, находящиеся под воздействием алкогольных и наркотических средств к занятиям не допускаются.

1.3 При нахождении в лаборатории и выполнении лабораторных работ студенты должны бережно относиться к лабораторному оборудованию (макетам, моделям, приборам, установкам, а также методическим указаниям, плакатам и др. пособиям), поддерживать чистоту и порядок.

1.4 Студентам запрещается дополнять или изменять текст методических пособий путем дописывания или перечеркивания отдельных слов и т.д.

В равной степени в методических указаниях и других пособиях нельзя делать всевозможные пометки.

1.5 Студентам не разрешается находиться в лаборатории в верхней одежде (в пальто, куртках, плащах) за исключением случаев снижения температуры ниже допустимой.

1.6 Включение приборов и стендов осуществляется только преподавателем или лаборантом с соблюдением требований электробезопасности и пожаробезопасности или студентами с разрешения преподавателя (лаборанта).

1.7 Студентам в лаборатории запрещается курить.

1.8 Лица, допущенные к занятиям в лаборатории, должны уметь оказывать доврачебную помощь нуждающимся в этом.

1.9 Лица, виновные в нарушении требований инструкции, несут ответственность в дисциплинарном, административном или уголовном порядке.

## **2 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ РАБОТЫ**

2.1 Преподаватели и лаборанты при использовании в работе технических средств определяют рабочие места, проверяют исправность и комплектность приборов. При этом особое внимание должно быть обращено на то, чтобы вставки предохранителей соответствовали номинальным значениям.

2.2 Студенты должны быть ознакомлены с местом расположения огнетушителей и правилами пользования ими.

### **3 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ВО ВРЕМЯ РАБОТЫ**

3.1 Рабочие места должны содержаться в чистоте и порядке.

3.2 Студенты должны с разрешения преподавателя пользоваться только теми приборами, установками, макетами, которые имеют отношение к выполняемой работе.

3.3 Во избежание падения приборов и др. запрещается их устанавливать на край стола.

3.4 При работе с приборами (установками, стендами) требования безопасности соблюдаются согласно порядку, изложенному в методических указаниях к лабораторной работе.

3.5 Подключать приборы к электросети 380/220 В можно только с разрешения и в присутствии преподавателя.

3.6 При ощущении электрического тока на корпусе прибора необходимо немедленно его отключить и сообщить об этом преподавателю.

3.7 Следует немедленно прекратить работу, если при ее выполнении создаются условия, угрожающие здоровью студентов и известить об этом преподавателя (лаборанта).

3.8 При возгорании электроприборов, электродвигателей установок необходимо моментально отключить их от электросети.

3.9 Возгорание в электропроводке установок, неотключенных от сети, тушить только углекислотными огнетушителями, которые находятся в лабораториях.

### **4 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

4.1 В случае возникновения пожара необходимо покинуть помещение в соответствии с планом эвакуации, принять меры по ликвидации очага пожара, для чего использовать подручные средства пожаротушения (огнетушитель). Необходимо доложить заведующему кафедрой, инженеру по охране труда, а (при необходимости) по телефону 101 вызвать пожарную команду.

4.2 При возникновении несчастных случаев, травм необходимо оказать доврачебную помощь пострадавшему, используя средства медицинской аптечки, при необходимости вызвать скорую помощь по телефону 103, сообщив заведующему кафедрой.

## **5 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТЫ**

5.1 Отключить приборы от источников питания, установить их на место хранения, проверить комплектность. Приборы и используемые материалы сдать преподавателю.

5.2 Категорически запрещается оставлять приборы во включенном состоянии.

Репозиторий БГАТУ

# Лабораторная работа №1

## ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

### Цели и задачи работы

**Цель работы:** ознакомление со средствами измерений и их метрологическими характеристиками.

**Задачи:**

- 1) научиться классифицировать средства измерений;
- 2) ознакомиться с основными характеристиками средств измерений и их структурными элементами;
- 3) научиться выбирать средства измерений.

### Общие положения

#### *1.1 Средства измерений и их метрологические характеристики*

**Средства измерений** – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства. Средства измерений можно классифицировать:

- по конструктивным признакам (меры, измерительные приборы, установки и измерительные системы);
- по метрологическому назначению (эталоны, образцовые средства измерений, рабочие средства измерений);
- по виду измеряемых физических величин (приборы для измерения длин, углов, скорости и т.д.);
- по принципу действия (механические, оптические, пневматические и др.);
- по уровню точности (классы, разряды).

**Эталоны** – средства измерений, официально утвержденные и обеспечивающие воспроизведение и (или) хранение единицы физической величины с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений.

**Меры** – средства измерений, предназначенные для воспроизведения заданного размера физической величины. Различают однозначные меры, воспроизводящие физическую величину одного размера (например, концевые меры длины, угловые концевые меры, гири), и многозначные меры, воспроизводящие ряд одноименных величин различного размера (например, линейка с миллиметровыми делениями, рулетка, транспортир угломерный).

**Образцовые средства измерений** – меры, измерительные приборы и

(или) преобразователи, служащие для поверки по ним других средств измерений и утвержденные в качестве образцовых.

**Рабочие средства измерений** – средства, используемые в производственных условиях для определения размеров деталей. Класс точности средства измерения – обобщенная характеристика, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками средства измерения, влияющими на его точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

**Измерительные преобразователи** предназначены для получения сигнала измерительной информации, его преобразования и выдачи в любой форме, удобной для передачи, обработки, хранения или дальнейшего преобразования, но не поддающейся непосредственному восприятию оператором. Различают первичные и промежуточные измерительные преобразователи. **Первичные измерительные преобразователи** – первые в измерительной цепи – воспринимают информацию об измеряемой физической величине непосредственно от объекта измерений и формируют сигнал измерительной информации (терморезистор термометра сопротивления, фотоэлемент экспонометра). **Промежуточные измерительные преобразователи** занимают в измерительной цепи любое место после первичного. Они получают сигнал измерительной информации от предшествующих преобразователей и осуществляют его дальнейшее преобразование и передачу. Конструктивно обособленный первичный преобразователь традиционно называют «датчик» (он «дает» первичную информацию).

Выходной сигнал измерительного преобразователя может поступать на следующий преобразователь, на устройство запоминания, на устройство управления технологическим процессом (отключение нагревателя, прекращение шлифования детали) и т.д. Если измерительный преобразователь является частью прибора, его выходной сигнал может поступать на устройство отображения измерительной информации. Любой измерительный преобразователь, кроме первичного, действительно занимает промежуточное положение между первичным преобразователем и, например, исполнительным или демонстрирующим (регистрирующим) устройством. Измерительный преобразователь может быть простым (рычаг, рейка-зубчатое колесо) или сложным, включающим в себя несколько простых преобразователей (например, упругий элемент с наклеенным на него тензопреобразователем). Преобразователи следует рассматривать со всеми функционально важными элементами, участвующими в преобразовании измерительной информации. Например, рычаг

надо рассматривать с контактными элементами, воспринимающими и воспроизводящими перемещение, и с опорами, обеспечивающими его поворот. Преобразователь «зубчатая рейка – зубчатое колесо» следует рассматривать с направляющими, обеспечивающими поступательное перемещение рейки, и с опорами, обеспечивающими вращение колеса.

**Измерительные приборы** предназначены для получения от объекта измерения измерительной информации об измеряемой физической величине, ее преобразовании и выдаче в форме, поддающейся непосредственному восприятию оператором. По виду выходного сигнала приборы принято делить на *аналоговые* и «*цифровые*» (числовые). Выходной сигнал аналогового прибора является непрерывной функцией измеряемой величины. У «цифровых» приборов выходной сигнал *дискретный*, он обычно выдается на табло в числовой форме.

Принято различать приборы показывающие и регистрирующие (самопишущие и печатающие). Измерительный прибор (рисунок 1.1) обычно состоит из цепочки измерительных преобразователей, включающей первичный и промежуточные преобразователи, а также устройства отображения измерительной информации. Измерительная информация может выдаваться на систему шкала-указатель, цифровое табло, громкоговоритель, самопишущее, цифropечатающее или другое регистрирующее устройство.

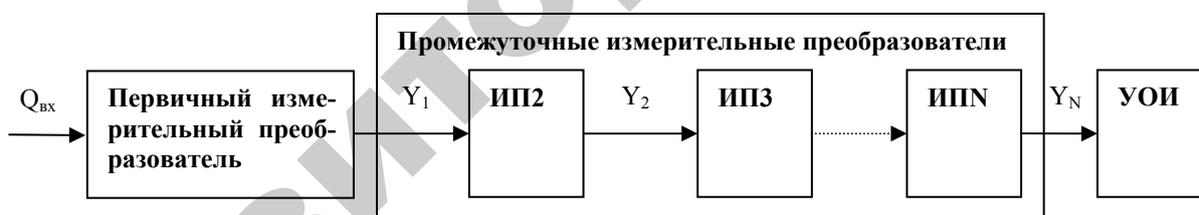


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема измерительного прибора  
(ИП – измерительные преобразователи,  
УОИ – устройство отображения измерительной информации)

**Измерительные установки** включают в себя основные и вспомогательные средства измерений и дополнительные устройства, объединенные в одном месте и предназначенные для одновременных измерений нескольких одноименных или разноименных физических величин (многомерное приспособление для измерительного контроля радиального и торцового биений нескольких поверхностей вала, установка для определения коэффициента линейного расширения материала детали).

**Измерительные системы** включают в себя основные и вспомогательные средства измерений и дополнительные устройства, расположенные в раз-

ных местах и объединенные каналами связи. **Измерительные системы**, как и измерительные установки, предназначены для одновременных измерений нескольких одноименных или разноименных физических величин (система контроля температуры технологической линии производства пищевых продуктов, система сбора метеорологической информации).

**Индикаторы** – особый вид средств измерений в виде технического устройства или вещества, предназначенного для установления наличия (отсутствия) какой-либо физической величины или определения ее порогового значения (индикатор фазового провода электропроводки, индикатор контакта измерительного наконечника прибора для линейных измерений с поверхностью детали, лакмусовая бумага). В некоторых случаях в качестве индикаторов могут использоваться измерительные приборы (часы-будильник, омметр при проверке обрыва в электрической цепи).

Средства измерений принято различать по **принципам** действия, то есть по физическим принципам, используемым для преобразования измеряемой величины или сигнала измерительной информации. Так измерительный микроскоп относится к оптико-механическим приборам, индуктивный или резистивный преобразователь – к электрическим средствам измерений и т.д. Сложные приборы с длинной измерительной цепью обычно характеризуют одним (или двумя) наиболее важными принципами преобразования (например, лазерный интерферометр, фотоэлектрический угломер).

**Измерительная цепь средства измерений** – совокупность преобразовательных элементов, осуществляющих все преобразования измерительной информации в данном устройстве. Измерительная цепь прибора начинается с **чувствительного элемента**, который представляет собой часть первого в измерительной цепи преобразовательного элемента (первичного измерительного преобразователя), непосредственно воспринимающую сигнал измерительной информации от измеряемого объекта, т.е. находящуюся под непосредственным воздействием измеряемой физической величины (резервуар жидкостного термометра, крюк динамометра, губки штангенциркуля). У ряда средств измерений (приборы для измерений линейных и угловых размеров, приборы для измерений электрических величин, двухчашечные весы) могут быть два чувствительных элемента. Измерительная цепь прибора заканчивается устройством отображения измерительной информации (УОИ).

**Устройство отображения (выдачи) измерительной информации** у приборов с визуальной выдачей информации чаще всего представляет собой отсчетное устройство типа **шкала-указатель** или **цифровое табло**. У регист-

рирующих приборов выходной сигнал может записываться в виде графика на диаграммной бумаге, печататься в цифровой форме. В качестве устройств выдачи информации могут использоваться любые регистрирующие самопишущие или печатающие устройства. В приборах и индикаторах применяются и другие устройства визуальной индикации (нуль-указатели, светодиоды, табло светофорного типа), а также акустические устройства (звонок, громкоговоритель) и тактильные устройства (вибратор наручного будильника для слабо слышащих).

Использование средств измерений планируется в соответствии с их возможностями, которые описываются следующими техническими и метрологическими показателями.

**Шкала прибора** – часть отсчетного устройства, представляющая собой совокупность отметок, соответствующих ряду последовательных значений величины.

**Длина деления шкалы** – расстояние между осями или центрами двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины ее самых коротких отметок.

**Цена деления шкалы** – разность значений измеряемой величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

**Диапазон показаний** – область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы, т.е. наименьшим и наибольшим значениями измеряемой величины.

**Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений.

**Точность отсчета** – точность, которая может быть достигнута при измерении с использованием отсчетных устройств, если они имеются.

**Порог чувствительности** – наименьшее перемещение измерительной поверхности, способное вызвать малейшее изменение в показании прибора.

**Погрешность средства измерения** – разность между показанием прибора и действительным значением измеряемой величины, которое может быть установлено путем измерения образцовым прибором.

**Измерительное усилие** – усилие, создаваемое в месте контакта измерительного наконечника с поверхностью контролируемого изделия и направленное по линии измерения.

## ***1.2 Принципы выбора средств измерений***

Правильный выбор средств измерения не только обеспечивает требуе-

мую точность изготовления изделия, но и ускоряет процесс измерения, сокращает время обработки и сборки деталей и, следовательно, уменьшает себестоимость выпускаемой продукции.

Средства измерения выбирают с учетом метрологических и экономических факторов. При выборе и назначении средств измерения необходимо стремиться:

- к возможно более строгому ограничению действительных размеров контролируемых объектов установленными для них пределов;
- к возможно большему расширению производственных допусков, остающихся за вычетом погрешностей измерения;
- к наибольшему снижению затрат на измерительные средства и на содержание органов технического контроля.

Выбор измерительных средств ведется в следующей последовательности:

- а) выбирают организационно-технические формы контроля;
- б) определяют тип производства;
- в) выбирают тип контрольно-измерительных средств, в зависимости от масштаба производства, принятых организационно-технических форм контроля и конструктивных особенностей детали;
- г) выбирают измерительные средства в зависимости от точности контролируемой детали.

### ***1.3 Выбор организационно-технических форм контроля***

Различают пассивные и активные формы контроля.

Активная форма контроля наряду с непосредственными измерениями размеров, изделия активно воздействует на технологический процесс получения размера, обеспечивая стабильность технологического процесса и требуемую его точность.

Как правило, активный контроль предусматривает применение специальных контрольных приспособлений и автоматических систем.

Специальные контрольные приспособления изготавливаются для проверки одной конкретной детали.

Большое количество систем для активного автоматического контроля включает:

- а) контроль при помощи калибров, автоматически подводимых через определенные промежутки времени к обрабатываемой детали (ввиду сложности механической части в настоящее время этот метод применяется мало);

б) электрические контактные приборы, сигнализирующие о достижении заданного размера или останавливающие станок после получения годного изделия.

В настоящее время автоматические контрольные системы осуществляют подналадку станков, переключение на другие виды обработки и т.д.

Пассивная форма контроля ограничивается, в основном, регистрацией результатов контроля. Определяя лишь годность деталей, она осуществляется с помощью сплошной или выборочной проверки деталей после их обработки.

#### ***1.4 Влияние типа производства на выбор измерительных средств***

Тип производства определяет вид контрольно-измерительных средств, применение которых в каждом конкретном случае является экономически наиболее целесообразным, и обеспечивает требуемую производительность труда на каждой контрольной операции. В конечном счете, тип производства определяет уровень механизации контроля.

В индивидуальном и мелкосерийном производствах используются универсальные измерительные средства.

В серийном производстве контроль осуществляют жесткими предельными калибрами, шаблонами, специализированными контрольными приспособлениями, а также универсальными измерительными средствами.

В массовом производстве продукция контролируется специальными механизированными устройствами и предельными калибрами.

#### ***1.5 Влияние конструктивных особенностей контролируемого изделия на выбор измерительных средств***

Конструктивные особенности (форма, габариты, масса и т.п.) деталей также накладывают определенные ограничения на выбор измерительных средств для контроля. Например, массивные детали контролируют переносными измерительными приборами, а детали небольших размеров – стационарными. Детали простой геометрической формы (шарики, ролики, втулки, пальцы и т.д.) с малыми числами проверяемых параметров целесообразно контролировать автоматическими устройствами.

Большое влияние на выбор измерительных средств оказывают материал детали и жесткость ее конструкции. Тонкостенные детали (втулки, гильзы) и детали из легких сплавов рекомендуется контролировать измерительными

приборами, имеющими небольшую измерительную силу, или приборами, работающими по бесконтактному методу измерений.

## **2 Порядок выбора измерительных средств**

### ***2.1 Участие технических служб в выборе измерительных средств***

Принципиальное положение ГОСТ 8.051–81 в отношении выбора измерительных средств заключается в том, что при установлении приемочных границ, т.е. значений размеров, по которым производят приемку изделий, необходимо учитывать влияние погрешности измерений.

В выборе измерительных средств должны участвовать конструкторская, технологическая и метрологическая службы в пределах выполняемых ими служебных обязанностей.

Конструкторская служба участвует в выборе измерительных средств только правильным назначением допускаемых отклонений на размер детали.

*Технологическая служба.* В обязанности, технологической службы входит обеспечение наиболее экономичных технологических процессов. Для оценки технологического процесса технолог должен знать возможные количества действительного и ложного брака и руководствоваться при этом данными о технологическом распределении, допускаемой погрешности измерениями.

*Метрологическая служба.* Метрологическая служба участвует в выборе конкретных измерительных средств с учетом условий измерения. Эта служба обязана установить, в какой мере условия измерения, указанные в таблицах 1 и 2, соответствуют реально существующим, а также учесть специфические особенности производства (применяемость измерительных средств, их наличие и т. д.). Если метролог обнаружит, что рекомендуемые в таблице 1 и 2 условия измерения не могут быть созданы на существующем производстве, то он обязан оценить степень влияния несовпадающих условий и определить несмежные предельные погрешности при существующих условиях, а также их допустимость с точки зрения выполнения требований ГОСТ 8.051–81.

При неудовлетворительных результатах следует выбрать другое измерительное средство, при использовании которого в существующих условиях измерения (с учетом методической погрешности) будут удовлетворяться требования ГОСТ 8.051–81.

### ***2.2 Выбор конкретных измерительных средств***

Выбрать конкретное измерительное средство можно в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и допускаемой погрешности

измерения по ГОСТ 8.051–81, однако, по таблицам 1 и 2 РД–50-98-86 трудно выявить весь комплекс измерительных средств, которые можно использовать для измерения с допустимой погрешностью.

Для упрощения процесса выбора конкретных измерительных средств составлены таблицы 3–8. В левой части таблиц указаны диапазоны номинальных размеров, сверху квалитеты (от IT2 до IT17), а на пересечении горизонтальных полос и вертикальных колонок указаны в виде дроби допускаемые погрешности измерений (числитель) и допуски на изготовление (знаменатель). Под ними номерами и буквами из таблиц 1 и 2 указаны измерительные средства и варианты их использования, при которых погрешность измерений не превышает допускаемых значений.

Для измерений внутренних размеров, а также глубин и уступов (таблицы 6 и 7) указана практически вся возможная номенклатура универсальных измерительных средств. При этом часть диапазонов номинальных размеров в некоторых квалитетах не обеспечена универсальными измерительными средствами. Для измерения этих размеров должны проектироваться специальные измерительные средства и разрабатываться соответствующие методики измерений.

В ответственных случаях при выборе измерительных средств, особенно при проектировании и модернизации производства, следует проводить технико-экономические расчеты.

Схема ключевых понятий (СКП) к лабораторной работе №1 представлена на рисунке 1.2.

## **Порядок выполнения работы**

### *Задание*

1 Для контроля размеров детали (деталь выдается преподавателем) обосновать выбор средства измерений.

### *Пример выбора конкретных измерительных средств*

На чертеже детали указан наружный диаметр  $\varnothing 16h5(-0.008)$ . Требуется выбрать средство измерения этого размера. В зависимости от конфигурации и габаритов детали и требований к методике выполнения измерения следует решить вопрос о выборе накладного или станкового измерительного средства.

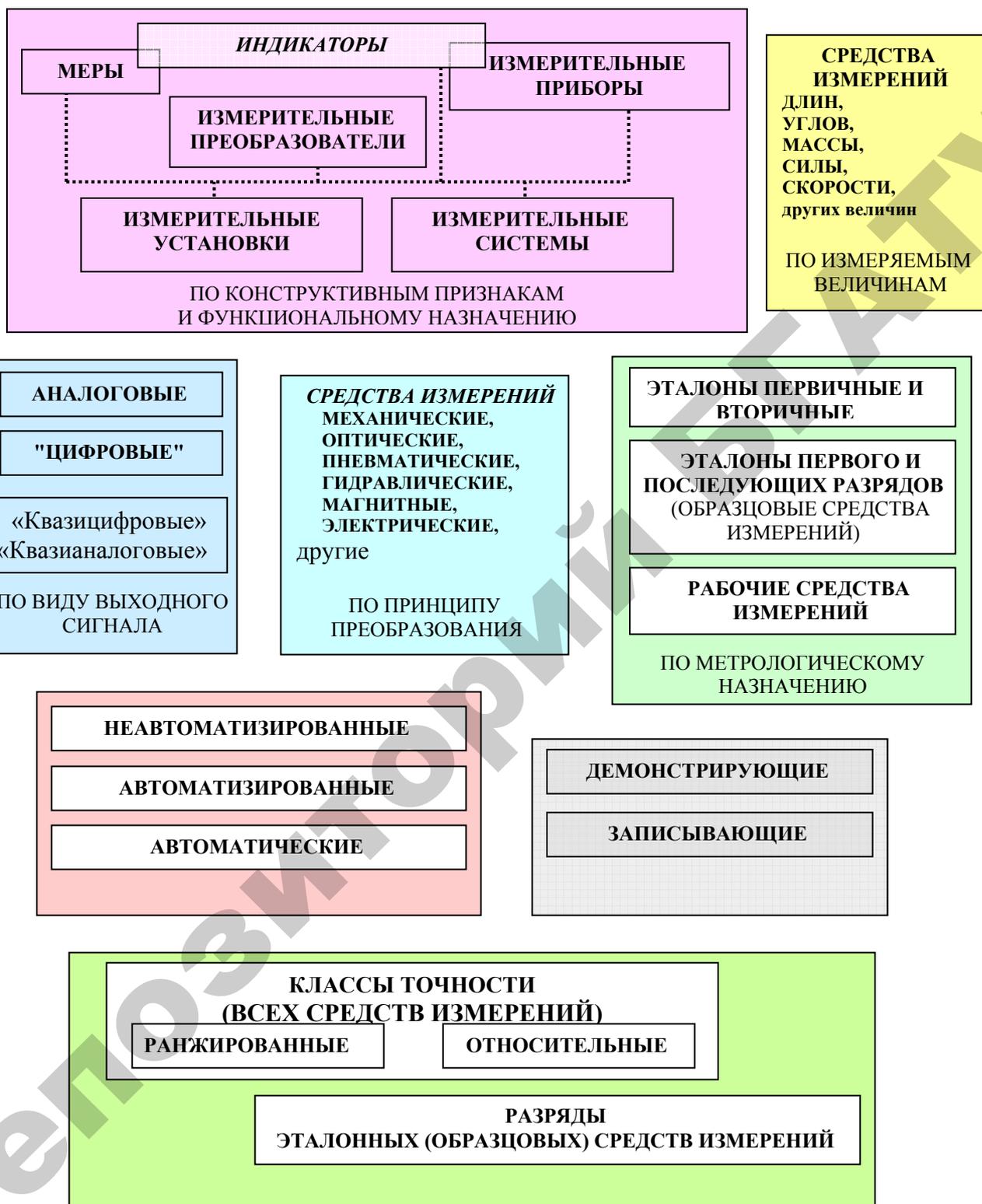


Рисунок 1.2 – СКП Классификация средств измерений

Предполагается, что схема и методика выполнения измерения выбраны таким образом, что методическая погрешность сведена до пренебрежимо малой величины.

Выбор накладного средства измерения производим по таблице 5. В графе, соответствующей 5 качеству, для диапазона размеров св. 10 до 18 мм находим обозначение «6в». В таблице 1 под номером 6 указаны микрометр рычажный и скоба рычажная. Буквой «в» обозначены условия измерения: настройка на размер должна производиться по концевым мерам длины 2 класса, при использовании отсчета в пределах  $\pm 10$  делений шкалы; температурные условия характеризуются температурным режимом 5 °С при обеспечении надежной теплоизоляции от рук оператора. Сделана оговорка, что контакт измерительных поверхностей с деталью должен быть плоскостным или линейчатым. В данном случае измеряемая поверхность цилиндрическая, следовательно последнее условие выполняется.

Выбор станкового средства измерения производим по таблице 4. В графе, соответствующей 5 качеству, для диапазона размеров св. 10 до 18 мм находим группу обозначений: 9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б. По таблице 1 устанавливаем, что номерами 9 и 10 обозначены рычажно-зубчатые головки с ценой деления 2 и 1 мкм, 15 – микрокатор с ценой деления 2 мкм, 20 и 21 – пружинные малогабаритные головки с ценой деления 2 и 1 мкм, 34 – вертикальный и горизонтальный длиномеры, 36 – показывающий прибор с индуктивным преобразователем. Из указанных приборов выбираем тот, который имеется в наличии, проще в обращении и к условиям применения которого предъявляются менее жесткие требования.

Например, выбрана рычажно-зубчатая головка с ценой деления 1 мкм. В таблице 1.8 буквой «а» для нее обозначены следующие условия применения: установка в штативе с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом до 200 мм (этим условиям удовлетворяют штативы Ш-11Н и ШМ-11Н), настройка по концевым мерам длины 5 разряда, температурный режим 2 °С. Настройка на размер может производиться на произвольное деление, а отсчет может использоваться в пределах  $\pm 0,05$  мм, т.е. в пределах всей шкалы.

Допустимо изменять условия измерения, но только таким образом, чтобы это не приводило к снижению точности измерения. Например, концевые меры 5 разряда могут быть заменены мерами более высокого разряда или нулевого класса, штатив можно заменить более жесткой стойкой и т. д. Однако следует помнить, что загробление одного из условий чаще всего не может быть компенсировано ужесточением остальных.



Таблица 1.3

Средства измерения		Варианты использования	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм													
						0-50	50-250	250-500	до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 75	св. 75 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 175	св. 175 до 200	св. 200 до 225	св. 225 до 250	св. 250 до 275
№ для таблицы 5	Наименование и случаи применения																		
4	Микрометры гладкие (МК) с величиной отсчета 0,01 мм при настройке на нуль по установочной мере	а*	5	5	5	5	10	10	15	15	15	20	20	25	25	30	30	40	50
		б**	5	2	1	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

\* Микрометры при работе находятся в руках.  
 \*\* Микрометры при работе находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора.

Таблица 1.4

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм										
№ для таблицы 5	Наименование и случаи применения		Вид контакта	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим, 0 °С, для диапазона размеров, мм				до 10	св. 10 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 180	св. 180 до 200	св. 200 до 300	св. 300 до 400	св. 400 до 500	
						0-50	50-100	100-200	200-500											
5	Скобы индикаторные (СИ) с ценой деления 0,01 мм	а*	Любой	3	5	5	5	5	5	10	12	15	15	20	20	25	40	50	60	
		б**	Любой	3	4	5	5	5	2	10	10	10	12	12	12	15	18	20	25	
		в**	Плоскостный\ и линейчатый	0,1	4	5	-	-	-	6	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-
					3	-	2	1	1	-	-	-	7	7	7	8	10	10	12	
г**	0,02-0,03	3	5	2	1	-	5	5	5	5	6	6	7	-	-	-				

\* Скобы при работе находятся в руках.  
\*\* Скобы при работе находятся в стойке или обеспечивается надежная изоляция от тепла рук оператора.

Таблица 1.5

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм													
№ для таблицы 5	Наименование и случай применения		Вид контакта	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 75	св. 75 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 175	св. 175 до 200	св. 200 до 250	св. 250 до 300	св. 300 до 400	св. 400 до 500	
					0-50	50-200	200-500													
6	Микрометры рычажные (МР или МРИ) с ценой деления 0,002 мм и 0,01 мм при установке на нуль по установочной мере и скобы рычажные (СР) с ценой деления 0,002 мм при настройке на нуль по концевым мерам длины при использовании на всем пределе измерения	а*	Любой	3	5	5	5	4	7	9	12	14	16	18	21	26	30	40	50	
	б**	3		5	2	1	4	4,5	5	5	6	7	7	7	7	7	7	10****	10****	
	То же при настройке на нуль по концевым мерам длины и использовании отсчета на ±10 делениях шкалы	в**	Плоскостный и линейчатый	2	5	2	1	2	3	3	3	3,5	4	4,5	5	4	5	6	7	
	То же при настройке на нуль по концевым мерам длины, использовании отсчета на ±(1-2) делениях шкалы и четырехкратном измерении	г**		1	1	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,7	1,8	2,3	2,6	3,3	
<p>* При работе приборы находятся в руках</p> <p>** При работе приборы находятся в стойке или обеспечивается надежная теплоизоляция от рук оператора</p> <p>*** При измерении микрометром рычажным с ценой деления 0,002 мм погрешность равна соответственно 8 мкм и 9 мкм</p>																				

Таблица 1.6

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения					Предельные погрешности измерения мкм, для диапазона размеров, мм														
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Классы применяемых концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500	
						1-30	30-120	120-500														
7	Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1	а	До 250 мм – штативы и стойки с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (С-IV; Ш-11Н; ШМ-11Н), свыше 250мм (Ш-11В; ШМ-11В).	10	5	5	5	5	15	15	15	15	16	16	18	20	22	25	35	40	45	
		б		5	5	5	5	12	13	13	13	14	14	15	18	20	20	25	35	40	45	
		в		2	4	5	5	2	10	10	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22	
		г		1	3	5	2	1	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	10	11	12
		д		0,1	3	5	2	1	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	7	9	9	10
	То же, класс точности 0	е		10	4	5	5	2	12	12	12	12	12	12	12	13	14	14	15	18	20	22
		ж		5	4	5	5	2	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	14	18	20	22
		з		2	3	5	5	2	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	12	14	16
		и		1	3	5	2	1	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	8	10	10	12
		к		0,1	3	5	2	1	4	4	4	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10
	Индикаторы часового типа (ИЧ и ИТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения от 2 до 10 мм, класс точности 1, при измерении биений	л		10	-	-	-	-	21													
		м		5	-	-	-	-	17													
		н		2	-	-	-	-	13													
		о		1	-	-	-	-	11													
		п		0,1	-	-	-	-	8													
	То же, класс точности 0	р		0,02-0,03	-	-	-	-	6													
		с		10	-	-	-	-	16													
		т		5	-	-	-	-	14													
		у		2	-	-	-	-	11													
		ф		1	-	-	-	-	10													
х	0,1	-	-	-	-	6																

Таблица 1.7

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения	Предельный погрешности измерения, мкм
№ для таблицы 8	Наименование и случаи применения		Используемый предел измерений, мм	
8	Индикаторы рычажно-зубчатые (ИРБ и ИРТ) с ценой деления 0,01 мм и пределом измерения 0,8 мм при измерении биения	а б в	0,8 0,1 0,01–0,02	15 10 5

Таблица 1.8

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня в мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197–70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
					Класс	Разряд	1–30	30–120	120–250										
9	Головки рычажно-зубчатые (ЗИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ±0,1 мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	а	±0,10	Штативы*	3	–	5	2	1	3	3	3	3,5	3,5	3,5	4	4,5	5	6

Продолжение таблицы 1.8

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм										
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня в мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-250											
9	То же, с настройкой на нулевое деление	б	±0,06	Стойки**	—	5	2	1	0,5	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8	2,2	2,2	—	
10	Головки рычажно-зубчатые (2ИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения ±0,1 мм; при измерении биений	в	0,04	Штативы*	—	—	—	—	—	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,8	1,8	1,8	
	Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения ±0,05 мм; с настройкой по концевым мерам длины на любое деление	а	±0,05	Штативы*	—	5	2	1	0,5	2	2	2	2	2	2	2	2,5	2,5	2,8	
	То же, с настройкой на нулевое деление	б	±0,03	Стойки**	—	4	2	0,5	0,2	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	—	

Окончание таблицы 1.8

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм										
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня в мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяе- мые концевые меры		Температур- ный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-250										
10	Головки рычажно-зубчатые (1ИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм; при измерении биений	в	0,020	Штативы*	—	—	—	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,1	1,1	1,1

\* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н; ШМ-11Н).

\*\* Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II; С-III).

Таблица 1.9

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемое перемещаемое измерительное стержня в мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
						1-30	30-120	120-250										
11	Индикаторы многооборотные (2МИГ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения 2 мм	а	2	Штативы*	4	5	5	2	5	5	5	6	6	7	8	10	10	12
		б	1	Штативы*	3	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	6	7	8
		в	0,4	Стойки**	2	5	1	0,5	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
	То же, при измерении биений	г	2	Штативы*	—	—	—	—	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		д	1	Штативы*	—	—	—	—	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
е	0,05	Стойки**	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	—	
12	Индикаторы многооборотные (1МИГ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 1 мм	а	1	Штативы*	2	5	1	0,5	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	4
		б	0,2	Стойки**	—	5	1	0,5	2	2	2,2	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	—
	То же, при измерении биений	в	1	Штативы*	—	—	—	—	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
г		0,05	Стойки**	—	—	—	—	2	2	2	2	2	2	2	2	2	—	

\* Штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н; ШМ-11Н).

\*\* Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II; С-III).







Окончание таблицы 1.10

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм										
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 60	св. 60 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 160	
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-180										
19	Головки измерительные пружинные (микрометры) (01ИГП) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерений $\pm 0,004$ мм	а	$\pm 0,004$	С-I**	—	2	0,5	0,1	0,1	0,30	0,30	0,30	0,35	0,35	0,35	0,40	0,50	0,50	
		б	0,003	С-I**	—	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	0,40	0,45	0,50	
	То же, при измерении биения	в	$\pm 0,004$	С-I**	—	—	—	—	—	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
		г	0,003	С-I**	—	—	—	—	—	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
* С-II – стойки с пределом измерений 0–160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 50 мм.																			
** С-I – стойки с пределом измерений 0–160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм.																			

Таблица 1.11

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
					Класс	Разряд	до 30	30–120	120–500									
20	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) (ЗИПМ) с ценой деления 0,002 мм и пределом измерения $\pm 0,1$ мм	а	$\pm 0,1$ 0,06	Штативы*	3	–	5	2	1	2,5	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0	3,5	4,5	4,5
		б		Штативы*	2	–	2	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6	1,5	2	2	2
	То же, при измерении биения	в г	$\pm 0,1$ 0,06	Штативы* Штативы*	– –	– –	– –	– –	– –	2 1,5	2 1,5	2 1,5	2 1,5	2 1,5	2 1,5	2 1,5	2 1,5	2 1,5
21	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) (ИППМ, ИППМУ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения $\pm 0,05$ мм	а	$\pm 0,05$ 0,03	Штативы*	2	–	2	1	0,5	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	1,5	2	2	2
		б		Штативы*	1	–	2	0,5	0,2	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	1	1,2	1,2

Продолжение таблицы 1.11

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм										
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	
					Класс	Разряд	до 30	30-120	120-500										
21	То же, (с нормальным измерительным усилием – 1ИПМ) при измерении биений	в	±0,05	Штативы*	—	—	—	—	—	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
		г	0,03	Штативы*	—	—	—	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
		д	0,03	Стойки**	—	—	—	—	—	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	То же, (с уменьшенным измерительным усилием – 1ИПМУ) при измерении биений	е	±0,05	Штативы*	—	—	—	—	—	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
ж		0,03	Штативы*	—	—	—	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	
22	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с нормальным измерительным усилием (05ИПМ) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения ±0,025 мм	а	±0,025	Штативы*	—	3	2	0,5	0,2	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	1,1	1,0	
		б	0,015	Стойки**	—	3	2	0,5	0,2	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	

Продолжение таблицы 1.11

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
					Класс	Разряд	до 30	30-120	120-500									
22	То же, при измерении биения	в	±0,025	Штативы*	-	-	-	-	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,8	
		г	0,015	Штативы*	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
		д	0,015	Стойки**	-	-	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
23	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) с уменьшенным измерительным усилием (05ИПМУ) с ценой деления 0,0005 мм и пределами измерения 0,025 мм	а	±0,025	Штативы*	-	3	2	0,5	0,2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,8	1,0	0,9
	То же, при измерении биения	б в	±0,025 0,015	Штативы* Штативы*	- -	- -	- -	- -	- -	0,6 0,4	0,6 0,4	0,6 0,4	0,6 0,4	0,6 0,4	0,6 0,4	0,6 0,4	0,7 0,4	0,7 0,4

Продолжение таблицы 1.11

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения						Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
					Класс	Разряд	до 30	30-120	120-500									
24	Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) (02ИПМ, 02ИПМУ) с ценой деления 0,0002 мм и пределом измерения 0,010 мм	а	±0,01	Штативы*	—	2	1	0,5	0,2	0,45	0,45	0,50	0,50	0,60	0,60	0,70	1,0	0,9
		б	0,006	Штативы*	—	2	1	0,5	0,2	0,30	0,30	0,35	0,40	0,50	0,45	0,60	0,80	0,70
	То же, при измерении биения	в	±0,01	Штативы*	—	—	—	—	—	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
		г	0,006	Штативы*	—	—	—	—	—	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35
		д	0,006	Стойки**	—	—	—	—	—	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

\* До 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н, ШМ-11Н).  
 Св. 250 мм до 500 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В и ШМ-11В).  
 \*\* Стойки с пределами измерения 0–160 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С- II и С-III).

Таблица 1.12

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 160	
					Класс	Разряд	1-30	30-120	120-500										
25	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (1П) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения 0,25 мм	а	±0,100	С-1*	1	—	2	0,5	0,2	0,90	0,90	0,90	1,0	1,0	1,0	1,1	1,3	1,3	
		б	0,100	С-1*	1	—	2	0,5	0,2	0,60	0,60	0,60	0,70	0,80	0,70	0,90	1,2	1,0	
	То же, при измерении биений	в	±0,100	С-1*	—	—	—	—	—	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
		г	0,100	С-1*	—	—	—	—	—	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
26	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (05П) с ценой деления 0,0005 мм и пределом измерения 0,1 мм	а	±0,050	С-1*	—	3	1	0,5	0,2	0,50	0,50	0,50	0,60	0,60	0,60	0,70	0,90	0,70	
		б	0,050	С-1*	—	2	1	0,5	0,1	0,35	0,35	0,35	0,40	0,50	0,50	0,60	0,80	0,60	



Окончание таблицы 1.12

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения							Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм								
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Используемые перемещения измерительного стержня, мм	Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 160
					Класс	Разряд												
28	Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) (01П) с ценой деления 0,0001 мм и пределом измерения 0,024 мм	а	±0,010	С-1*	—	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40
		б	0,010	С-1*	—	2	0,5	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	0,40	0,40
	То же, при измерении биений	в	±0,010	С-1*	—	—	—	—	—	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
		г	0,010	С-1*	—	—	—	—	—	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
* С-1 – Стойки с пределом измерений 0–160 мм, вылетом головки 75 мм и диаметром колонки 70 мм.																		

Таблица 1.13

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения		Предельные погрешности измерения, мкм
№ для таблицы 8	Наименование и случаи применения		Используемая цена деления, мкм	Используемый предел измерения, мкм	
29	Головки измерительные рычажно-пружинные с ценой деления 0,001 (0,002) мм и пределом измерения 0,040 (0,080) мм при измерении биений. Положение головки горизонтальное, шкалой вверх	а	2	0,080	3
		б	2	0,040	2
		в	1	0,040	1
		г	1	0,020	0,5

Таблица 1.14

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения					Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм													
№ для таблицы 4	Наименования и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Применяемые концевые меры		Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
				Класс	Разряд	до 30	св. 30 до 80	св. 80 до 500													
30	Оптиметр вертикальный, оптиметр горизонтальный, машина измерительная (ИЗМ) с ценой деления 0,001 мм и пределом измерения по шкале 0,1 мм, при измерении методом сравнения с мерой	а	±0,1	0	—	1	0,5	0,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1,5	1,5	2	2
		б	±0,06	—	2	1	0,5	0,1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

Таблица 1.15

Средства измерения		Температурный режим, °C	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм								
№ для таблицы 4	Наименование		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 150
31	Микроскопы инструментальные (большая и малая модель)	5	4	4	4	4	5	5	6	9	11
<i>Примечание:</i> пределы измерения микроскопов инструментальных: малой модели до 75×25 мм; большой модели до 150×50 мм.											

Таблица 1.16

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм													
№ для таблицы 4	Наименование		Форма детали	Метод измерения	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
					до 30	св. 30													
32	Микроскопы измерительные универсальные	а	Плоская	Проекционный	5	2	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,5	7,0	9,0	12	16	20	25
		б	Цилиндрическая (в центрах)	Проекционный	5	2	6,0	6,0	6,0	6,0	6,5	6,5	7,0	8,0	–	–	–	–	–
		в		Метод осевого сечения	5	2	2,5	3,0	3,0	3,0	3,0	3,5	4,0	5,0	–	–	–	–	–

*Примечание:* Пределы измерения универсальных измерительных микроскопов 200×100 и 500×200.

Репозиторий БГАТУ

Таблица 1.17

Средства измерения		Варианты использования	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм												
№ для таблицы 4	Наименование и случаи применения		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
33	Машина измерительная (ИЗМ) при абсолютных измерениях	а	1	1	1	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3,5	4	5	6
	То же, при относительных измерениях	б	см. таблицу 1.14												
Примечание: Температурный режим при измерении размеров до 100 мм – 1 °С, свыше 100 мм – 0,5 °С.															

Таблица 1.18

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения			Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм													
№ для таблицы 4	Наименования и случаи применения		Класс применяемых концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500
				до 30	30-120	св. 120													
34	Длиномеры: горизонтальный и вертикальный при абсолютных измерениях	а	—	5	2	—	1,2	1,3	1,3	1,6	2	2	2,5	3	—	—	—	—	—
	То же при измерениях методом сравнения с мерой	б	1	2	0,5	0,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5

*Примечание.* Пределы измерения длинномеров: при абсолютном методе измерения 0-100 мм; при измерениях методом сравнения с мерой: горизонтального 0–500 мм, вертикального 0–250 мм.

Таблица 1.19

№ для таблицы 4	Наименование	Варианты использования	Увеличение	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм						
				до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 100
35	Проекторы измерительные	а	10 <sup>×</sup>	15	15	15	15	16	16	16
		б	20 <sup>×</sup>	8	8	10	10	10	10	10
		в	50 <sup>×</sup> , 100 <sup>×</sup> , 200 <sup>×</sup>	6	6	6	6	7	7	7
<p><i>Примечания:</i></p> <p>1. Пределы измерения: часовых проекторов (ЧП-2; ПИ 360Ц) 40×25 мм больших проекторов (БП; БП-3Ц) 100×50 мм.</p> <p>2. Температурные условия измерения: часовых проекторов – допускаемое отклонение температуры от 20 °С до 3 °С; больших проекторов – допускаемое отклонение температуры от 20 °С до 1 °С, допускаемое изменение температуры в процессе измерения 1 °С.</p>										



Окончание таблицы 1.20

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения					Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм																	
№ для таблиц 4 и 8	Наименование и случаи применения		Установочные узлы по ГОСТ 10197-70	Используемые концевые меры длины		Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм			Используемая цена деления, мкм	до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400	св. 400 до 500			
				Класс	Разряд	до 30	30-120	св. 120																	
36	То же	н	Стойки**	-	2	0,5	0,1	0,1	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	-	-	-	-			
		о							0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	-	-	-	-			
		п							0,1	0,25	0,25	0,25	0,35	0,35	0,35	-	-	-	-	-	-	-			
	То же, при измерении биений	р	Штативы*	-	-	-	-	-	-	2,0	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2		
		с								1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	
		т								0,5	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,9	0,9	1,0
		у								0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,30	0,30	0,30	-	-	-
		ф								0,1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,25	0,25	0,25	-	-	-
		х								0,2	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	-	-	-
		ц								0,1	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	
	* До 250 мм – штативы с диаметром колонки не менее 30 мм и наибольшим вылетом головки до 200 мм (Ш-11Н, ШМ-11Н), св. 250 мм до 500 мм – штативы с диаметром колонки не менее 50 мм и наибольшим вылетом головки до 500 мм (Ш-11В, ШМ-11В).																								
	** Стойки с пределами измерения 0-160 мм и 0-100 мм и диаметром колонки не менее 50 мм и не менее 30 мм соответственно (С-II, С-III).																								

Таблица 1.21

Средства измерения		Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм							
№ для таблицы 7	Наименование	до 10	св. 10 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 315	св. 315 до 400
37	Штангенглубиномер (ШГ) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	100	100	150	150	150	150	150	150

Таблица 1.22

Средства измерения		Варианты использования	Температурный режим, °С	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
№ для таблицы 7	Наименование и случаи применения			до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 75	св. 75 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150
38	Глубиномеры микрометрические (ГМ) при абсолютном методе измерения	а	5	7	20	20	20	20	25
	Глубиномеры микрометрические при измерении с настройкой по установочным мерам	б	5	6	6	7	8	10	11

Таблица 1.23

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
№ для таблицы 7	Наименования и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Класс применяемых концевых мер	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм		до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 150
					до 30	св. 30						
39	Глубиномеры индикаторные (ГИ) при измерении с настройкой по установочной мере	а	10	—	5	5	15	15	15	15	20	20
	То же, с настройкой по блокам концевых мер длины	б	0,1	4	5	5	6	7	7	9	10	15
		в	0,02–0,03	3	5	2	4	5	5	5	6	9
40	Глубиномеры индикаторные (ГИ) при замене отсчетного устройства измерительной головкой с ценой деления 0,001 мм (1ИГ или 1ИПМ) и измерении с настройкой по блокам концевых мер длины	а	0,002–0,003	2	2	1	1,5	1,5	1,5	2	2	2
	То же, при четырехкратном измерении с переборкой блока при каждом измерении	б	0,002–0,003	2	2	1	0,5	0,5	1,0	1,5	—	—

Таблица 2 – Предельные погрешности измерения внутренних линейных размеров универсальными измерительными средствами

Таблица 2.1

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
№ для таблицы 6	Наименование и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий, $R_a$ , мкм	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм		св. 3 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250	св. 250 до 500
						3–120	120–500					
1	Линейки измерительные металлические	-	-	-	-	-	-	-	500			
2	Штангенциркули (ШЦ-I, ШЦТ-I, ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу	-	-	-	5	7		200	200	250	300	300
3	Штангенциркули (ШЦ-II, ШЦ-III) с отсчетом по нониусу 0,05 мм	-	-	-	5	7		150	150	200	200	250
4	Нутромеры микрометрические (НМ) с величиной отсчета 0,01 мм	а	13	Микропара устанавливается по установочной мере	5	5	3	-	-	15	20	30
		б		Аттестуется размер собранного нутромера				-	-	10	15	20

Продолжение таблицы 2.1

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
№ для таблицы 6	Наименование и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий, $R_a$ , мкм	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм		св. 3 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250	св. 250 до 500
						3-120	120-500					
5	Нутромеры индикаторные (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,01 мм	а	весь расх	Концевые меры длины 3 класса с боковиками или микрометры	5	5	3	15	20	25	25	30
		б	од 0,1		1,25			10	10	15	15	20
		в	0,03	Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм)	0,32	3	2	5	5	10	10	—
6	Нутромеры индикаторные (НИ) при замене отсчетного устройства измерительной головки (ИГ) 0,001 или 0,002 мм	а	0,1	Концевые меры длины 1 класса или установочные кольца (до 160 мм)	1,25	3	2	4,5	5,5	6,5	7,5	11
		б	0,03		0,32			2,8	3,5	4,5	6,5	9

Окончание таблицы 2.1

Средства измерения		Варианты использования	Условия измерения				Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм					
№ для таблицы 6	Наименование и случаи применения		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средство установки	Шероховатость поверхности отверстий, $R_a$ , мкм	Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм		св. 3 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250	св. 250 до 500
						3-120	120-500					
7	Нутромеры с ценой деления отсчетного устройства 0,001 и 0,002 мм	а	0,1	Концевые меры длины 1 класса с боковиками или установочные кольца (до 160 мм)	3,25	3	2	3,5	5	6	7	—
		б	00,1	Концевые меры длины 1 класса с боковиками	0,32			2	3,5	4,5	5,5	—
		в	0,01	Установочные кольца (до 160 мм)	0,32			1,5	2,5	3,5	4,5	—

Таблица 2.2

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения				Предельная погрешность измерения, мкм, для диапазона размеров				
№ для таблицы б	Наименование		Используемое перемещение измерительного стержня, мм	Средства установки	Шероховатость поверхности отверстий $R_a$ , мкм	Температурный режим, °С	св. 13 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250	св. 250 до 500
8	Оптиметры и длиномеры горизонтальные, измерительные машины с ценой деления отсчетного устройства 0,001	а	±0,06	Концевые меры 1 класса с боковиками	1,25	2	1,5	1,5	2,5	5	9
		б		Установочные кольца <sup>5</sup>		1	1	1	1,2	2,5	–

Таблица 2.3

Средства измерения		Вариант использования	Условия измерения				Предельная погрешность измерения, мкм, для диапазона размеров			
№ для таблицы 6	Наименование и случаи применения		Диаметральный зазор между пробкой и отверстием, мм	Шероховатость поверхности отверстий $Ra$ , мкм	Температурный режим, °С		св. 3 до 6	св. 6 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120
					до 18	св. 18 до 120				
9	Пневматические пробки с отсчетным прибором с ценой деления 1 мкм и 0,5 мкм с настройкой по установочным кольцам <sup>5</sup>	а	0,04–0,06	1,25	2		4	4	4,5	5
		б	0,03–0,04	1,25			3	3	3,5	4
		в	0,02–0,03	1,25			2,5	2,5	2,5	3
	То же, при цене деления прибора 0,5 мкм	г	0,02–0,03	0,32			2	2	2,5	3
		д	0,01–0,02				1,5	1,5	2	2,5
10	То же, при цене деления прибора 0,2 мкм		0,01–0,02	0,32	0,5	0,2	0,8	0,6	0,6	0,8

Таблица 2.4

Средства измерения		Температурный режим, °С, для диапазона измеряемых размеров, мм		Предельные погрешности измерения мкм, для диапазона размеров, мм			
		1–50	50–250	до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250
№ для таблицы 6	Наименование и случаи применения						
11	Микроскопы инструментальные (большая и малая модели) <sup>6,7</sup>	5	5	7	10	10	10
12	Микроскопы универсальные измерительные при использовании штриховой головки <sup>6,7</sup>	3	2	5	6	7	7
13	Приборы с электронным индикатором контакта <sup>6</sup> при настройке по концевым мерам 0 класса	2	1	0,3	0,3	0,5	0,5
14	Прибор с электронным индикатором контакта для измерения диаметра малых отверстий <sup>8</sup> при настройке по концевым мерам 0 класса	2	–	0,5	–	–	–

Примечания к таблице 2

<sup>1</sup> Штангенциркули имеют нижний предел измерения 10 мм, нутромеры индикаторные 6 мм.

<sup>2</sup> При использовании для установки на размер концевых мер, вместо микрометров, предельная погрешность уменьшается на 2–3 мкм.

<sup>3</sup> При использовании установочных колец диаметром 120–160 мм предельная погрешность уменьшается на 1–2 мкм.

<sup>4</sup> Для диапазона 160–250 мм предельная погрешность указана только при использовании концевых мер длины.

<sup>5</sup> Предельная погрешность измерения, указанная в таблицах 2.2 и 2.3, может быть обеспечена только при применении аттестованных установочных колец по ГОСТ 14865-78 в соответствии с таблицей:

Номера по таблицам 2.2 и 2.3	Класс точности установочных колец	Диаметр установочных колец, мм				
		от 3 до 6	св. 6 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 160
Допускаемая погрешность аттестации, мкм						
8 и 9	2 и 4	0,5	0,5	0,5	0,8	1,5
10	1	0,3	0,3	0,3	0,3 и 0,5	–

<sup>6</sup> Погрешности микроскопов указаны при измерении сквозных отверстий и глухих отверстий с острой торцевой кромкой.

<sup>7</sup> Пределы измерения инструментальных микроскопов большой модели до 150 мм, малой модели до 75 мм, универсальных микроскопов до 200 мм.

<sup>8</sup> Пределы измерения прибора с электронным индикатором контакта от 4 мм до 200 мм, а также для малых отверстий от 1 мм до 4 мм.

Таблица 3 – Предельные погрешности блоков концевых мер

Диапазон размеров, мм	Состав блока	Предельные погрешности блоков концевых мер, мкм											
		Разряд концевых мер					Класс концевых мер						
		1	2	3	4	5	00	0	1	2	3	4	5
1–10	Две меры до 10 мм	0,20	0,20	0,25	0,40	0,90	0,20	0,25	0,30	0,60	1,20	2,90	5,5
10–30	Одна мера 10–25 мм, две меры до 10 мм	0,30	0,30	0,35	0,50	1,10	0,30	0,35	0,50	0,80	1,70	3,80	7,5
30–50	Одна мера 25–50 мм, две меры до 10 мм	0,30	0,30	0,35	0,50	1,20	0,30	0,35	0,50	0,90	2,00	4,20	8,5
50–80	Одна мера 50–75 мм, две меры до 10 мм	0,30	0,35	0,40	0,60	1,30	0,35	0,45	0,60	1,10	2,30	5,00	10,0
80–120	Одна мера 100 мм, одна мера 10 мм, две меры до 10 мм	0,40	0,45	0,50	0,70	1,60	0,45	0,55	0,80	1,30	2,90	6,00	12,0
120–180	Одна мера 100 мм, одна мера 50–75 мм, две меры до 10 мм	0,45	0,45	0,55	0,80	1,70	0,50	0,60	0,90	1,60	3,50	7,00	14,0
180–250	Одна мера 200 мм, одна мера 25–50 мм, две меры до 10 мм	0,45	0,50	0,55	0,90	2,00	0,50	0,70	1,20	2,20	4,50	9,00	17,0
250–315	Одна мера 300 мм, одна мера 10 мм, две меры до 10 мм	0,50	0,55	0,65	1,00	2,30	0,65	0,90	1,50	3,10	6,20	12,0	25,0
315–400	Одна мера 300 мм, одна мера 75–100 мм, две меры до 10 мм	0,55	0,60	0,70	1,10	2,50	0,70	1,00	1,60	3,30	6,50	13,0	28,0
400–500	Одна мера 400 мм, одна мера 75–100 мм, две меры до 10 мм	0,65	0,70	0,85	1,30	2,90	0,80	1,20	2,00	3,80	7,50	15,0	32,0

Таблица 4 – Измерение наружных размеров станковыми средствами измерения

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения по таблице 1											
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25	8/40	12/60	20/100	30/140
	17б, 18а, 19а, 22б, 24б, 26б, 27а, 28а, 30б, 36з	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 30б, 36в	10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 15а, 20а, 32а, в, 36а	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, б, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 12а, 13а, 14а, 31, 35в	7г, з, 11а, 13а, 32б, 35б	7б, е, 13а, 35б	7а, е, 35а	7а, 35а
Св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30	10/48	16/75	30/120	40/180
	10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к	10б, 15б, 16б, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10б, 15а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 30б, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32а, в, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20з, 31, 32а, в, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б	7а, е, 35а	7а, 35а	–
Св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36	12/58	18/90	30/150	50/220
	10б, 16б, 17а, 18а, 19а, 22б, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36г, к	10б, 15б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в	9б, 10б, 15б, 16а, 21а, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 30а, 33а, 34а, 36б	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 32б	7б, е, 13а, 35б	7а, 35а	7а, 35а	–
Св. 10 до 18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43	14/70	30/110	40/180	60/270
	10б, 16б, 17а, 18а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25б, 26а, 27а, 30б, 36ж	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 25а, 26а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10б, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 34а, 36б	9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 32б, 35б	7б, е, 13а, 35б	7а, 35а	–	–

Продолжение таблицы 4

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски; мкм; средства измерения по таблице 1											
Св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52	18/84	30/130	50/210	70/330
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36г, ж	10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10а, 15а, 16а, 20б, 21а, 25а, 30а, 33а, 34а, 36б	9б, 10а, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 20а, 32а, в, 34а, 36а	7д, 9а, 11а, 12а, 13б, 14а, 20а, 31, 32а, в	7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, е, 11а, 13а, 32б, 35б	7а, 35а	–	–	–
Св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62	20/100	40/160	50/250	80/390
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж	10б, 16а, 21б, 22а, 23а, 25а, 30а, 33а, 36в, е	9б, 10а, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б, д	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в, 34а, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 31, 32а, в, 36а	7д, и, 9а, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35а	–	–	–

Продолжение таблицы 4

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски, мкм; средства измерения по таблице 1											
Св. 50 до 80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74	30/120	40/190	60/300	100/460
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 36ж, и	9б,10б, 15б, 16а, 21б, 22а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а, 36б	9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 21а, 32в, 34а, 36а	7к, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в, 34а, 36а	7г, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б, 35в	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32б, 35б	7а, 35а	7а, 35а	–	–	–
Св. 80 до 120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87	30/140	50/220	70/350	120/540
	10б, 16а, 17а, 21б, 22а, 23а, 24а, 25а, 26а, 30а, 34б, 36е	10б, 16а, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а, 30а, 33а, 34б, 36б	9б, 10а, 12б, 15а, 20б, 21а, 33а, 34а*, б, 36а	7к, 9а, 10а, 11в, 12а, 14б, 15а, 20а, 32в*, 34а*, 36а	7д, 9а, 11б, 12а, 13б, 14б, 20а, 32в*, 34а*, 36а	7г, з, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, 35б*	7в, ж, 11а, 13а, 14а, 31, 32а, б*, 35б*	7а, 11а, 13а, 35а*	7а, 35а*	–	–	–

Продолжение таблицы 4

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски; мкм; средства измерения по таблице 1											
Св. 120 до 180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630
	10б*, 15б*, 16а*, 20б, 21а, 22а, 23а, 24а, 25а*, 30а, 34б, 36б	9б*, 10а, 15а*, 20б, 21а, 34б, д 36б, д	9б*, 10а, 11в*, 12а, 15а*, 20б, 21а, 33а, 36а	7д, 9а, 11в*, 12а, 13б*, 14б*, 20а, 33а, 36а	7д, и, 9а, 11б, 13б*, 14б*, 20а	7в, ж, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а	7в, е, 11а, 13а*, 14а*, 31*, 32а	7а	7а	–	–	–
Св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115	40/185	60/290	100/460	160/720
	10а, 22а, 23а, 24а, 30а, 34б, 36в, е	10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 34б, 36б	10а, 12а, 20б, 21а, 33а, 36а	7д, 9а, 12а, 20а, 33а, 36а	7д, и, 9а, 11б, 12а, 20а	7г, з, 9а, 11а, 32а	7в, е, 11а, 32а	7а	7а	–	–	–
Св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130	50/210	70/320	120/520	180/810
	21б, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21а, 33а, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7к, 20а, 21а, 33а, 36а	7г, 20а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7в, е, 32а	7а	–	–	–

Окончание таблицы 4

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Допускаемая погрешность измерения, мкм/допуски; мкм; средства измерения по таблице 1											
Св. 315 до 400	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100	40/160	50/250	80/400	140/630
	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140	50/230	80/360	120/570	180/890
	21а, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21а, 33а, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7д, 20а, 21а, 33а, 36а	7д, и, 20а, 33а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7а, 32а	7а	–	–	–
Св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155	50/250	80/400	140/630	200/970
	21б, 22а, 23а, 30а, 34б	20б, 21б, 34б, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	20б, 21а, 33а, 36а	7г, 20а, 33а	7г, з, 20а	7в, е, 32а	7в, е, 32а	7а, 32а	–	–	–

Таблица 5 – Измерение наружных размеров накладными средствами измерения

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	2	3	4	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25
	–	6г	6г	6г	6г	6в	6в	4а, 5в, 6а
Св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30
	6г	6г	6г	6г	6в	6в	6а	4а, 5в, 6а
Св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36
	6г	6г	6г	6в	6в	6а	4а, 5г, 6а	4а, 5в
Св. 10 до 18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43
	6г	6г	6г	6в	6в	4а, 5г, 6а	4а, 5в, 6а	4а, 5б
Св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52
	6г	6г	6а*, г	6в	6а*, в	4а*, в, 5г, 6а*, б	4а*, б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а
Св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62
	6г	6г	6г	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а	4а, 5б, 6а	4а, 5а
Св. 50 до 80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74
	6г	6г	6г	6в	4б, 5г, 6б	4б, 5в, 6а*, б	4а*, б 5б, 6а	4а, 5а, 6а

Продолжение таблицы 5

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность, мкм /допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
До 3	8/40	12/60	20/100	30/140	50/250	80/400	120/600	200/100
	4а, 5в, 6а	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2
Св. 3 до 6	10/48	16/75	30/120	40/180	6/300	100/480	160/750	240/1200
	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2
Св. 6 до 10	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360	120/580	200/900	300/1500
	4а, 5а	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2
Св. 10 до 18	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430	140/700	240/1100	380/1800
	4а, 5а	4а	4а	4а	4а	3	2	2
Св. 18 до 30	18/84	30/130	50/120	70/330	120/520	180/840	280/1300	440/2100
	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2	2
Св. 30 до 50	20/100	40/160	50/250	80/390	140/620	200/1000	320/1600	500/2500
	4а, 5а	4а	4а	4а	3	2	2	1, 2
Св. 50 до 80	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740	240/1200	400/1900	600/3000
	4а, 5а	4а	4а	3	3	2	2	1, 2

Продолжение таблицы 5

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	2	3	4	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность, мкм/допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
Св. 80 до 120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87
	6г	6г	6г	4б*,6б*,в	4б*,5г, 6б	4б, 5в,6б	4б, 5б	4а, 5а, 6а
Св. 120 до 180	2/5	2,8/8	4/12	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100
	6г	6г	6в*, г	5г, 6в	5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а*, б, 5б, 6а*, б	4а, 5а, 6а
Св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115
	6г	6в*, г	6в	5г*, 6б	5в*, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4а, 5а*,б, 6а
Св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130
	6г	6г	6в*, г	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4в, 5б*, в, 6б	4а*, б 5б, 6а*, б
Св. 315 до 400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140
	6г	6г	6в	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б ,6б	4а, 5б, 6а
Св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155
	6г	6г	6г	6б	4б, 5в, 6б	4б, 5в, 6б	4б, 5б, 6б	4б, 5б, 6б

Окончание таблицы 5

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность, мкм /допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
Св.80 до 120	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870	280/1400	440/2200	700/3500
	4а, 5а	4а	4а	3	3	2	2	1, 2
Св.120 до180	40/160	50/250	80/400	140/630	200/1000	320/1600	500/2500	800/4000
	4а, 5а	4а	4а	3, 4а	2, 4а	2, 4а	1, 2, 4а	1, 2, 4а
Св.180 до 250	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150	380/1850	600/2900	1000/4000
	4а,5а, 6а	4а, 5а	3, 4а	3, 4а.	3, 4а	2, 4а	1, 2, 4а	1,2, 4а
Св. 250 до 315	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300	440/2100	700/3200	1100/5200
	4а,5а, 6а	4а, 5а	4а	4а	2, 4а	2, 4а	1, 2, 4а	1,2, 4а
Св. 315 до 400	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400	460/2300	800/3600	1200/5700
	4а, 5а, 6а	4а, 5а 6а	4а	4а	2, 4а	2, 4а	1, 2, 4а	1, 2, 4а
Св. 400 до 500	50/250	80/400	140/630	200/970	320/1550	500/2500	800/4000	1400/6300
	4а,5б, 6а	4а,5а, 6а	4а	4а	2, 4а	1, 2, 4а	1, 2, 4а	1, 2, 4а

Таблица 6 – Измерение внутренних размеров

Диапазон номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	2	3	4	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 2							
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25
	14	14	14	14	14	14	14	12
Св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30
	13*, 14*	10, 13*, 14*	10, 13*, 14*	7в, 9д	7в, 9г	7б, 9б	7а, 9а	9а, 11, 12
Св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36
	10, 13	10, 13	10, 13	7в, 9д	7в, 9г	6б, 7а, 9а	5в, 6а, 7а 9а, 12	5в, 6а, 7а 9а, 11, 12
Св. 10 до 18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43
	10, 13	8б*, 10, 13	7в, 8а*, 9д	7б, 8а*, 9в	6б, 7б, 8а*, 9б	5в, 6а, 7а, 9а, 12 12	5в, 6а, 7а, 9а, 11, 12	5б, 9а, 11, 12
Св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52
	10, 13	8б, 10, 13	8а, 9д	7а, 8а, 9в	6б, 7б, 9б	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5в, 6а, 12	5б, 11
Св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62
	10, 13	8б, 10, 13	8а, 9д	6б, 7б, 9б	5в, 6б, 7а, 9а	5в, 6а, 7а, 9а, 12	5б, 9а, 11, 12	5б, 11
Св. 50 до 80	1, 2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74
	8б, 10, 13	8б, 10	8а, 9д	8а, 9б	6б, 8а, 9а	6а, 9а, 12	4б, 5в, 6а, 11, 12	4а, 5б, 11

Продолжение таблицы 6

Диапазон номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 2							
До 3	8/40	12/60	20/100	30/140	50/250	80/400	120/600	200/1000
	11, 12	11	11	11	11	11	11	11
Св. 3 до 6	10/48	15/75	30/120	40/180	60/300	100/480	160/750	240/1200
	9а, 11, 12	11	11	11	11	11	11	11
Св. 6 до 10	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360	120/580	200/900	300/1500
	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	2, 5а	2, 5а
Св. 10 до 18	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430	140/700	240/1100	380/1800
	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	2	2
Св. 18 до 30	18/84	30/130	50/210	70/330	120/520	180/840	280/1300	440/2100
	5б, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	3	2	2
Св. 30 до 50	20/100	40/160	50/250	80/390	140/620	200/1000	320/1600	500/2500
	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	5а, 11	2	2	1, 2
Св. 50 до 80	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740	240/1200	400/1900	600/3000
	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	3	2	1, 2

Продолжение таблицы 6

Диапазон номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	1	3	4	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 2							
Св. 80 до 120	1,6/4	2/6	3/10	5/15	6/22	10/35	12/54	20/87
	8б, 10, 13	8б, 10	8а, 9а	6б, 8а, 9а	6б, 9а	4б, 6а, 9а, 11, 12	4б, 6а, 11, 12	4а, 5б, 11
Св. 120 до 180	2/5	2,8/8	4/10	6/18	7/25	12/40	16/63	30/100
	13	8б	8б	8а	6а, 8а, 12	6а, 11*,12	4б, 5б, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12
Св. 180 до 250	2,8/7	4/10	5/14	7/20	8/29	12/46	18/72	30/115
	8б	8б	8а	6а, 8а, 12*	6а,8а, 12*	6а, 12*	4б, 5б,12*	4а, 5а, 12*
Св. 250 до 315	3/8	4/12	5/16	8/23	10/32	14/52	20/81	30/130
	–	–	–	–	6б, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а
Св. 315 до 400	3/9	5/13	6/18	9/25	10/36	16/57	24/89	40/140
	–	–	–	8а	6б, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а
Св. 400 до 500	4/10	5/15	6/20	9/27	12/40	18/63	26/97	40/155
	–	–	–	6б, 8а	6а, 8а	6а, 8а	4б, 5б	4а, 5а

\*Измерительное средство не полностью обеспечивает диапазон номинальных размеров (см. таблицу 2).

Окончание таблицы 6

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 2							
Св. 80 до 120	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870	280/1400	440/2200	700/3500
	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	4а, 5а, 11	2	2	1, 2
Св. 120 до 180	40/160	50/250	80/400	140/630	200/1000	320/1600	500/2500	800/4000
	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	4а, 5а, 11*, 12	3	2	1, 2	1, 2
Св. 180 до 250	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150	380/1850	600/2900	1000/4600
	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	4а, 5а, 12*	3	2	1, 2	1, 2
Св. 250 до 315	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300	440/2100	700/3200	1100/5200
	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	3	2	1, 2	1, 2
Св. 315 до 400	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400	400/2300	800/3600	1200/5700
	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	3	2	1, 2	1, 2
Св. 400 до 500	50/250	80/400	140/630	200/970	320/1550	500/2500	800/4000	1400/6300
	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	4а, 5а	2	1, 2	1, 2	1, 2

Таблица 7 – Измерение глубин и уступов универсальными измерительными средствами

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	2	3	4	5	6	7	8	9
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
До 3	0,4/1,2	0,8/2	1/3	1,4/4	1,8/6	3/10	3/14	6/25
	–	40б	40б	40б	40а	40а	40а	38б, 39б
Св. 3 до 6	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	1,6/5	2/8	3/12	4/18	8/30
	40б	40б	40б	40а	40а	40а	39 в	38б, 39б
Св. 6 до 10	0,6/1,5	1/2,5	1,4/4	2/6	2/9	4/15	5/22	9/36
	40б	40б	40б	40а	40а	39в	39 в	38б, 39б
Св. 10 до 18	0,8/2	1,2/3	1,6/5	2,8/8	3/11	5/18	7/27	10/43
	40б	40б	40а	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б
Св. 18 до 30	1/2,5	1,4/4	2/6	3/9	4/13	6/21	8/33	12/52
	40б	40б	40а	40а	40а	38б, 39в	38б, 39б	38б, 39б
Св. 30 до 50	1/2,5	1,4/4	2,4/7	4/11	5/16	7/25	10/39	16/62
	40б	40б	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а
Св. 50 до 80	1,2/3	1,8/5	2,8/8	4/13	5/19	9/30	12/46	18/74
	–	40б	40а	40а	39в	38б, 39б	38б, 39б	38б, 39а

Продолжение таблицы 7

Диапазоны номинальных размеров, мм	Квалитеты							
	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность, мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
До 3	8/40	12/60	20/100	30/140	50/250	80/400	120/600	200/1000
	38б, 39б	38б, 39б	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37
Св. 3 до 6	10/48	16/75	30/120	40/180	60/300	100/480	160/750	240/1200
	38б, 39б	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37
Св. 6 до 10	12/58	18/90	30/150	50/220	80/360	120/580	200/900	300/1500
	38б, 39б	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37
Св. 10 до 18	14/70	30/110	40/180	60/270	90/430	140/700	240/1100	380/1800
	38б, 39б	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37
Св. 18 до 30	18/84	30/130	50/210	70/330	120/520	180/840	280/1300	440/2100
	38б, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37	37
Св. 30 до 50	20/100	40/160	50/250	80/390	140/620	200/1000	320/1600	500/2500
	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37	1, 37
Св. 50 до 80	30/120	40/190	60/300	100/460	160/740	240/1200	400/1900	600/3000
	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	38а, 39а	37	37	37	1, 37



Окончание таблицы 7

Диапазоны номинальных размеров мм	Квалитеты							
	10	11	12	13	14	15	16	17
	Допускаемая погрешность мкм / допуски, мкм; средства измерения по таблице 1							
Св. 80 до 120	30/140	50/220	70/350	120/540	180/870	280/1400	440/2200	700/3500
	38a, 39a	38a, 39a	38a, 39a	38a, 39a	37	37	37	1, 37
Св. 120 до 180	40/160	50/250	80/400	140/630	200/1000	320/1600	500/2500	800/4000
	38a*,39a*	38a*, 39a*	38a*, 39a*	38a*,39a*	37	37	1, 37	1, 37
Св. 180 до 250	40/185	60/290	100/460	160/720	240/1150	380/1850	600/2900	1000/4600
	–	–	–	37	37	37	1, 37	1, 37
Св. 250 до 315	50/210	70/320	120/520	180/810	260/1300	440/2100	700/3200	1100/5200
	–	–	–	37	37	37	1, 37	1, 37
Св. 315 до 400	50/230	80/360	120/570	180/890	280/1400	460/2300	800/3600	1200/5700
	–	–	–	37	37	37	1,37	1,37
Св. 400 до 500	50/250	80/400	140/630	200/970	320/1550	500/2500	800/4000	1400/6300
	–	–	–	–	–	1	1	1

Таблица 8 – Измерение радиального и торцового биения поверхностей

Допуск, мкм	Допускаемая погрешность измерения, мкм	Диапазоны диаметров контролируемых поверхностей, мм					
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 160	Св.160 до 250	Св.250 до 315	Св.315 до 400
		Средства измерения по таблице 1					
0,4	0,14	19Г, 27Г, 28В, 36Ц					
0,5	0,18	18Г, 19В, 27Г, 28В, 36Ц					
0,6	0,2	18В, 19В, 24Д, 26Г, 27В, 28В, 36Ф					
0,8	0,3	17Г, 18В, 19В, 22Д, 24Г, 26Г, 27В, 36У					
1	0,35	17Г, 18В, 22Д, 24Г, 26Г, 27В, 36У	17Г, 18В, 22Д, 24Г, 26Г, 27В, 36У				
1,2	0,4	17В, 18В, 22Г, 23В, 24В, 25Г, 26В, 27В, 36У	17В, 18В, 22Г, 23В, 24В, 25Г, 26В, 27В, 36У	17В, 18В, 22Д, 23В, 24Г, 25Г, 26В, 27В, 36У			
1,6	0,6	16Г, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т	16Г, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т	16Г, 17В, 21Д, 22Г, 23В, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т			
2	0,7	16В, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т	16В, 17В, 21Д, 22В, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т	16В, 17В, 21Д, 22Г, 23Б, 24В, 25Г, 26В, 29Г, 36Т	22Г, 23Б, 24В, 36Т		
2,5	0,9	10В, 16В, 21Г,Ж, 22В, 23Б, 25В, 29Г, 36Т	10В, 16В, 21Д,Ж, 22В, 23Б, 25В, 29Г, 36Т	16В, 21Д,Ж, 22В, 23Б, 24В, 25В, 29Г, 36Т	21Д,Ж, 22В, 23Б, 24В, 36Т	23В, 36Т	23В, 36ТЗ
3	1	10В, 15Г, 16В, 21Г,Ж, 22В, 23Б, 29В, 36Т	10В, 15Г, 16В, 21Г,Ж, 22В, 23Б, 29В, 36Т	15Г, 16В, 21Г,Ж, 22В, 23Б, 29В, 36Т	21Г,Ж, 22В, 23Б, 24В, 36Т	21Ж, 22Г, 23В, 36Т	23В, 36Т

Продолжение таблицы 8

Допуск, мкм	Допускаемая погрешность измерения, мкм	Диапазоны диаметров контролируемых поверхностей, мм					
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 160	Св. 160 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400
		Средства измерения по таблице 1					
4	1,4	9в, 10в, 15г, 16в, 21в,е, 29в, 36с	9в, 10в, 15г, 16в, 21в,е, 29в, 36с	10в, 15г, 16в, 21в,е, 22в, 23б, 29в, 36с	10в, 21в,е, 22в, 23б, 36с	10в, 21г,ж, 22г, 23б, 36с	21ж, 23в, 36с
5	1,8	9в, 10в, 15в, 20г, 21в,е, 29в, 36с	9в, 10в, 15в, 20г, 21в,е, 29в, 36с	9в, 10в, 15в, 20г, 21в,е, 29в, 36с	9в, 10в, 20г, 21в,е, 36с	9в, 10в, 20г, 21в,е, 22в, 23б, 36с	21г,е, 22г, 23б, 36с
6	2	9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в,е, 29б, 36с	9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в,е, 29б, 36с	9в, 10в, 11е, 12г, 15в, 20в, 21в,е, 29б, 36с	9в, 10в, 20в, 21в,е, 36с	9в, 10в, 20г, 21в,е, 22в, 23б, 36с	20г, 21г,е, 22г, 23б, 36с
8	3	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 15в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 12в, 20в, 36р	9в, 10в, 20в, 21в,е, 22в, 36р	20в, 21в,е, 22в, 23б, 36р
10	3,5	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 14г, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 12в, 20в, 36р	9в, 10в, 20в, 21в, 36р	20в, 21в,е, 22в, 36р
12	4	9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 11е, 12в, 13г, 14в, 20в, 29а, 36р	9в, 10в, 12в, 36р	9в, 10в, 20в, 36р	20в, 21г, 22в, 36р
10	6	7р,х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а	7р,х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а	7р,х, 9в, 10в, 11г, 12в, 13в, 14в, 29а	7р,х, 9в, 10в, 11г, 12в	7р,х	7р,х, 20в
20	7	7р,х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в	7р,х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в	7р,х, 9в, 10в, 11г, 13в, 14в	7р,х, 9в, 10в, 11г	7р,х	7р,х
25	9	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г	7п	7п
30	9	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г, 13в	7п, 11г	7п	7п
40	12	7п, 8б, 11г, 13в	7п, 8б, 11г, 13в	7п, 8б, 11г, 13в	7п, 8б, 11г	7п, 8б	7п, 8б

Окончание таблицы 8

Допуск, мкм	Допускаемая погрешность измерения, мкм	Диапазоны диаметров контролируемых поверхностей, мм					
		До 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 160	Св.160 до 250	Св.250 до 315	Св.315 до 400
		Средства измерения по таблице 1					
50	15	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
60	18	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
80	20	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а	7п, 8а
100	25	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
120	30	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
160	40	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
200	50	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
250	50	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
300	60	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
400	80	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
500	100	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
600	120	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а	7о, 8а
800	160	7о	7о	7о	7о	7о	7о
1000	200	7н	7н	7н	7н	7н	7н
1200	240	7н	7н	7н	7н	7н	7н
1600	320	7н	7н	7н	7н	7н	7н
2000	400	7м	7м	7м	7м	7м	7м
2500	500		7м	7м	7м	7м	7м
3000	600			7м	7м	7м	7м
4000	800					7м	7м

**ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

**СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИНЫ**

**МЕРЫ КОНЦЕВЫЕ**

<i>Плоскопараллельные концевые меры длины ГОСТ 9038–90</i>		
Номинальные размеры, мм		Минимальная разность (градация) размеров, мм
от	до	
0,991	1,000	0,001
1	1,5	0,01
1	2	0,1
0,5	25	0,5
10	100	10

<i>Плоскопараллельные концевые меры длины ГОСТ 9038–90</i> допускаемые отклонения размеров и плоскопараллельности						
Номинальная длина меры, мм	Допускаемое отклонение (мкм) для меры класса точности					
	1		2		3	
	размера	плоскопарал- лельности	размера	плоскопарал- лельности	размера	плоскопарал- лельности
До 10	0,20	0,16	0,4	0,3	0,8	0,3
Свыше 10 до 25	0,30	0,16	0,6	0,3	1,2	0,3
Свыше 25 до 50	0,40	0,18	0,8	0,3	1,6	0,3
Свыше 50 до 75	0,50	0,18	1,0	0,35	2,0	0,35
Свыше 75 до 100	0,60	0,20	1,2	0,35	2,5	0,35
Свыше 100 до	0,80	0,20	1,6	0,4	3,0	0,4
Свыше 150 до	1,00	0,22	2,0	0,4	4,0	0,4

**МЕРЫ ШТРИХОВЫЕ МНОГОЗНАЧНЫЕ (ЛИНЕЙКИ)**

<i>Линейки измерительные металлические ГОСТ 427–75</i>		
Пределы шкалы, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
0–150	1,0	±0,1
0–300	1,0	±0,1
0–500	1,0	±0,1

**МЕРЫ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ И ПЛОСКОСТНОСТИ**

<i>Линейки поверочные ГОСТ 8026–92</i> (линейки лекальные ЛД, ЛТ, ЛЧ)		
Длина линейки, мм	Отклонения рабочих поверхностей от прямолинейности, мкм	
	для класса точности 0	для класса точности 1
80	0,6	1,6
125	0,6	1,6
200	1,6	2,5
320	1,6	2,5
500	2,5	4,0

<b>Линейки поверочные ГОСТ 8026–92</b> (линейки с широкой рабочей поверхностью ШП, ШД, ШМ)						
Длина линейки, мм	Отклонения рабочих поверхностей, мкм					
	от плоскостности для классов точности			от параллельности для классов точности		
	0	1	2	0	1	2
400	2,5	6	10	4	10	16
630	4	10	16	6	16	25

### ПЛИТЫ

<b>Плиты поверочные ГОСТ 10905–86</b>					
Размеры плиты, мм	Отклонения рабочих поверхностей от плоскостности, мкм для классов точности				
	01	0	1	2	3
250 x 250	4	6	10	25	–
400 x 400	4	6	10	25	–
630 x 400	6	10	16	40	–

### ПРИБОРЫ НАКЛАДНЫЕ

<b>Штангенциркули ГОСТ 166–89</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления нониуса, мм	Основная погрешность, мм
0–125	0,1	±0,1
0–250	0,1	±0,1
0–400	0,1	±0,1
0–160	0,05	±0,05
0–250	0,05	±0,05

<b>Микромеры гладкие ГОСТ 6507–90</b>			
Класс точности	Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
1	0–25	0,01	±0,002
	25–50	0,01	±0,0025
	50–75	0,01	±0,0025
	75–100	0,01	±0,0025
	100–125	0,01	±0,003
	125–150	0,01	±0,003
	150–175	0,01	±0,003
	175–200	0,01	±0,003
2	200–225	0,01	±0,004
	0–25	0,01	±0,004
	25–50	0,01	±0,004
	50–75	0,01	±0,004
	75–100	0,01	±0,004
	100–125	0,01	±0,005
	125–150	0,01	±0,005
	150–175	0,01	±0,005
175–200	0,01	±0,005	

<b>Микрометры рычажные ГОСТ 4381–87</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
0–25	0,002	±0,003
25–50	0,002	±0,003
50–75	0,002	±0,003
75–100	0,002	±0,003
100–125	0,002	±0,005
125–150	0,002	±0,005
150–175	0,002	±0,005

<b>Скобы рычажные ГОСТ 11098–75</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
0–25	0,002	±0,002
25–50	0,002	±0,002
50–75	0,002	±0,002
75–100	0,002	±0,002
100–125	0,002	±0,002
125–150	0,002	±0,002

<b>Скобы индикаторные ГОСТ 11098–75</b>			
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
		На нормированном участке 0,1 мм	На любом участке 3 мм
0–50	0,01	±0,005	±0,008
50–100	0,01	±0,005	±0,008
100–200	0,01	±0,005	±0,010
200–300	0,01	±0,007	±0,012

**ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ГЛУБИНЫ УСТУПОВ**

<b>Штангенглубиномеры ГОСТ 162–90</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления нониуса, мм	Основная погрешность, мм
0–160	0,05	±0,05
0–250	0,05	±0,05
0–400	0,05	±0,05

<b>Глубиномеры микрометрические ГОСТ 7470–92</b>			
Класс точности	Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
1	0–100	0,01	±0,003
	0–150	0,01	±0,004
2	0–100	0,01	±0,005
	0–150	0,01	±0,006

<b>Глубиномеры индикаторные ГОСТ 7661–67</b>				
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм		
		На 0,1 мм	На 1 мм	На всем пределе измерений
0–25	0,01	0,006	0,010	0,012
0–100	0,01	0,006	0,010	0,020
0–150	0,01	0,006	0,010	0,020

### ГОЛОВКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ

<b>Индикаторы часового типа ГОСТ 577–68</b>					
Класс точности	Диапазон показаний, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм		
			На 0,1 мм	На 1 мм	На всем диапазоне
0	0–2	0,01	0,004	0,008	0,010
	0–5	0,01	0,004	0,008	0,012
	0–10	0,01	0,004	0,008	0,015
1	0–2	0,01	0,006	0,010	0,012
	0–5	0,01	0,006	0,010	0,016
	0–10	0,01	0,006	0,010	0,020

<b>Индикаторы рычажно-зубчатые, ГОСТ 5584–75</b>				
Диапазон показаний, мм		Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
			На 0,1 мм	На всем диапазоне
0–0,8	(± 0,4)	0,01	0,005	0,010

<b>Головки измерительные рычажно-зубчатые ГОСТ 18833 – 73</b>				
Диапазон показаний, мм		Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
			На ± 30 делениях	На всем диапазоне
0–0,2	(± 0,1)	0,002	±0,0007	±0,0012
0–0,1	(± 0,05)	0,001	±0,0004	±0,0008

<b>Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 мм и 0,002 мм ГОСТ 9696–82</b>					
Диапазон показаний, мм		Цена деления, мм	Основная погрешность, мм		
			На 1 обороте	На 1 мм	На 2 мм
0 – 1,0		0,001	0,002	0,0025	—
0 – 2,0		0,002	0,003	0,004	0,005

<b>Головки измерительные пружинные (микрометры) ГОСТ 28798–90</b>				
Диапазон показаний, мм		Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
			на ±30 делениях	на всем диапазоне
0–0,600	(± 0,300)	0,010	±0,003	±0,005
0–0,300	(± 0,150)	0,005	±0,002	±0,003
0–0,120	(± 0,060)	0,002	±0,0008	±0,0012
0–0,060	(± 0,030)	0,001	±0,0004	±0,0006
0–0,030	(± 0,015)	0,0005	±0,00025	±0,0004
0–0,012	(± 0,006)	0,0002	±0,00015	±0,0002
0–0,008	(± 0,004)	0,0001	±0,00010	±0,00015

<b>Головки измерительные пружинные малогабаритные (микаторы) ГОСТ 14712–79</b>			
Диапазон показаний, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
		на $\pm 30$ делениях	на всем диапазоне
0–0,20 ( $\pm 0,10$ )	0,002	0,001	0,002
0–0,10 ( $\pm 0,05$ )	0,001	0,0005	0,001
0–0,05 ( $\pm 0,025$ )	0,0005	0,0003	0,0005
0–0,02 ( $\pm 0,010$ )	0,0002	0,00015	0,0003

<b>Головки измерительные пружинно-оптические (оптикаторы) ГОСТ 10593–74</b>			
Диапазон показаний, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
		на 100 делениях	на всем диапазоне
0 – 0,250 ( $\pm 0,125$ )	0,001	$\pm 0,0005$	$\pm 0,001$
0 – 0,100 ( $\pm 0,050$ )	0,0005	$\pm 0,0002$	$\pm 0,0004$
0 – 0,050 ( $\pm 0,025$ )	0,0002	$\pm 0,0001$	$\pm 0,0002$
0 – 0,024 ( $\pm 0,012$ )	0,0001	$\pm 0,00005$	$\pm 0,0001$

<b>Головки измерительные рычажно-пружинные (миникаторы), ГОСТ 14711–69</b>			
Диапазон показаний, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм	
		на 20 делениях	на всем диапазоне
0 – 0,160 ( $\pm 0,080$ )	0,002	$\pm 0,001$	$\pm 0,002$
0 – 0,080 ( $\pm 0,040$ )	0,001	$\pm 0,0005$	$\pm 0,001$

**ПРИБОРЫ НАКЛАДНЫЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ВНУТРЕННИХ РАЗМЕРОВ**

<b>Нутромеры микрометрические ГОСТ 10–75</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
50–75	0,01	$\pm 0,004$
75–175	0,01	$\pm 0,006$

<b>Нутромеры индикаторные ГОСТ 868–82</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
6–10	0,01	$\pm 0,012$
10–18	0,01	$\pm 0,012$
18–50	0,01	$\pm 0,015$
50–100	0,01	$\pm 0,018$
100–160	0,01	$\pm 0,018$
160–250	0,01	$\pm 0,018$

<b>Нутромеры индикаторные повышенной точности, ГОСТ 9244–75</b>		
Пределы измерений, мм	Цена деления, мм	Основная погрешность, мм
3–6	0,001	$\pm 0,0018$
6–10	0,001	$\pm 0,0018$
10–18	0,002	$\pm 0,0035$
18–50	0,002	$\pm 0,0035$
50–100	0,002	$\pm 0,004$
100–160	0,002	$\pm 0,004$

## СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ УГЛОВ

<i>Меры угловые призматические ГОСТ 2875–88</i>						
Типы угловых мер	допускаемые отклонения					
	рабочих углов для мер класса точности			плоскостности рабочих поверхностей, мкм для мер класса		
	0	1	2	0	1	2
I, II, III	$\pm 3''$	$\pm 10''$	$\pm 30''$	10	15	30
IV, V	$\pm 5''$	$\pm 10''$	$\pm 30''$	10	15	30

<i>Угольники поверочные 90° ГОСТ 3749–77</i>			
Высота угольника	допускаемые отклонения от перпендикулярности измерительных поверхностей к опорным, мкм для угольников класса точности		
	0	1	2
40	2,5	5	13
60	2,5	5	15
100	3,0	6	18
160	3,5	7	22
250	4,5	9	30
400	6,0	12	42
630	8,0	17	60

## СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ МАССЫ

<i>Меры массы общего назначения и образцовые ГОСТ 7328–2001</i>							
Номинальное значение массы гири	Допускаемое отклонение для гирь разряда и класса, мг						
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
1 мг	0,004	0,012	0,040	0,12	0,20	—	—
2 мг	0,004	0,012	0,040	0,12	0,20	—	—
5 мг	0,004	0,012	0,040	0,12	0,20	—	—
10 мг	0,004	0,016	0,050	0,16	0,50	—	—
20 мг	0,006	0,020	0,060	0,20	0,6	—	—
50 мг	0,008	0,024	0,08	0,24	0,8	—	—
100 мг	0,010	0,030	0,10	0,30	1,0	1,5	—
200 мг	0,012	0,040	0,12	0,40	1,2	2,0	—
500 мг	0,016	0,050	0,16	0,50	1,6	2,5	—
1 г	0,020	0,060	0,20	0,6	2,0	6	20
2 г	0,024	0,080	0,24	0,8	2,4	8	24
5 г	0,030	0,100	0,30	1,0	3,0	10	30
10 г	0,040	0,120	0,40	1,2	4,0	12	40
20 г	0,050	0,160	0,50	1,6	5,0	16	50
50 г	0,060	0,20	0,60	2,0	6,0	20	60
100 г	0,10	0,30	1,0	3,0	10	30	100
200 г	0,20	0,60	2,0	6,0	20	60	200
500 г	0,50	1,50	5,0	15,0	50	150	500

## СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

<i>Термометры жидкостные стеклянные ГОСТ 28498–90</i>								
Диапазон измеряемых температур, °С	Предел допускаемой погрешности технических термометров при цене деления шкалы и классе точности, °С							
	0,5	1		2		5	10	
	I класс	I класс	II класс	I класс	II класс	I класс	I класс	II класс
От –90 до –60	–	(±3)	–	–	–	–	–	–
Св. –60 » –38	–	(±2)	(±3)	–	–	–	–	–
» –38 » 0	±1 (±1)	±1	(±2)	–	–	–	–	–
» 0 » 100	±1 (±1)	(±1,5) ±1 (±1)	–	±2 (±2)	–	±5	±5	±10
» 100 » 200	–	±2 (±2)	(±3)	±2 (±4)	±3	±5	±5	±10
» 200 » 300	–	–	–	±3	±4	±5	±5	±10
» 300 » 400	–	–	–	–	–	±10	±10	–
» 400 » 500	–	–	–	–	–	±10	±10	–
» 500 » 600	–	–	–	–	–	±10	±10	–

*Примечание.* Значения предела допускаемой погрешности в скобках приведены для смачивающей жидкости

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Что такое метрология?

2 Дать определение понятий:

- мера;
- эталон;
- измерительный прибор;
- шкала прибора;
- измерительная система;
- длина деления шкалы;
- цена деления шкалы;
- диапазон измерений;
- точность отсчета;
- порог чувствительности.

3 Какие службы участвуют в выборе измерительных средств?

## Лабораторная работа № 2 ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

### Цели и задачи работы

**Цель работы:** изучение видов и методов измерений физических величин.

**Задачи:**

- 1) выполнить прямые и косвенные измерения заданных физических величин с использованием метода непосредственной оценки и разных вариантов метода сравнения с мерой;
- 2) проанализировать проведенные измерения, классифицировать использованные виды и методы измерений и зафиксировать результаты измерений и их анализа в отчете.

### Общие положения

*Измерение физической величины* – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Здесь и далее курсивом выделены определения из РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения».

Измерительное преобразование всегда осуществляется с использованием определенного физического закона или эффекта, который рассматривают как принцип измерения.

*Принцип измерений* – физическое явление или эффект, положенные в основу измерений. Например, при измерении температуры с помощью термопары используют термоэлектрический эффект, измерение массы взвешиванием на пружинных весах основано на принципе пропорциональной деформации упругого элемента под действием приложенной нагрузки. Поскольку принципы измерений связаны с измерительными преобразованиями, то можно определять средства измерений как построенные на механических, оптических, электрических, магнитных и других (в том числе комбинированных) принципах преобразования измерительной информации.

*Область измерений* – совокупность измерений физических величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой. В соответствии с данным определением можно выделить ряд областей измерений, например, механические, электрические, магнитные, акустические, измерения ионизирующих излучений и др.

**Вид измерений** – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин. Например, измерения электрического сопротивления или напряжения относятся к области электрических измерений.

**Подвид измерений** – часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.). Примеры подвидов измерений длины: измерения больших длин, имеющих порядок десятков, сотен, тысяч километров.

Более широкая трактовка видов измерений позволяет отнести к ним измерения, характеризуемые следующими альтернативными парами терминов:

- прямые и косвенные измерения;
- совокупные и совместные измерения;
- абсолютные и относительные измерения;
- однократные и многократные измерения;
- статические и динамические измерения;
- равноточные и неравноточные измерения.

Прямые и косвенные измерения различают в зависимости от способа получения результата измерений.

**Прямое измерение** – измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно. Например, измерение длины детали штангенциркулем, измерение силы электрического тока амперметром. Поскольку при прямых измерениях искомое значение величины определяется непосредственно по устройству отображения измерительной информации применяемого средства измерений, формально (без учета погрешности) они могут быть описаны выражением

$$Q = x, \quad (2.1)$$

где  $Q$  – измеряемая величина,  
 $x$  – результат измерения.

**Косвенное измерение** – определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной. При косвенных измерениях значение измеряемой величины рассчитывают на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Формальная запись такого измерения

$$Q = F(x, y, z, \dots), \quad (2.2)$$

где  $x, y, z, \dots$  – результаты прямых измерений.

Принципиальной особенностью косвенных измерений является необходимость обработки (преобразования) результатов **вне прибора** (на бумаге, с помощью калькулятора или компьютера), в противоположность прямым измерениям, при которых прибор выдает готовый результат. Классические примеры косвенных измерений – нахождение по измеренным длинам сторон прямоугольного треугольника значений его углов и площади. Один из часто встречающихся случаев косвенных измерений – определение плотности материала твердого тела. Например, плотность  $\rho$  тела цилиндрической формы определяют по результатам прямых измерений массы  $m$ , высоты  $h$  и диаметра цилиндра  $d$ , связанных с плотностью уравнением

$$\rho = 4m/(\pi d^2 h).$$

Прямые и косвенные измерения характеризуют измерения некоторой конкретной одиночной физической величины. Измерение любого **множества** физических величин классифицируется в соответствии с однородностью (или неоднородностью) измеряемых величин. Этим различаются совокупные и совместные измерения.

**Совокупные измерения** – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Например, определение значений массы отдельных гирь набора по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь. Вторая часть определения, подкрепленная примером, фактически выходит за рамки собственно измерений и относится к задаче исследований точности мер. Если ограничиться первой частью определения, то к совокупным можно отнести, например, измерения ряда геометрических параметров деталей (длин  $L_1, L_2, L_3, \dots$ ) на специальных измерительных установках.

**Совместные измерения** – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними. Например, одновременные измерения длин и температур для нахождения температурного коэффициента линейного расширения. По аналогии с предыдущим определением в более узкой трактовке совместные измерения подразумевают измерение нескольких неоднородных величин ( $X, Y, Z$  и т.д.). Пример таких измерений – комплексные измерения электрических, силовых и термодинамических параметров электродвигателя, а также измерения параметров движения и состояния транспортного средства (скорость, температура двигателя, запас горючего и др.).

Для отображения результатов, получаемых при измерениях, могут быть использованы разные оценочные шкалы, в том числе градуированные в единицах измеряемой физической величины, либо в некоторых относительных единицах, в том числе и в неименованных. В соответствии с этим принято различать **абсолютные** и **относительные** измерения.

**Абсолютное измерение** – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

*Примечание.* Понятие «абсолютное измерение» применяется как противоположное понятию «относительное измерение» и рассматривается как измерение величины в ее единицах.

**Относительное измерение** – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. Пример: измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности.

По числу повторных измерений одной и той же величины различают **однократные** и **многократные** измерения.

**Однократное измерение** – измерение, выполненное один раз.

**Многократное измерение** – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений.

Многократные измерения («**измерения с многократными наблюдениями**») проводят для страховки от грубых погрешностей или для последующей математической обработки результатов (расчет средних значений, статистическая оценка отклонений и др.). В зависимости от поставленной цели число наблюдений при многократных измерениях может колебаться в широких пределах (от двух до ста и более наблюдений).

**Статическое измерение** – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

**Динамическое измерение** – измерение изменяющейся по размеру физической величины.

Широко используются также понятия измерений в статическом и динамическом режимах. При измерении в **динамическом режиме** запаздывание преобразования входного сигнала измерительной информации, поступающе-

го от объекта измерения, может привести к появлению дополнительных динамических погрешностей. При измерении в **статическом** (или квазистатическом) **режиме** скорость преобразования сигнала в измерительной цепи настолько высока (например, по отношению к скорости изменения входного сигнала), что результаты фиксируются без динамических искажений.

По реализованной точности и по степени рассеяния результатов при многократном повторении измерений одной и той же величины различают равноточные и неравноточные, а также равнорассеянные и неравнорассеянные измерения.

**Равноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

**Неравноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях. Кроме того, измерения в двух сериях могут быть **равнорассеянными** или **неравнорассеянными**.

Фактически оценки равноточности и равнорассеянности результатов измерений зависят от выбранных критериев расхождения мер точности или оценок рассеяния.

**Равноточными** называются серии измерений  $1$  и  $2$ , для которых однотипные оценки погрешностей (например  $\Delta_1$ ) можно считать одинаковыми

$$(\Delta_1 \approx \Delta_2),$$

а к **неравноточным** относят измерения с различающимися погрешностями

$$(\Delta_1 \neq \Delta_2).$$

Измерения в двух сериях в зависимости от совпадения или различия однотипных оценок случайных составляющих погрешностей измерений сравниваемых серий  $1$  и  $2$  считают **равнорассеянными** ( $\overset{0}{\Delta}_1 \approx \overset{0}{\Delta}_2$ ), или при ( $\overset{0}{\Delta}_1 \neq \overset{0}{\Delta}_2$ ) **неравнорассеянными**. Допустимые расхождения оценок устанавливают в зависимости от задачи измерения.

В зависимости от планируемой точности измерения делятся на **технические** и **метрологические**. Общность строго метрологического подхода к этим видам измерений состоит в том, что при любых измерениях **определяют значения реализуемых погрешностей** (например, используя оценки  $\sigma$ , или  $\Delta$ ), без чего невозможна оценка достоверности результатов.

К техническим следует относить те измерения, которые выполняются **с заранее установленной точностью**. Погрешность технического измерения  $\Delta$

не должна превышать заранее заданного допустимого значения  $[\Delta]$ :

$$\Delta \leq [\Delta]. \quad (2.3)$$

При разработке и воспроизведении единиц с помощью эталонов, при выполнении некоторых исследований измерения выполняются с максимально достижимой точностью. Такие измерения с минимальной погрешностью  $\Delta$  (при имеющихся ограничениях) называются **метрологическими** и формально описываются выражением

$$\Delta \rightarrow 0.$$

В тех случаях, когда цель измерений состоит в приблизительной оценке неизвестной физической величины, а точность результата не имеет принципиального значения, прибегают к **ориентировочным измерениям**, погрешность которых может колебаться в достаточно широких пределах. В этом случае за допустимую погрешность  $[\Delta]$  принимают значение погрешности  $\Delta$ , реализуемой в процессе измерений,

$$[\Delta] = \Delta.$$

**Метод измерений** – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений.

В соответствии с определением можно акцентировать принципы («фотоэлектрический метод угловых измерений»), средства («метод измерения длины лазерным интерферометром»), приемы использования средств измерений («метод полного уравнивания», «контактный метод»). Слишком широкий набор оснований классификации делает несопоставимыми описания измерений, относящиеся к разным классификационным группам.

Более узкими являются приведенные в нормативном документе частные понятия методов, которые определяют разновидности методов измерений, хотя не покрывают всех возможных вариантов. В частности НД содержит определения терминов: метод непосредственной оценки; метод сравнения с мерой; нулевой метод; дифференциальный метод; метод измерений замещением; метод измерений дополнением; контактный метод измерений; бесконтактный метод измерений.

Анализ классификации методов измерений в узком смысле позволяет выяснить основные признаки, определяющие различия между методом **непосредственной оценки** и методом **сравнения с мерой**. Принципиальные различия заключаются в том, что метод сравнения с мерой предусматривает обя-

зательное использование **овеществленной меры**, а метод непосредственной оценки реализуют с помощью приборов (без дополнительного применения мер в явном виде). Меры (концевые меры длины, гири и т.д.), которые воспроизводят с определенной точностью физическую величину выбранного размера, применяют для того, чтобы уменьшить осуществляемое прибором измерительное преобразование.

***Метод непосредственной оценки** – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений.*

Суть метода непосредственной оценки как любого метода измерения состоит в сравнении измеряемой величины с мерой, принятой за единицу, но в этом случае мера «заложена» в измерительный прибор **опосредованно**. Прибор осуществляет преобразование входного сигнала измерительной информации, соответствующего **всей** измеряемой величине, после чего и происходит оценка ее значения.

Формальное выражение для описания метода непосредственной оценки может быть представлено в следующей форме:

$$Q = x, \quad (2.4)$$

где  $Q$  – измеряемая величина,  
 $x$  – показания средства измерения.

***Метод сравнения с мерой** – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.*

Примерами этого метода являются измерение массы на рычажных весах с использованием гирь (мер массы), измерение напряжения постоянного тока прибором-компаратором, путем сравнения с известной ЭДС нормального элемента. Формально метод сравнения с мерой может быть описан следующим выражением:

$$Q = x + X_m, \quad (2.5)$$

где  $Q$  – измеряемая величина;  
 $x$  – показания средства измерения;  
 $X_m$  – величина, воспроизводимая мерой.

Разновидностями метода сравнения с мерой являются:

- дифференциальный и нулевой методы измерений;
- метод совпадений;
- метод измерений замещением и метод противопоставления;
- метод измерений дополнением.

Отличия между дифференциальным и нулевым методами заключаются в степени приближения размера, воспроизводимого мерой, к измеряемой величине.

**Нулевой метод измерений** – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля ( $x \approx 0$  в выражении (2.5), из чего следует, что  $Q \approx X_m$ ). Например, измерение массы взвешиванием на равноплечих рычажных весах с полным уравниванием чашек.

**Дифференциальный метод измерений** – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Например, измерение длины детали на станковом приборе с измерительной головкой при настройке по блоку концевых мер.

Дифференциальный метод характерен тем, что на измерительный прибор воздействует значимая разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой, что формально соответствует показаниям прибора, отличным от нуля или  $x \neq 0$  в выражении (2.5).

**Метод совпадений** – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины оценивают, используя совпадение ее с величиной, воспроизводимой мерой (т.е. с фиксированной отметкой на шкале физической величины). Определение данного метода отсутствует в РМГ 29, но он часто приводится в метрологической литературе. Для оценки совпадения используют прибор сравнения (компаратор) или органолептику, фиксируя появление определенного физического эффекта (стробоскопический эффект, совпадение резонансных частот, другие эффекты).

В зависимости от одновременности или неодновременности воздействия на прибор сравнения объекта измерения и меры различают **метод измерений замещением и метод противопоставления**.

**Метод измерений замещением (метод замещения)** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов (метод Борда).

В другой интерпретации рассматривают альтернативную пару: методы **замещения и противопоставления**. В таком случае метод замещения – метод сравнения с мерой, в котором известную величину, воспроизводимую мерой, после настройки прибора замещают измеряемой величиной, то есть эти

величины воздействуют на прибор **последовательно**. Пример реализации такого метода – измерение длины станковым прибором при настройке по блоку концевых мер. **Метод противопоставления** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, **одновременно** воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами (и это определение отсутствует в РМГ 29). Данный метод реализуется при измерении массы на рычажных весах с использованием гирь.

**Метод измерений дополнением** (метод дополнения) – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению. Метод дополнения может быть реализован как при замещении, так и при противопоставлении измеряемой величины и меры. Пример применения такого метода – взвешивание на двухчашечных весах, при котором на чашку с измеряемым грузом помещают «дополнительные» меры массы для того, чтобы уравновесить перевешивающую чашку с «избыточной» массой гирь.

**Контактный метод измерений** – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения. Например, измерение диаметра вала индикаторной скобой, измерение температуры тела термометром.

**Бесконтактный метод измерений** – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент средства измерений не приводится в контакт с объектом измерения. Примерами могут быть измерение температуры в доменной печи пирометром и измерение расстояния до объекта радиолокатором.

Для оценки **метода измерений** предлагается ответить на следующие вопросы:

– применяется ли мера для воспроизведения физической величины в явном виде?

– измеряются ли значения отклонений величины от известного значения меры?

Отрицательный ответ на первый вопрос означает, что применяется метод непосредственной оценки, а положительный – метод сравнения с мерой.

Если при этом значение разности измеряемой величины и меры доводится до нуля – реализуется нулевой метод измерений (иногда называемый методом полного уравновешивания), а если разность этих значений алгебраически суммируется со значением меры – дифференциальный метод.

При измерении методом замещения мера и измеряемый объект после-

довательно воздействуют на вход средства измерений (СИ), «замещая» друг друга. Например, индикаторный нутромер настраивают по мере (аттестованному кольцу или блоку плоскопараллельных концевых мер длины с боковиками), после чего мера убирается и замещается контролируемой деталью.

Некоторые приборы (весы, измерительные мосты и др.) обеспечивают возможность одновременного воздействия на них меры и измеряемой физической величины. С помощью таких приборов реализуется метод противопоставления.

Примеры **кратких характеристик** методик выполнения измерений:

- измерение диаметра цилиндрической поверхности детали штангенциркулем в одном сечении – прямое абсолютное однократное (при повторении многократное) статическое измерение, выполняемое методом непосредственной оценки;
- нахождение значения угла прямоугольного треугольника по результатам измерений его сторон – косвенное измерение плоского угла, при котором осуществляются прямые измерения длин. Методы прямых измерений зависят от конкретной выбранной реализации;
- определение плотности материала по результатам измерений размеров (длин) образца и его массы – косвенное измерение искомой величины, требующее совместных измерений разноименных величин (длины и массы) и совокупных измерений нескольких одноименных физических величин (длин). Вычисляемый объем в этом случае также можно рассматривать как результат косвенного измерения.

Схема ключевых понятий (СКП) к лабораторной работе №2 представлена на рисунке 2.1.

### **Порядок выполнения работы**

Определить плотность материала призматической и/или цилиндрической детали (по заданию преподавателя).

1. Измерить размеры призматической детали (длину  $l$ , ширину  $b$ , высоту  $h$ ) пластины и (или) длину и диаметр цилиндрической детали ( $l$ ,  $d$ ).
2. Измерить (определить) площади поверхностей и объем  $V$  детали.
3. Измерить массу  $M$  детали.
4. Рассчитать плотность  $\rho$  материала детали.

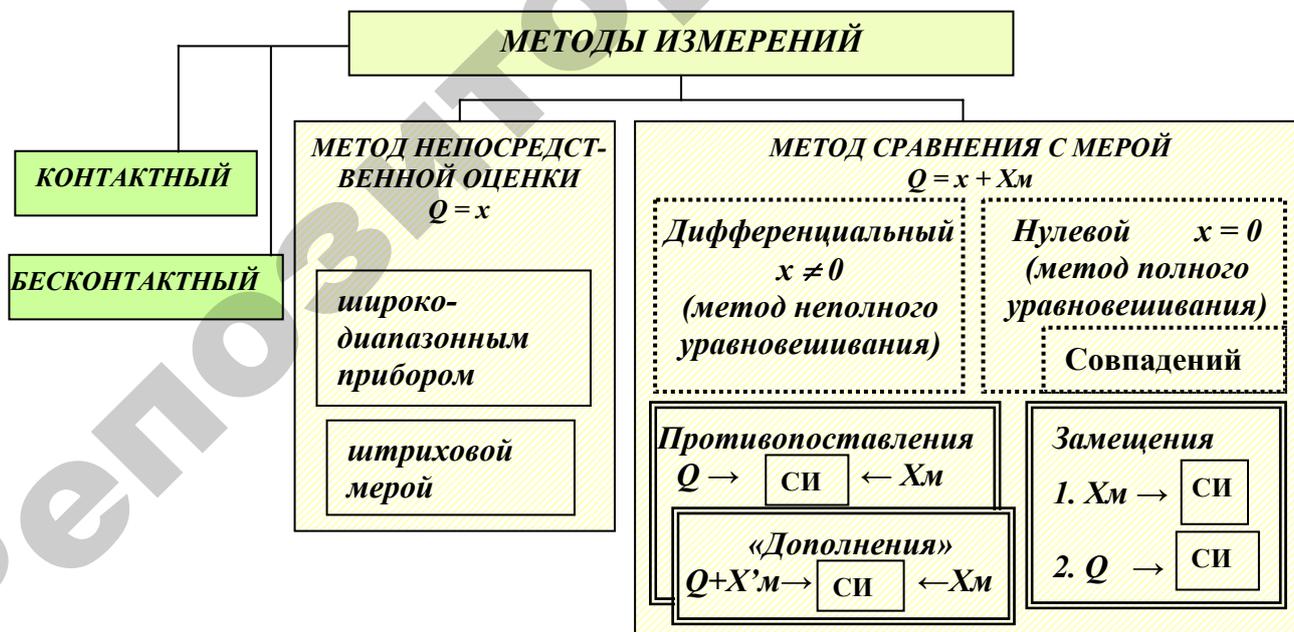
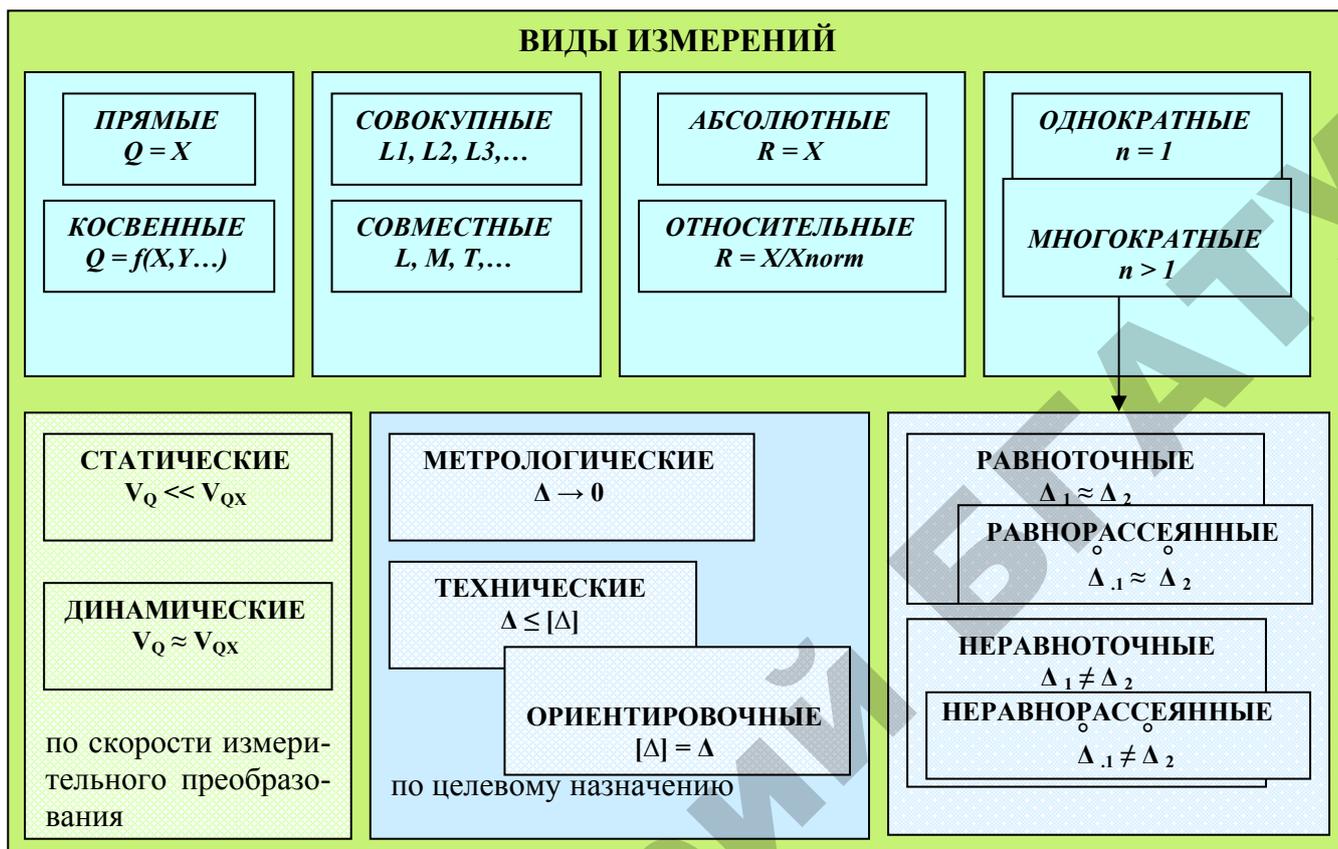


Рисунок 2.1 – СКП Виды и методы измерений

## *Выполнение измерений*

Каждая из предложенных физических величин может быть измерена с использованием одной или нескольких отличающихся методик выполнения измерений (МВИ). Различия могут заключаться в применении разных средств измерений и/или разных методов и видов измерений. Например, измерение объема детали можно выполнить как прямое (по вытесняемому объему жидкости в измерительном сосуде), либо как косвенное (измерение линейных величин и расчет с использованием известных геометрических зависимостей). Для прямых измерений можно использовать методы сравнения с мерой либо непосредственной оценки.

При прямых измерениях с использованием одной МВИ допускается выполнение многократных измерений (измерений с многократными наблюдениями) с фиксацией всех результатов. При многократных измерениях следует обратить внимание на необходимость повторных наблюдений **одной и той же** физической величины, например, толщину пластины или диаметр цилиндра следует измерять **в одном** выбранном сечении. Как правило, осуществляется не более пяти наблюдений, причем для расчетов результата косвенного измерения используют среднее арифметическое значение результатов прямых измерений.

## *Оформление работы и анализ результатов*

Результаты работы оформляются с использованием таблиц (рекомендуемые формы таблиц 2.1 и 2.2 даны с примерами заполнения), схем (примеры оформления на рисунке 2.2) и текстовых описаний. При отсутствии данных в клетке таблицы ставится прочерк, а при отсутствии оцениваемого элемента записывается «нет», «отсутствует» и т.д. При необходимости приводятся схемы измерений, а для идентификации измеряемой физической величины – эскиз объекта с указанием контрольных точек (контрольных сечений).

**Результаты измерений в отчете приводятся без описания погрешностей, с указанием всех значащих цифр, получаемых при отсчете.**

Среднее значение, полученное расчетом, округляется, причем оставляют цифру младшего разряда, соответствующую наименьшему разряду результата прямых измерений или на разряд меньше. Результаты косвенных измерений округляют, оставляя цифру, соответствующую наименьшему разряду входящих в расчетную формулу результатов прямых измерений или на разряд меньше.

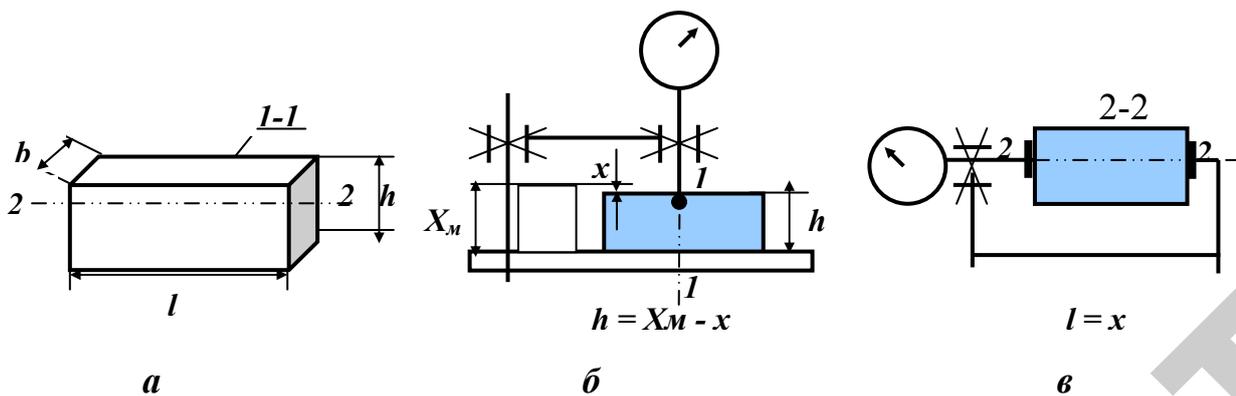


Рисунок 2.2 – Эскиз объекта измерений и схемы измерений:

**а** – измеряемая деталь (прямоугольный параллелепипед) с указанием контрольных сечений;  
**б** – измерение высоты  $h$  детали в сечении **1-1** измерительной головкой (указывается тип) на стойке (указывается тип) с настройкой по концевым мерам длины кл. 3; **в** – измерение длины  $l$  детали в сечении **2-2** индикаторной скобой

Таблица 2.1 – Результаты прямых измерений

Измеряемый параметр, единица ФВ	Средство измерений, измеряемый параметр, единица ФВ	Результаты измерений параметра					
		1	2	3	4	5	Среднее
1.1 Ширина детали $b$ , мм	штангенциркуль	2,2	2,1	2,3	–	–	2,2

Таблица 2.2 – Результаты косвенных измерений

Измеряемая (рассчитываемая) ФВ	Расчетная зависимость	Обозначения величин и результаты их прямых измерений*, единицы (мм)				Значение измеряемой ФВ, единицы
		$b=2.2$	$h=8.6$	–	–	
2.1 Площадь торца детали	$S = b \cdot h$	$b=2.2$	$h=8.6$	–	–	$18,9 \text{ мм}^2$
2.2 Объем детали	$V = b \cdot h \cdot l$	$b=2.2$	$h=8.6$	$l=25.2$		$476,78 \text{ мм}^3$
2.3 Плотность материала	$\rho = M/V$	...	...	...	...	...

\*Результаты прямых измерений величин с многократными наблюдениями ( $n \leq 5$ ) представлены средними значениями из таблицы 2.1 с использованием тех же обозначений величин.

Таблица 2.3 – Характеристики видов измерений

Измеряемые параметры и средства измерений (№ из таблиц 2.1 и 2.2)	Виды измерений				
	По видам ФВ	Прямые / косвенные	Совокупные/совместные	Абсол. / отн.	Однократные / многократные
1.1 Ширина детали $b$ , штангенциркуль	Линейные	Прямые	Нет	Абсол.	Многократные
1.2 Площадь торца призматической детали	Геометрические	Косвенные	Совокупные	Отн.	С прямыми многократными

Таблица 2.4 – Характеристики методов прямых измерений

Измеряемые параметры и средства измерений (№ из таблицы 2.1)	Метод измерений
1.1 Ширина детали $b$ , штангенциркуль	Метод непосредственной оценки, контактный
1.2 Диаметр детали $d$ , скоба рычажная	Метод сравнения с мерой, дифференциальный, реализуемый как метод замещения, контактный

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что вы понимаете под понятием «измерение физической величины»?
2. Какие измерения называются прямыми, а какие косвенными?
3. Какое измерение называется:
  - совокупным;
  - совместным;
  - относительным;
  - статическим;
  - динамическим;
  - равноточным;
  - неравноточным?
4. Дайте определение понятию «метод измерений».
5. Перечислите разновидности методов измерений.

# Лабораторная работа № 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

### Цели и задачи работы

**Цель работы:** первичная оценка неопределенности измерительной информации.

**Задачи:**

- 1) ознакомиться с многократными измерениями физических величин;
- 2) применить анализ результатов многократных измерений для оценки их характеристик и для сравнения методик выполнения измерений.

### Общие положения

*Измерение физической величины – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.*

Здесь и далее курсивом выделены определения из РМГ 29 – 99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения».

Результат измерений получают с некоторой погрешностью, причем достоверность ее оценки ограничена. Это дает основания говорить о неопределенности измерительной информации. Для повышения уровня определенности измерительной информации обычно прибегают к многократным измерениям (измерениям с многократными наблюдениями) одной и той же физической величины с использованием одной методики выполнения измерений (МВИ) с последующей обработкой результатов «серии измерений».

В узкой трактовке неопределенность измерений связывают с оценками случайных погрешностей измерений, а более конкретно – с усеченной областью их распределения, полученной при статистической обработке результатов многократных наблюдений при измерениях. Здесь акцент ставится на неопределенности информации об истинном значении физической величины, которое с выбранной вероятностью покрывает фиксированный доверительный интервал (рисунок 3.1).

Неопределенность измерений есть комплексное явление, которое ха-

рактически характеризует невозможность получения истинного значения при измерении физической величины.

Неопределенность информации, полученной при измерении конкретной физической величины с многократными наблюдениями, зависит от множества объективных и субъективных причин. Причины неопределенности – неидеальность воспроизведения единицы физической величины средствами измерений, отличия условий измерения от идеальных, несоответствие снимаемого с объекта измерений сигнала измерительной информации значению измеряемой физической величины, а также неидеальность действий оператора при измерении и интерпретации (в количественном и качественном отношении) получаемых результатов.

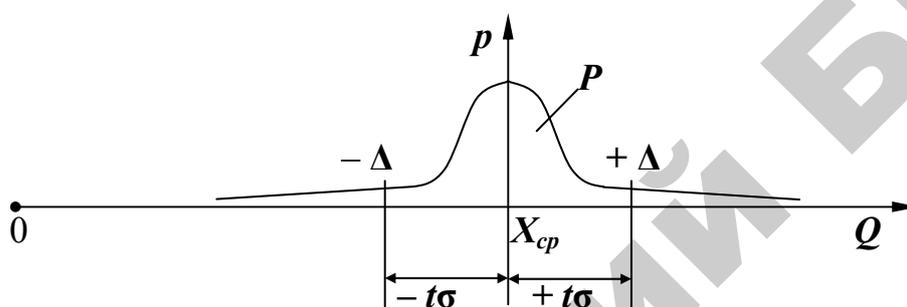


Рисунок 3.1 – Графическая интерпретация результата измерений при нормальном распределении случайной погрешности

Неопределенность измерений в количественном отношении подразумевает, что результат измерений представлен на шкале физической величины не конкретной точкой, а интервалом значений, причем истинное значение величины может оказаться в любой точке указанного интервала или даже с вероятностью  $P' = (1 - P)$  может находиться за его пределами. Интервал от  $(X_{cp} - \Delta)$  до  $(X_{cp} + \Delta)$  (см. рисунок 3.1) с выбранной доверительной вероятностью  $P$  накрывает истинное значение измеряемой физической величины или погрешность измерений  $\Delta i$  с доверительной вероятностью  $P$  находится в интервале значений от  $-\Delta$  до  $+\Delta$ .

В понятие неопределенности входит и возможное несоответствие принятого «закона распределения» случайной величины фактическому распределению результатов многократных наблюдений при измерении конкретной физической величины.

На неопределенность измерений оказывают влияние:

- использованные технические ресурсы (средства измерений, организация среды в зоне измерений и др.);
- число наблюдений в серии;

- выбор гипотез о «законах распределения», выбор критериев согласия, уровней значимости при проверке гипотез по критериям согласия;
- выбор методов отбраковывания наблюдений с явно выраженными грубыми погрешностями, выбор критериев статистического отбраковывания «подозрительных» наблюдений и уровней значимости при проверке гипотез по этим критериям;
- выбор значения доверительной вероятности для описания результата измерений.

Последний фактор можно признать не слишком существенным, поскольку формы представления результатов измерений позволяют пользователю перейти от зафиксированного в описании значения доверительной вероятности к любому другому выбранному значению.

Для того чтобы обеспечить полноту информации о неопределенности измерений в составляемых отчетах было разработано и в 1993 году принято Международной организацией по стандартизации (ИСО) руководство по выражению неопределенности измерений.

**Неопределенность измерений** – параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине (определение взято из VIM–93 (Международный словарь основных и общих терминов в метрологии. ИСО, 1993)).

Неопределенность измерений в данном определении характеризуется сравнительно узко – как стохастическая оценка результатов измерений в количественном и качественном отношениях. Однако неопределенность измерений имеет значительно более широкий смысл.

К определению приведены примечания:

- а) параметром может быть стандартное отклонение (или число, кратное ему) или половина интервала, имеющего указанный доверительный уровень;
- б) неопределенность состоит (в основном) из многих составляющих. Некоторые из этих составляющих могут быть оценены экспериментальными стандартными отклонениями в статистически распределенной серии результатов измерений. Другие составляющие, которые также могут быть оценены стандартными отклонениями, базируются на данных эксперимента или другой информации.

Для оценки качества измерений и получения его дифференцированных количественных оценок в метрологии часто используют такие свойства, как **точность, правильность, сходимост**ь и **воспроизводимост**ь измерений.

**Точность результата измерений** (точность измерений) – одна из ха-

ра характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

*Примечание.* Считают, что чем меньше погрешность измерения, тем больше его точность.

В метрологической литературе и ранее действовавших нормативных документах говорится, что высокая точность измерений соответствует малым погрешностям всех видов (как систематических, так и случайных). Для количественной оценки точности может быть использована величина, обратная модулю относительной погрешности. Одна из возможных оценок – **правильность измерений** – качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах.

**Сходимость результатов измерений** (сходимость измерений) – близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

*Примечание.* Сходимость измерений двух групп многократных измерений может характеризоваться размахом, средней квадратической или средней арифметической погрешностями.

Из определения следует, что сходимость двух серий можно оценивать близостью размахов результатов наблюдений в сериях, а также близостью значений средних квадратических или средних арифметических погрешностей.

**Воспроизводимость результатов измерений** (воспроизводимость измерений) – близость результатов измерений одной и той же величины, полученных в разных местах, разными методами, разными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

*Примечание.* Воспроизводимость измерений может характеризоваться средними квадратическими погрешностями сравниваемых рядов измерений.

**Ряд результатов измерений** (ряд результатов) – значения одной и той же величины, последовательно полученные из следующих друг за другом измерений.

В стандартном определении сходимости ряд измерений назван **группой многократных измерений**, в метрологической литературе встречается также понятие «серия измерений». «Серией измерений» (группой, рядом измерений) называют многократные измерения (измерения с многократными наблюдениями) одной и той же физической величины с использованием одной методики выполнения измерений (МВИ).

Воспроизводимость измерений в разных сериях следует оценивать близостью средних значений, учитывая рассеяния (размахи результатов наблюдений, или значения средних квадратических либо средних арифметических погрешностей).

При использовании значений размахов результатов многократных измерений  $R'$  для оценки сходимости нескольких серий измерений, параметр  $R'_i$  для каждой серии рассчитывают по формуле

$$R' = X_{\max} - X_{\min}. \quad (3.1)$$

Геометрическое представление размаха  $R'$  результатов измерений можно получить на **точечной диаграмме** результатов многократных измерений физической величины, которая строится в системе координат «номера наблюдений  $n$  – результаты наблюдений при измерениях  $X_i$ » (рисунок 3.2). Идеальная точечная диаграмма (рисунок 3.2, а) представляет собой множество точек на одной высоте, соответствующей истинному значению измеряемой физической величины. Поскольку отсутствуют какие-либо тенденции изменения результатов, то все точки лежат на прямой, параллельной оси абсцисс. Тогда можно говорить об отсутствии переменных систематических погрешностей. Отсутствие отклонений точек от этой прямой свидетельствует об отсутствии случайных погрешностей.

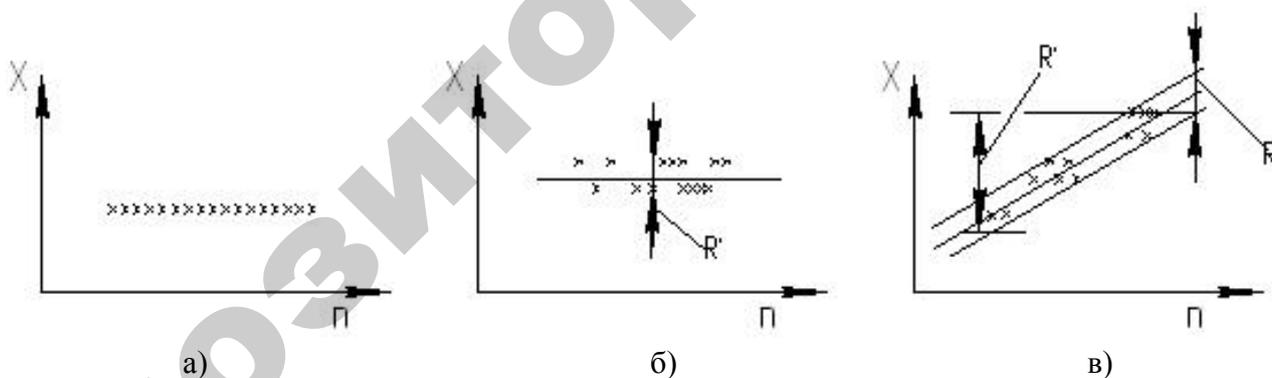


Рисунок 3.2 – Точечные диаграммы результатов измерений с многократными наблюдениями

На рисунке 3.2, б, в приведены диаграммы, отличающиеся от идеальных наличием погрешностей, которые ограничивают определенность измерительной информации. В качестве первичных оценок неопределенностей можно использовать размахи результатов в сериях. На рисунке 3.2, б очевидно отсутствует сходимость результатов в серии. Заметное рассеяние результатов наблюдений относительно возможной горизонтальной аппроксимирующей

прямой (штриховая линия) можно оценить размахом  $R'$ .

Наличие устойчивой тенденции изменения (увеличения) результатов измерений на рисунке 3.2, в свидетельствует о влиянии на результаты измерений некоторых закономерно изменяющихся факторов, вызывающих систематические погрешности в серии (имеется очевидное нарушение правильности измерений). На этой точечной диаграмме проведена наклонная аппроксимирующая прямая (штриховая линия), соответствующая наблюдаемой тенденции. Две эквидистанты, проведенные через наиболее удаленные от нее точки, фиксируют максимальные отклонения результатов от аппроксимирующей линии. На диаграмме показаны два размаха результатов – общий размах  $R'$ , вызванный комплексным влиянием систематических и случайных воздействий, и размах  $R$ , определяемый случайными отклонениями результатов от аппроксимирующей линии (последний характеризует рассеяние, свободное от влияния систематических воздействий).

Выполнение нескольких серий измерений одной и той же физической величины с использованием разных методик выполнения измерений позволяет оценить воспроизводимость измерений. Кроме того, при наличии сравнительно грубой МВИ и заведомо более точной, можно получить ориентировочную оценку систематических постоянных погрешностей, присущих менее точной МВИ.

На рисунке 3.3 представлены точечные диаграммы двух серий измерений, полученные при использовании двух разных МВИ. Диаграммы построены в одной координатной сетке с одинаковым масштабом, что позволяет непосредственно сопоставить их размахи. На рисунке видно, что наблюдается низкая воспроизводимость измерений, поскольку не совпадают ни средние значения, ни размахи в сериях. Можно высказать предположение, что вторая МВИ точнее первой, поскольку во второй серии рассеяние результатов практически отсутствует ( $R_2 \approx 0$ ), и что правильность измерений во второй серии выше, хотя утверждать это без дополнительной информации нельзя (нельзя исключить возможности того, что среднее значение первой серии ближе к истинному значению измеряемой физической величины).

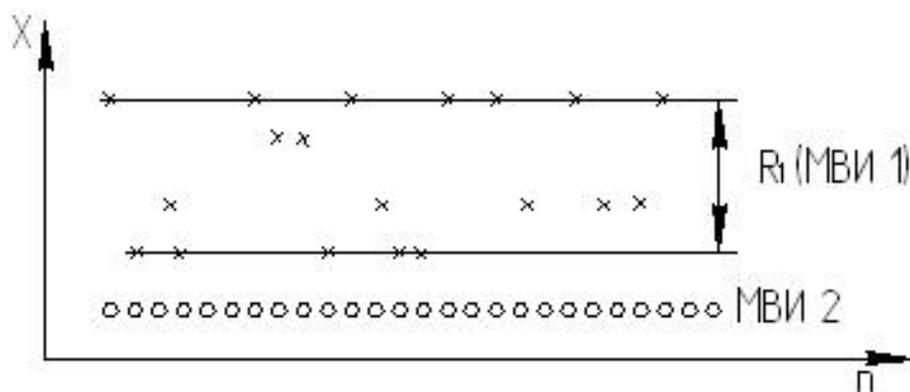


Рисунок 3.3 – Точечные диаграммы двух серий многократных измерений

Схема ключевых понятий (СКП) к лабораторной работе № 3 представлена на рисунке 3.4.

### Материальное обеспечение работы

*Объекты измерений:* детали типа тел вращения, призм (по заданию преподавателя).

*Изменяемые параметры:* линейные размеры, объем, масса, сила.

*Средства измерений:*

- меры длины, угла, объема и массы (линейка измерительная, набор плоско-параллельных концевых мер длины, транспортир, сосуды измерительные, набор разновесов);
- накладные и станковые приборы для измерений длины (штангенциркуль, микрометр гладкий, микрометр рычажный или скоба рычажная, измерительные головки со штативом или стойкой и др.);
- весы для измерения массы взвешиванием, динамометр.

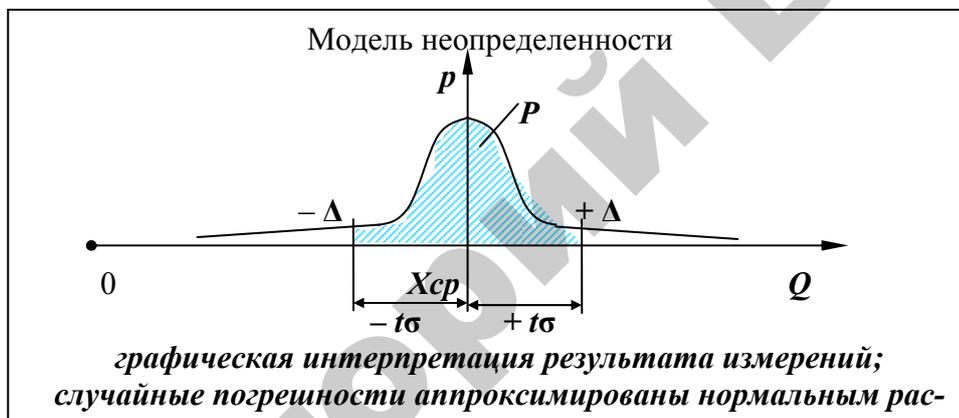
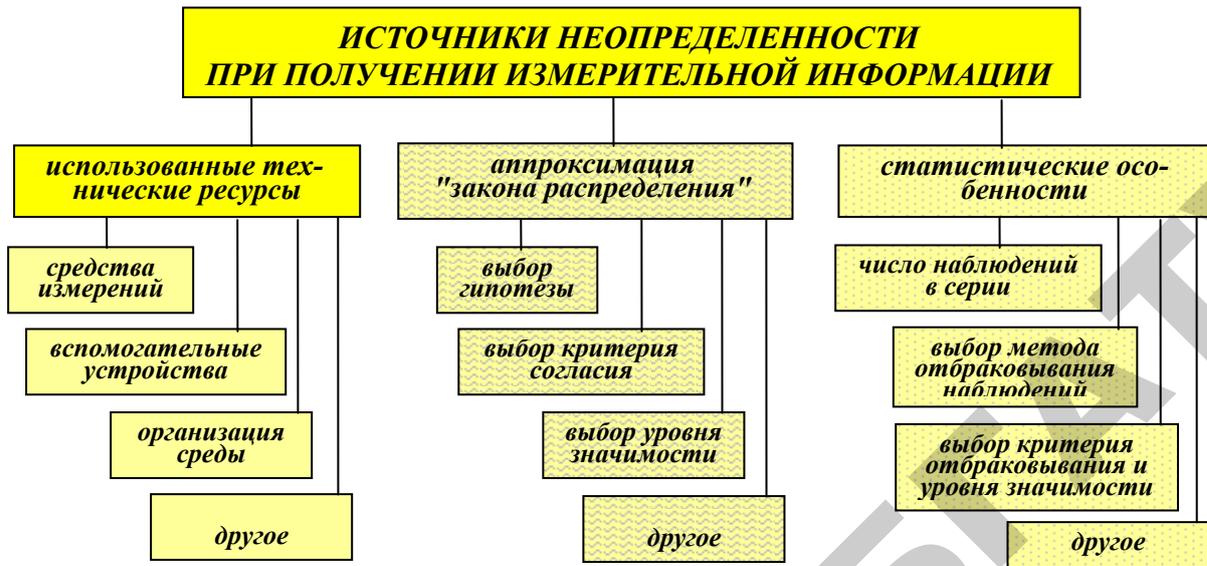


Рисунок 3.4 – СКП Неопределенность измерений

## Порядок выполнения работы

### Задание

1. Выбрать несколько физических величин и выполнить их многократные измерения (измерения с числом наблюдений в каждой серии  $n = 3...30$ ).
2. Выполнить две серии многократных измерений одной и той же физической величины ( $n = 10...30$ ), с использованием разных МВИ.
3. По результатам измерений построить точечные диаграммы и провести анализ каждой серии и совместный анализ парных точечных диаграмм.

### Выполнение измерений

**Предупреждение.** Поскольку многократным наблюдениям при измерении подлежит одна и та же физическая величина, необходимо обратить особое внимание на однозначность ее воспроизведения при измерениях. Например, измерение линейного размера детали необходимо производить в одном и том же маркированном сечении и т.д.

Измеряемые физические величины выбираются самостоятельно или по указаниям преподавателя. Пробная серия может состоять из 3...10 наблюдений. Если полученные результаты **практически неразличимы**, серию прекращают при  $n = 3...5$ . Высокая сходимость результатов в серии может свидетельствовать о высокой помехоустойчивости исследуемой МВИ и/или низкой чувствительности используемых средств измерений. При **заметно различающихся** результатах наблюдений серию продолжают до  $n = 10...30$ .

Поскольку объектом исследований являются не сами измеряемые величины, а рассеяние результатов наблюдений, то в автономных сериях (не преследующих цель сопоставления нескольких серий измерений) можно использовать аналог дифференциального метода измерения с настройкой прибора не на меру, а на некоторое условное значение, например, на измеряемый параметр (физическую величину) объекта измерений.

Для одной из величин следует выполнить несколько серий измерений с использованием разных МВИ. Для сокращения объема работы можно выбрать физическую величину, для которой уже выполнена серия в 10...30 наблюдений. Достаточно провести только вторую серию наблюдений с использованием другой МВИ. МВИ могут различаться применением разных средств измерений и/или видов и методов измерений. При использовании многодиапазонных приборов (мультиметра и других) «разные средства измерений» можно получить, изменяя метрологические характеристики переключением диапазонов измерений.

## Оформление работы и анализ результатов

Результаты работы оформляются с использованием таблиц (рекомендуемые формы таблиц 3.1...3.4 даны с примерами заполнения), необходимых схем (примеры оформления на рисунке 3.5), диаграмм и текстовых описаний. При отсутствии данных в клетке таблицы ставится прочерк, а при отсутствии оцениваемого элемента записывают «нет», «отсутствует» и т.д.

Результаты многократных наблюдений при измерении каждой из величин с помощью одной МВИ оформляются в виде отдельной строки таблицы 3.1. Результаты двух серий измерений одной величины с использованием разных МВИ вносятся в таблицу 3.2.

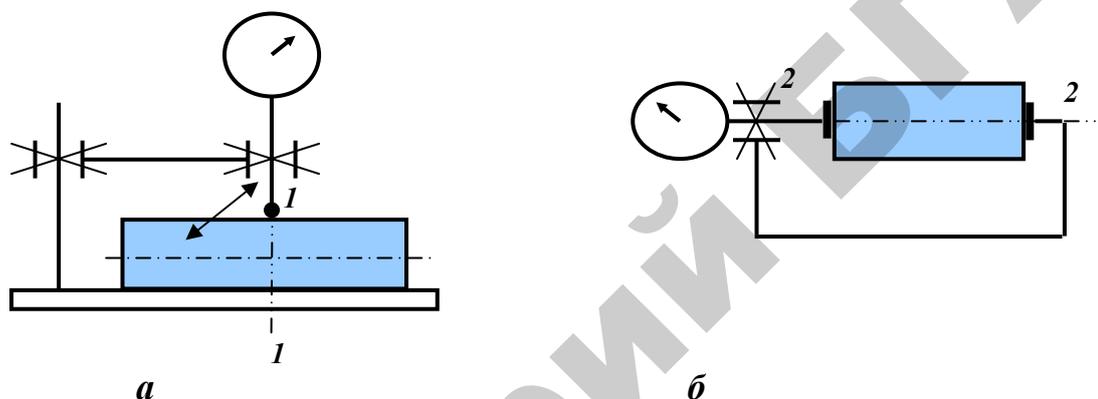


Рисунок 3.5 – Схемы измерений размеров детали:

*а* – схема измерения диаметра  $d$  детали в сечении  $1-1$  измерительной головкой на стойке;  
*б* – схема измерения длины  $l$  детали в сечении  $2-2$  рычажным микрометром

Таблица 3.1 – Результаты многократных измерений физических величин

Измеряемая величина	№ МВИ	Номер наблюдения $n$								
		1	2	3	4	5	6	7	...	10
Диаметр $d$ , мм	1	12,2	12,3	12,2	12,2	12,3	12,2	12,3	...	12,3
Масса $M$ , г	2	26	26	26						

Таблица 3.2 – Серии многократных измерений физической величины «толщина ленты»  $t$ , мм

№ МВИ	Номер наблюдения $n$									
	1	2	3	4	5	6	7	...	...	...
МВИ 1										
МВИ 2										

Результаты измерений в данной работе приводят **без описания погрешностей измерений**, с указанием всех значащих цифр, получаемых при отсчете значения измеряемой величины, например:

$b = 25,15$  мм или  $b = 25,10$  мм (измерение штангенциркулем с ценой деления нониуса 0,05 мм);

$b = 0,08$  мм (снятие отсчета с показывающего устройства индикатора часового типа с ценой деления  $0,01$  мм при округлении до целого деления) или  $b = 0,082$  мм (при снятии отсчета с интерполированием доли деления на глаз).

Краткое описание методики выполнения измерений должно включать наименования вида и метода измерений, применяемых средств измерений, а также их основные номинальные метрологические характеристики. Например:

- 1) измерения диаметра  $D$  цилиндрического отверстия нутромером индикаторным с настройкой по концевым мерам с боковиками – измерения прямые абсолютные многократные статические, осуществлялись контактным методом, метод сравнения с мерой, дифференциальный, реализуемый как метод замещения. Средства измерений: нутромер индикаторный ГОСТ 868–82 с пределами измерений от 18 мм до 50 мм, цена деления  $0,01$  мм; меры длины концевые плоскопараллельные, набор № 1, класс точности 2; принадлежности к концевым мерам длины;
- 2) измерения наружного диаметра  $d$  детали с помощью измерительной головки ИЧ-10 ГОСТ 577-68 класса 1 на стойке С-III ГОСТ 10197-70 с настройкой по концевым мерам длины класса 3... (пример 2 не закончен).

**При необходимости** описание дополняется схемой измерения (см. рисунок 3.5), а для идентификации измеряемой физической величины – эскизом измеряемого объекта с указанием контрольных сечений или точек.

После фиксации результатов многократных наблюдений в отдельной строке таблицы 3.1 для каждой серии измерений строится точечная диаграмма (рисунок 3.6) в координатах «номера наблюдений  $n$  – результаты измерений  $X_i$ », с указанием масштаба и измеряемой величины, например, в подписи под рисунком. По оси ординат диаграммы предпочтительно откладывать не результаты измерений, а отклонения результатов от некоторого условного значения. Масштаб желательно выбирать таким, чтобы размах  $R'$  на диаграмме можно было оценить **двумя значащими цифрами**.

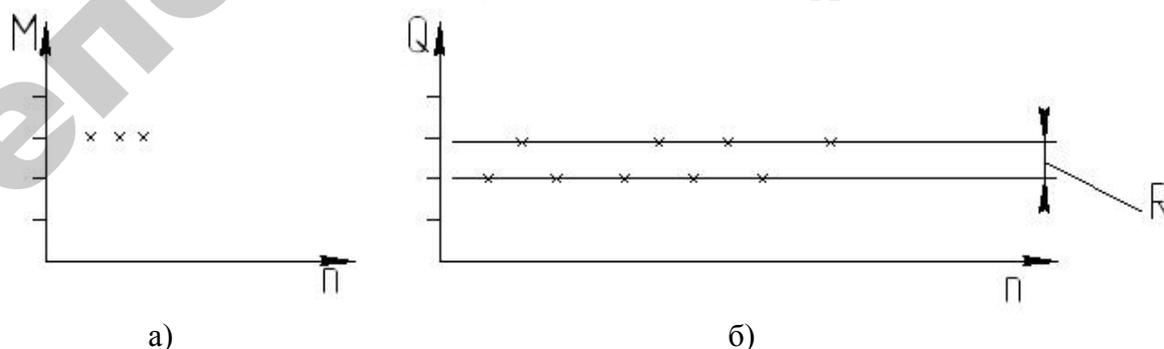


Рисунок 3.6 – Точечные диаграммы двух серий многократных измерений разных ФВ: *a* – диаграмма измерения массы  $M$  детали (тенденция изменения результатов и размах практически отсутствуют, поэтому  $n = 3$ ); *б* – диаграмма измерения величины  $Q$  (тенденция изменения результатов практически отсутствует, размах  $R' = 0,XX$ )

Анализ результатов каждой отдельной серии включает оценку размахов результатов измерений и оценку наличия тенденции изменения. При наличии явно выраженной тенденции оценивают размах результатов  $R'$  (общий размах), затем на диаграмму наносят аппроксимирующую линию и оценивают размах отклонений от аппроксимирующей линии  $R$ , складывая по модулю максимальные отклонения от нее с противоположными знаками. Результаты анализа представляют в произвольной форме под соответствующими диаграммами.

По результатам наблюдений в двух сериях измерений одной и той же величины заполняют строки таблицы 3.2 и в одной координатной системе строят две точечные диаграммы с одинаковым масштабом (рисунок 3.7).

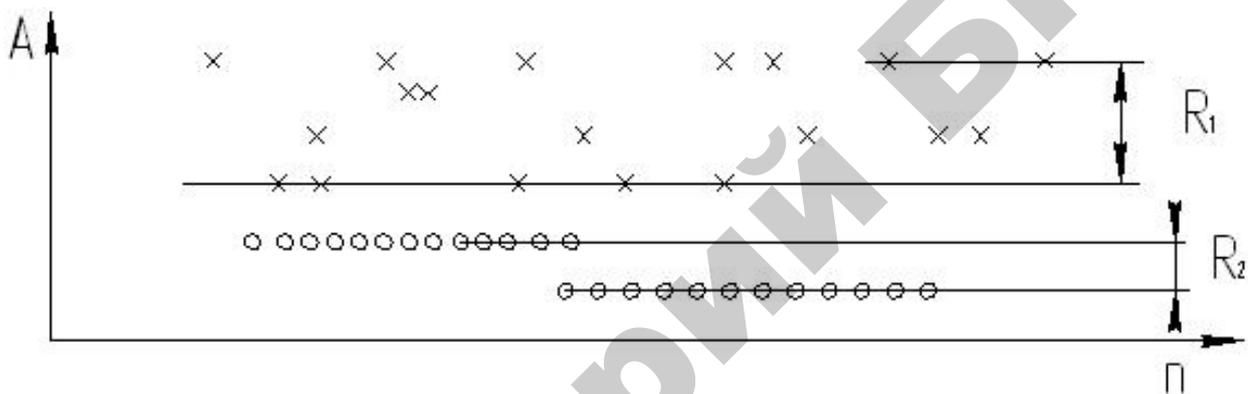


Рисунок 3.7 – Точечные диаграммы двух серий многократных измерений одной ФВ

Сравнительный анализ результатов нескольких серий измерений одной физической величины включает оценки размахов  $R'i$ ,  $Ri$ , оценку наличия и вида тенденций изменения результатов наблюдений по каждой из серий и результаты их сопоставления.

Сходимость измерений в каждой серии характеризуется размахом результатов как общим  $R'i$ , так и  $Ri$ , полученным после исключения тенденции изменения (если она обнаружена). Воспроизводимость измерений в двух сериях – по степени совпадения размахов и аппроксимирующих линий. При наличии в двух сериях отличающихся тенденций воспроизводимость, как правило, низкая, даже если результаты будут практически равномерно распределены ( $R_2 \approx R_1$ ).

Пример совместного анализа двух точечных диаграмм (парной точечной диаграммы), представленных на рисунке 3.6:

Тенденции изменения результатов в обеих сериях отсутствуют. Первая серия измерений (с использованием МВИ1) характеризуется размахом  $R_1 = \dots$ , вторая серия (с МВИ2) – размахом  $R_2 = \dots$ , причем  $R_2 < R_1$ . Кроме того,

между сериями наблюдается заметное расхождение средних значений  $X_{1cp}$  –  $X_{2cp} = \dots$  . (везде указывают значения, определяемые по диаграммам с учетом масштаба).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятию «измерение физической величины».
2. Что вы понимаете под «неопределенностью измерительной информации»?
3. Что влияет на неопределенность измерительной информации?
4. Что понимается под:
  - точностью измерений;
  - сходимостью измерений;
  - воспроизводимостью измерений?

## Лабораторная работа № 4

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

### Цели и задачи работы

**Цель работы:** исследование источников погрешностей.

**Задачи:**

- 1) проанализировать выбранные методики выполнения измерений нескольких ФВ и выявить возможные источники и причины возникновения погрешностей;
- 2) экспериментально подтвердить возможность возникновения погрешностей из-за выявленных причин.

### Общие положения

*Погрешность результата измерения (погрешность измерения) – отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.* Здесь и далее курсивом выделены определения из РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения».

Методы выявления и оценки погрешностей можно разделить на **аналитические** (теоретические) и **экспериментальные**. В некоторых случаях используют **смешанные** методы (объединение теоретических и экспериментальных). Оценки погрешностей для типовых методик измерений обычно можно найти в информационных источниках.

Аналитические методы выявления и оценки погрешностей базируются на **функциональном анализе** методики выполнения измерений (МВИ). Цель функционального анализа МВИ – выявление источников погрешностей измерения, оценка составляющих погрешности измерения (характера и значений).

Применению методов выявления и оценки погрешностей обычно предшествует гипотеза о наличии погрешностей от того или иного источника, включая:

- **инструментальные погрешности,**
- **методические погрешности,**
- **погрешности из-за отличия условий от нормальных («погрешности условий»),**
- **субъективные погрешности.**

**Инструментальная погрешность измерения** (*инструментальная погрешность*) – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

К инструментальным (аппаратурным) относятся все погрешности средств измерений и вспомогательных устройств: погрешности прибора, погрешности используемых для его настройки мер, погрешности устройств базирования приборов (деталей) при линейно-угловых измерениях, погрешности из-за включения в измерительную цепь соединительных проводов для подключения электроизмерительных приборов и т.д.

Методические погрешности часто называют погрешностями метода. **Погрешность метода измерений** (*погрешность метода*) – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Такие погрешности могут иметь систематический и случайный характеры (например, систематическая погрешность при измерении конкретного объекта может рассматриваться как одна из случайных реализаций при измерениях группы однородных объектов).

Методические погрешности возникают из-за принятых при измерении или обработке результатов теоретических допущений и упрощений, а также из-за несоответствия реального объекта измерений принятой модели. Например, при измерении массы объекта взвешиванием на двуплечих весах в воздушной среде строгая модель уравнивания должна учитывать архимедовы силы, которые обусловлены вытеснением воздуха объектом измерения и гири. Упрощенная модель взвешивания основана на допущении об одинаковой плотности их вещества, что не всегда справедливо.

Возникновение погрешности из-за несоответствия реального объекта измерений принятой модели можно рассмотреть на примерах измерений длины. При измерении «диаметра» номинально цилиндрической поверхности измерительной головкой на стойке методические погрешности могут быть обусловлены неидеальной формой поверхности (например, изогнутостью или седлообразностью). Методическая погрешность при измерении такой детали (рисунок 4.1) может быть примерно равна отклонению образующей от прямолинейности.

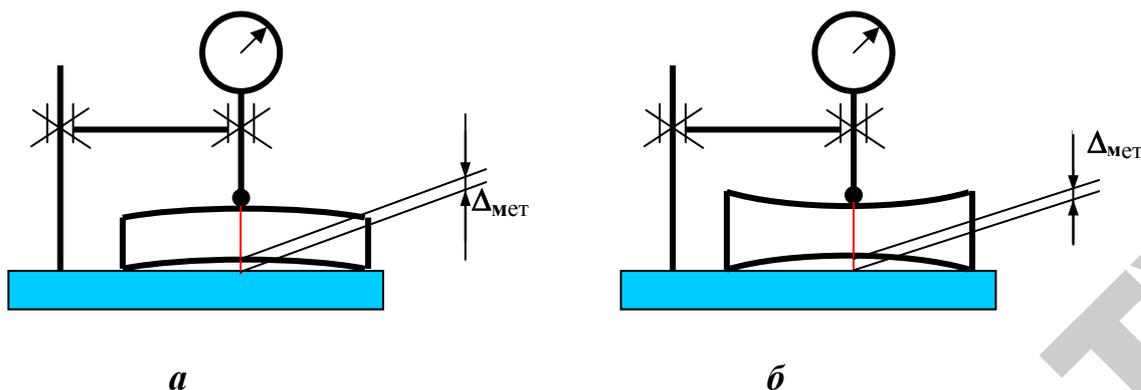


Рисунок 4.1 – Методические погрешности из-за неидеальности номинально цилиндрических объектов линейных измерений

Погрешности из-за отличия условий измерений от идеальных («погрешности условий») требуют более подробного анализа. В РМГ 29–99 дано только определение погрешности из-за изменений условий измерения.

**Погрешность (измерения) из-за изменений условий измерения** – составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерений, от установленного значения. В примечании говорится, что этот термин применяют в случае неучтенного или недостаточно учтенного действия той или иной **влияющей величины** (температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, напряженности магнитного поля, вибрации и др.); неправильной установки средств измерений, нарушения правил их взаимного расположения и др.

**Влияющая физическая величина (влияющая величина)** – физическая величина, оказывающая влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений. Это понятие определено не совсем четко (из определения следовало исключить саму измеряемую физическую величину).

При оценке **неидеальности условий измерений** фактически следует рассматривать погрешности из-за несоблюдения нормальных условий измерений, которые вызваны воздействием на измеряемый объект и средства измерений **любой** влияющей физической величины, выходящей за пределы области нормальных значений. Температурные, электромагнитные и другие поля, атмосферное давление, избыточная влажность, наличие вибраций и множество других факторов могут привести к искажению измеряемой величины и/или измерительной информации, преобразуемой средствами измерений. Эти погрешности могут иметь систематический характер при закономерном изменении влияющей физической величины и случайный – при ее стохастиче-

ческих колебаниях. Для оценки «погрешности условий» в общем случае следует учитывать воздействие влияющих величин и на средства измерений, и на измеряемые объекты.

Для компенсации закономерного воздействия влияющей величины  $\psi$  на результат измерения нужно знать и функцию  $f(\psi)$  изменения результата измерений при изменении аргумента, и значение аргумента  $\psi$ . Например, изменение линейного размера (диаметра или высоты) измеряемой детали при температуре, отличной от нормальной, обычно связывают с так называемой «стержневой моделью» и рассчитывают с использованием элементарной зависимости

$$\Delta_l = \alpha (t_i - t_{20}), \quad (4.1)$$

где  $\Delta_l$  – приращение длины (положительное или отрицательное);

$\alpha$  – температурный коэффициент линейного расширения;

$t_i$  – температура при измерении;

$t_{20}$  – номинальное значение нормальной температуры при измерении.

Для оценки влияния температуры на средство измерений необходимо проанализировать ее действие на измерительную цепь. Для этого необходимо выявить элементы, воздействие на которые приведет к искажению измерительной информации, определить характер искажения и его значение. Поскольку для построения аналитической модели сложного средства измерений приходится задаваться множеством допущений, не всегда удается обеспечить достаточную строгость построенной модели. В таких случаях часто более рациональным путем является **экспериментальная** оценка погрешности.

Субъективную погрешность называют еще личной погрешностью (личной разностью), погрешностью оператора. **Субъективная погрешность измерения** (субъективная погрешность) – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора.

Определение не вполне корректно, поскольку даже самый опытный оператор не может обеспечить идеальную воспроизводимость своих действий. В результате субъективная погрешность включает систематические и случайные составляющие.

**Субъективные погрешности** могут включать **погрешности отсчитывания** результата и **погрешности манипулирования** средствами измерений и измеряемым объектом (устройствами совмещения, настройки и корректировки нуля, арретирования, базирования накладного СИ на детали или детали на станковом СИ).

**Погрешности отсчитывания** результатов рассматривают только для приборов с аналоговым выходом. Они могут включать погрешности из-за параллакса и погрешности округления или интерполирования дольной части деления. Погрешности из-за параллакса возникают только в том случае, когда плоскости шкалы и указателя не совпадают. Можно построить геометрическую модель образования погрешности из-за параллакса и оценить порядок ее значения, задаваясь приемлемыми углами наблюдения.

Можно также моделировать округление и интерполирование дольной части деления. Элементарная модель округления отсчета при положении указателя между отметками шкалы показывает, что в наихудшем случае (положение указателя точно посередине) погрешность округления не превышает половины цены деления  $j$  шкалы аналогового прибора. Погрешность интерполирования дольной части деления «на глаз» будет еще меньше, но ее строгая аналитическая оценка невозможна, поэтому погрешность интерполирования оценивают **экспериментальными методами** или заимствуют из **информационных источников**.

Погрешности **манипулирования** средствами измерений и измеряемым объектом плохо поддаются аналитическому моделированию. Для их оценки чаще всего применяют **экспериментальные** методы. В зависимости от квалификации оператора манипулирование сложными средствами измерений может приводить к доминирующим систематическим либо случайным составляющим погрешностей.

Уровень полноты выявления и оценки составляющих погрешностей зависит от получаемой информации и может колебаться от оценки по шкале наименований до оценки по шкале отношений. Примерами оценок по шкале наименований на качественном уровне могут быть: утверждение о наличии погрешности, возникающей из-за определенных причин; заключение о характере погрешности («систематическая постоянная погрешность длины объекта при отличии его температуры от нормальной» или «прогрессирующая погрешность при монотонном изменении температуры объекта»). Использование шкалы порядка может выражаться, например, в оценках уровня значимости: составляющие погрешности второго порядка малости по сравнению с доминирующими составляющими считают пренебрежимо малыми. Высшим уровнем оценок погрешностей можно считать получение их числовых значений.

Схема ключевых понятий (СКП) к лабораторной работе № 4 представлена на рисунке 4.2.

## **Материальное обеспечение работы**

*Объекты измерений:* детали типа тел вращения, призм и др. (по заданию преподавателя).

*Измеряемые параметры:* линейные размеры, объем, масса, сила.

*Средства измерений:*

- меры длины, угла, объема и массы (линейка измерительная, набор плоско-параллельных концевых мер длины, транспортир, сосуды измерительные, набор разновесов);
- накладные и станковые приборы для измерений длины (штангенциркуль, микрометр гладкий, микрометр рычажный или скоба рычажная, измерительные головки со штативом или стойкой и др.);
- весы для измерения массы взвешиванием, динамометр.

## **Порядок выполнения работы**

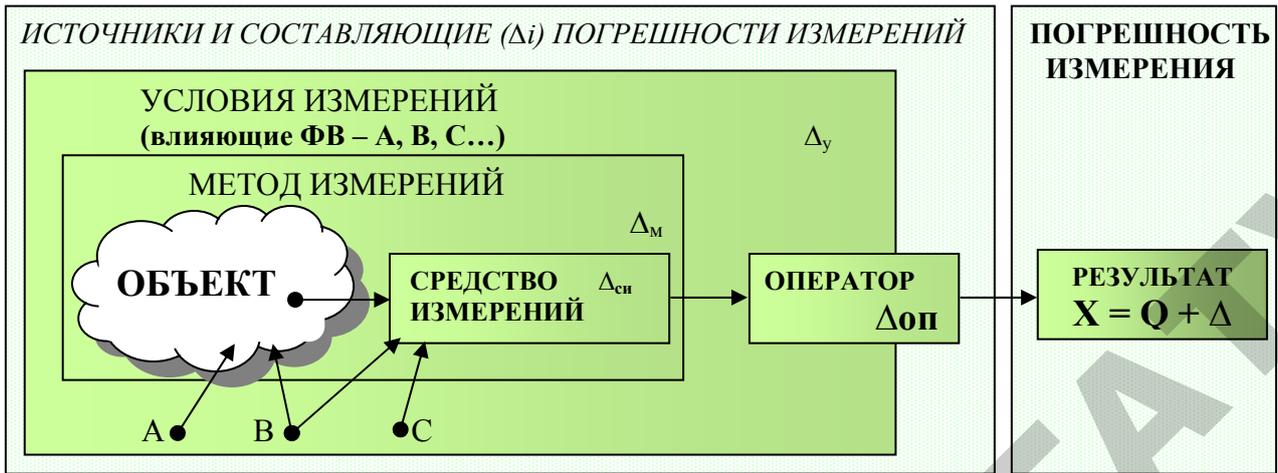
### ***Задание***

1. Выбрать объекты измерений и измеряемые физические величины, определить содержание методик выполнения измерений (МВИ) для последующего функционального анализа.

2. Выполнить функциональный анализ выбранных МВИ для выявления возможных источников погрешностей.

3. Осуществить управляемые воздействия на моделируемый процесс измерений (элементы процесса) и экспериментально подтвердить возникновение погрешностей из-за источников, выявленных при функциональном анализе МВИ.

4. Оценить (по возможности) характер и порядок возникающих погрешностей.



**ОБЪЕДИНЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ**  $\Delta = \Delta_{си} * \Delta_m * \Delta_y * \Delta_{оп}$

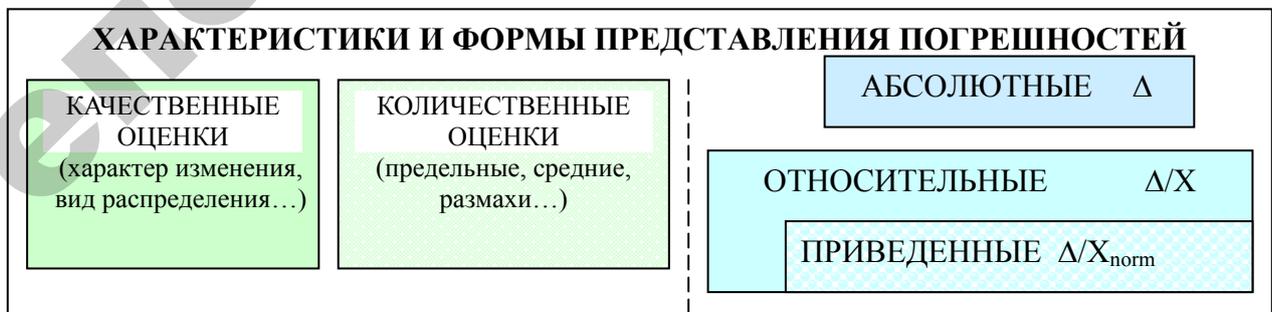
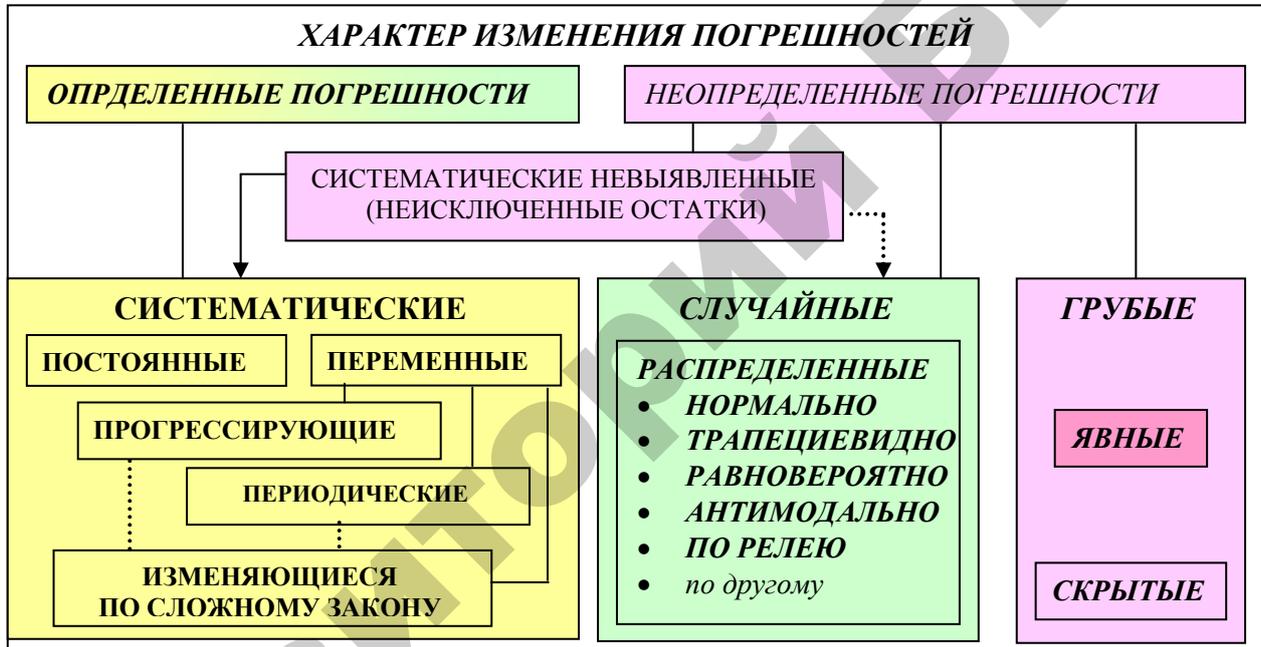


Рисунок 4.2 – СКП Погрешности измерений

## *Проведение исследований*

Поскольку любые МВИ дают материал для функционального анализа, выбор объектов измерений, измеряемых физических величин и предлагаемых МВИ носит произвольный характер.

Задачей **аналитического** этапа исследований является определение наличия и (по возможности) характера составляющих погрешностей, происходящих от любого источника. Поскольку наличие комплексных погрешностей в обобщенных классах является очевидным (например, наличие инструментальных погрешностей или «погрешностей условий»), следует анализировать их конкретные составляющие.

Анализ каждой из рассматриваемых методик выполнения измерений проводится с целью выявления погрешностей **от конкретных источников** и по возможности оценки их порядка. Например, при измерении методом сравнения с мерой в инструментальные погрешности входят не только погрешности прибора, но и погрешности используемых мер (композиций мер). Возникнут ли **значимые** инструментальные составляющие погрешности от мер и таких вспомогательных устройств, как стойка или штатив станкового средства линейных измерений, соединительные провода электрических приборов и другие, необходимо выяснить в ходе анализа. Для экспериментального подтверждения результатов функционального анализа выбирают такие МВИ и методики их исследований, которые позволяют эффективно моделировать и оценивать проявление составляющих погрешностей от разных источников.

В качестве примеров экспериментальной работы приведем две возможные методики исследований, позволяющие подтвердить наличие инструментальных составляющих погрешности измерений (погрешности приборов и мер).

Для подтверждения наличия **погрешностей приборов** можно измерять размеры одной и той же физической величины (предпочтительно методом непосредственной оценки) двумя МВИ с использованием двух разных приборов. Различия номинально одинаковых результатов свидетельствуют о неравенстве погрешностей измерений:

$$X_1 \neq X_2 \Rightarrow \Delta_1 \neq \Delta_2.$$

Если при этом сопоставляемые МВИ однотипны, реализуются одним оператором в одинаковых условиях и отличаются только метрологическими характеристиками применяемых средств измерений, то методические погрешности, «погрешности условий» и субъективные можно считать практически одинаковыми, и тогда можно полагать, что различия результатов, сле-

довательно, и погрешностей измерений вызваны неодинаковыми погрешностями применяемых СИ, то есть

$$\Delta_1 \neq \Delta_2 \Rightarrow \Delta_{\text{СИ } 1} \neq \Delta_{\text{СИ } 2}.$$

При измерении методом непосредственной оценки в погрешности применяемых СИ доминирующей составляющей будет погрешность прибора. В каждой исследуемой точке эти погрешности могут иметь стохастический (случайный) характер. Однако при незначимой случайной составляющей погрешность в исследуемой точке можно рассматривать как систематическую постоянную. Для экспериментальной проверки правильности одного из высказанных допущений можно выполнить серию измерений одной и той же физической величины с использованием одной МВИ и одного и того же СИ. Если при этом получают различные результаты  $x_1 \neq x_2 \neq x_3 \dots$ , то можно сделать вывод о наличии значимой случайной составляющей, если же результаты практически одинаковы ( $x_1 \approx x_2 \approx x_3 \dots$ ), доминирующей является систематическая постоянная погрешность СИ ( $\Delta_{s1} \approx \Delta_{s2} \approx \Delta_{s3} \dots$ ).

Для исследования **погрешностей мер** можно выполнить сравнительные измерения двух номинально одинаковых физических величин, воспроизведенных с помощью мер. Противопоставляемые величины воспроизводят с использованием одинаковых однозначных мер, или однозначной меры и имеющего то же номинальное значение ансамбля мер (например, одиночная гиря – ансамбль той же массы, отдельная концевая мера длины – блок мер той же длины).

При использовании однотипных МВИ, реализуемых в одинаковых условиях, «погрешности условий» можно считать практически одинаковыми. То же можно сказать и о субъективных погрешностях. Методические погрешности также можно считать практически одинаковыми, а при хорошей организации измерений – практически отсутствующими. При соблюдении оговоренных допущений расхождение результатов будет вызвано погрешностями мер и, возможно, погрешностями составления ансамбля мер (у блока концевых мер длины к погрешностям размеров каждой из мер блока добавляются и погрешности их притирки) и погрешностями прибора, используемого в качестве индикатора отклонений.

Для регистрации расхождений нужно использовать прибор с высокой чувствительностью и точностью, его погрешности должны быть пренебрежимо малыми по сравнению с исследуемыми погрешностями мер. Если расхождения результатов измерений альтернативных величин не наблюдаются, это значит, что прибор имеет недостаточно высокую чувствительность. Если

расхождения фиксируются стабильно, то при практически одинаковых погрешностях прибора разности результатов можно рассматривать как следствие проявления погрешностей мер.

Погрешность отдельной меры или однократно составленного ансамбля мер – систематическая постоянная, характер погрешностей многократно составляемых ансамблей мер зависит от особенностей процесса сбора ансамбля.

Возможно применение других методик исследования инструментальных составляющих погрешности измерений, которые **исполнители разрабатывают самостоятельно** и согласуют с руководителем проведения лабораторной работы.

Для моделирования **методической погрешности** из-за некорректной идеализации объекта измерений можно измерять деталь с явно выраженной погрешностью формы. Например, при измерении толщины изогнутой детали станковым СИ с базированием детали на столе станкового СИ вогнутой поверхностью фактически получают высоту выпуклой поверхности от нижней прилегающей плоскости (рисунок 4.3, а).

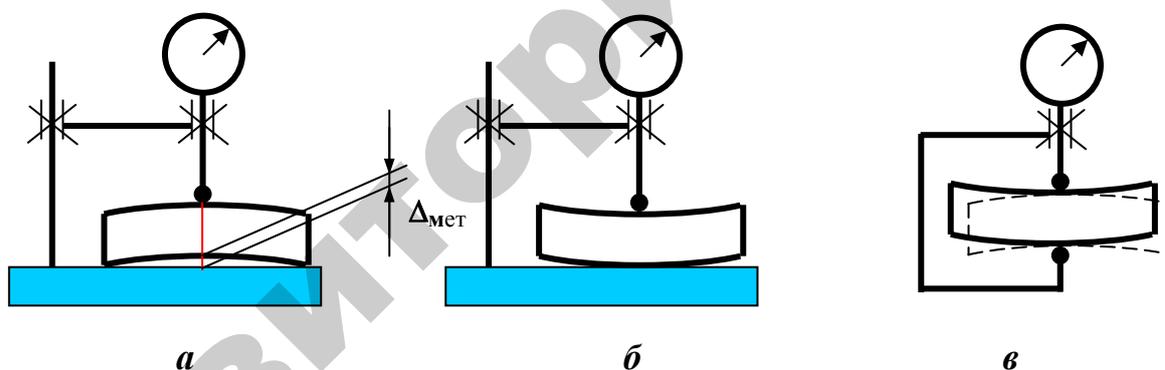


Рисунок 4.3 – Методические погрешности из-за неидеальности номинально призматических объектов линейных измерений

Наличие методической погрешности подтверждается разностью между результатами измерения высоты и собственно толщины детали, например, измеренной станковым прибором при перевороте детали на  $180^\circ$  (рисунок 4.3, б) или измеренной накладным прибором (рисунок 4.3, в). Разность результатов измерений для конкретного объекта будет практически постоянной, что позволяет говорить о наличии постоянной систематической погрешности его измерений.

Для оценки «погрешностей условий» функциональный анализ МВИ начинают с выявления влияющих ФВ. «Подозреваемые ФВ» подвергают аналитической оценке, а также экспериментальной проверке. Воздействие посто-

янной по значению влияющей величины вызывает постоянную погрешность, а ее закономерное изменение приводит к переменной во времени систематической погрешности. Стохастические колебания влияющей величины, которую стремятся удержать в области нормальных или рабочих значений, приводят к появлению случайных составляющих погрешностей.

Для моделирования «погрешности условий» при измерении линейных размеров можно измерять предварительно нагретую (охлажденную) деталь или нагревать средство измерений. Измерение нагретой детали при остывании осуществляют через произвольные промежутки времени и заканчивают исследования после прекращения изменения ее размеров и наблюдаемой стабилизации измеряемого размера ( $X_n$ ).

Тепловое воздействие на средство измерений можно моделировать, используя местный нагрев стойки станкового средства измерений длины в разных точках (рисунок 4.4, *а*). При исследовании СИ с высокой чувствительностью (с ценой деления 0,5 мкм и менее) роль источника тепла успешно играет рука оператора. Для каждой исследуемой (нагреваемой) точки строят экспериментальную тенденцию кажущегося изменения размеров измеряемой детали в координатах «время нагревания (остывания)  $T$  – показания прибора  $X$ » (рисунок 4.4, *б*).

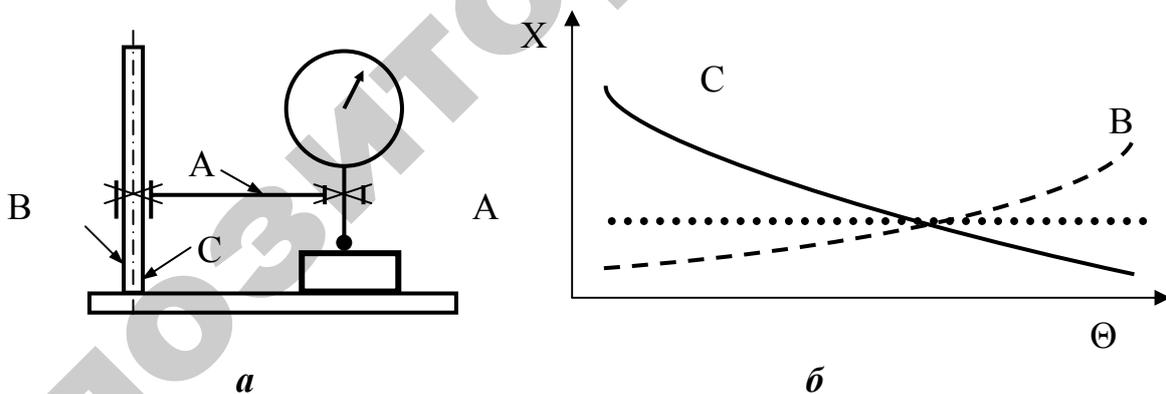


Рисунок 4.4 – Результаты местного нагревания станкового прибора:  
*а* – схема прибора с указанием точек нагревания; *б* – графики кажущегося изменения размеров детали при нагревании прибора в точках А, В и С

Нагревание элементов прибора в разных точках приводит к возникновению погрешностей разного характера, вызванных градиентным температурным полем. Нагревание в точке А практически не приводит к возникновению погрешностей, поскольку удлинение кронштейна не вызывает вертикального смещения измерительной головки.

Можно также моделировать воздействие магнитных или электромагнитных полей на средства измерений, основанные на соответствующих физических принципах. Например, можно наблюдать явное воздействие детали с магнитными свойствами на магнитный компас.

При моделировании **погрешностей отсчитывания** (субъективная составляющая погрешности при использовании аналоговых средств измерений) оценивают различия отсчетов с округлением и интерполированием при работе разных операторов. Можно также воспроизвести погрешности из-за параллакса при наблюдении под углами, незначительно или значительно отличающимися от нормального. Рекомендуется при снятии отсчетов разными операторами, каждый результат при установлении указателя в произвольное положение записывать «секретно» и сравнивать эти результаты только по завершении всего цикла снятия отсчетов.

Погрешности манипулирования средствами измерений можно исследовать на примере измерений одной физической величины либо разными операторами, либо одним оператором с переустановкой детали и т.д. Например, можно исследовать процесс манипулирования гладким микрометром, сравнивая результаты измерений разных операторов (навыки работы и скорости вращения барабана индивидуальны).

Возможные варианты методик исследований погрешностей манипулирования:

- а) исследование манипулирования средством измерений при настройке прибора на ноль по мере (один оператор настраивает прибор, второй независимо контролирует результаты настройки);
- б) исследование манипулирования объектом измерений при выполнении независимых измерений одной и той же физической величины с помощью одной МВИ разными операторами.

Допускается использование **других методик, предложенных исследователями.**

### ***Оформление работы и анализ результатов***

Результаты работы оформляются с использованием таблиц, схем, графиков и текстовых описаний. При оформлении можно использовать таблицы 4.1...4.5 (рекомендуемые формы таблиц даны с примерами заполнения).

Функциональный анализ каждой выбранной МВИ предназначен для последующей постановки эксперимента по моделированию выбранных состав-

ляющих погрешностей. В отчет включается краткое описание методики исследований, применяемой для выявления и оценки погрешностей. В методику включают наименования и основные характеристики объектов исследований, применяемых средств измерений, наименования источников погрешностей и описание методики их выявления. При необходимости описание дополняют схемой измерения и эскизом измеряемого объекта с указанием контрольных точек. Ниже приведены примеры описания исследований и результатов.

**Пример описания** исследования инструментальных погрешностей приборов с использованием конкурирующих МВИ.

Объекты сравнительных исследований: глубиномер индикаторный и глубиномер микрометрический.

Объект измерений: деталь с глухим отверстием.

Методика исследований: глубина глухого отверстия измеряется в одном сечении с использованием обоих приборов. Поскольку две МВИ отличаются только применяемыми приборами, можно говорить о сравнительном исследовании их инструментальных составляющих.

Результаты исследований представлены в виде таблицы и вывода.

Таблица 4.1 – Результаты измерений ФВ с использованием разных МВИ

Исследуемое СИ	Объект измерений и измеряемая ФВ	Результаты измерений, мм				Размах $R' = X_{\max} - X_{\min}$
		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
Глубиномер индикаторный	глубина глухого отверстия 20 мм	20,12	20,10	20,11	–	0,02
Глубиномер микрометрический		19,98	19,97	19,97	19,97 мм	0,01
Расхождение результатов измерений		0,14	0,13	0,14	–	0,01

**Вывод.** Наблюдаемые расхождения результатов измерений вызваны погрешностями приборов, поскольку ввиду сходства обеих МВИ погрешности методические, «условий» и субъективные можно считать практически одинаковыми. Серии характеризуются малыми размахами ( $R_1 = 0,02$  мм и  $R_2 = 0,01$  мм), значит, случайные составляющие погрешности каждого из приборов сравнительно невелики. Стабильное различие между сериями (оно на порядок больше, чем размахи из-за случайных составляющих) дает основания утверждать, что один из приборов или оба прибора имеют значимые систематические составляющие погрешности, действительные значения которых неизвестны.

**Пример описания сравнительного исследования** погрешностей мер и ансамблей мер.

Объекты исследований: меры массы однозначные.

Средство исследований: весы рычажные (используются как нуль-индикатор).

Методика исследований: сравнительные измерения номинально одинаковых мер или меры и ансамбля мер с одинаковыми значениями. Если погрешность нуль-индикатора пренебрежимо мала по сравнению с погрешностями исследуемых мер, обнаруженное различие их значений подтверждает наличие постоянной систематической погрешности либо одного, либо обоих объектов измерений. Результаты исследований представлены в виде таблицы 4.2 и вывода.

Таблица 4.2 – Результаты сравнительных измерений мер и ансамблей мер

Мера, номинальное значение, единицы	Противопоставляемая мера или ансамбль мер, единицы	Результаты сопоставлений	Оценка наличия погрешностей
$M_1$ (гиря 50 г)	$M_2$ (гиря 50 г)	$M_1 > M_2$	Обнаружены
$M_1$ (гиря 100 г)	$M_2$ (гири 50 г + 20 г + 20 г + 10 г)	$M_1 < M_2$	Обнаружены

**Вывод.** Наблюдаемые несоответствия двух номинально одинаковых мер (меры и ансамбль мер), поскольку погрешности методические, «условий» и субъективные практически одинаковы, свидетельствуют о наличии погрешностей мер и/или ансамбля мер. Погрешности мер и собранного ансамбля мер – систематические постоянные, их значения остаются неизвестными.

**Пример частичного описания исследования** методических погрешностей при измерении размеров детали неидеальной формы (объекты исследований, средства исследований и методика исследований здесь не описаны; для выполнения исследований следует разработать методику и привести достаточно полное описание). Ниже приведены схемы измерений (рисунок 4.5) и выводы.

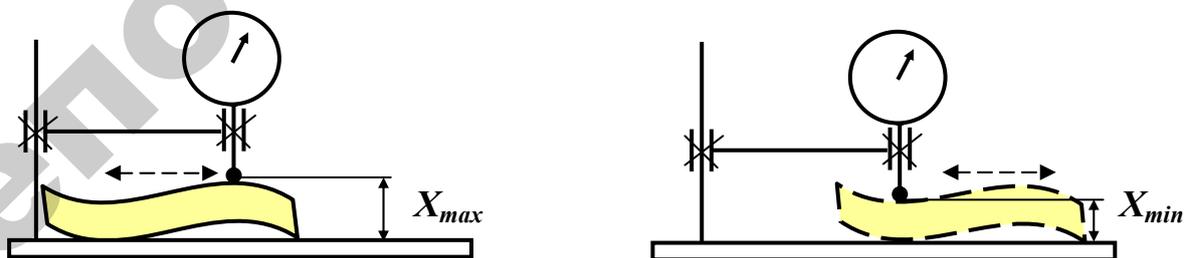


Рисунок 4.5 – Поиск экстремальных размеров детали.

**Выводы.** Наблюдаемые расхождения результатов измерений  $X_{max} \neq X_{min}$  вызваны методической составляющей погрешности  $\Delta_m$ , связанной с неправильностью формы детали, поскольку погрешности инструменталь-

ные, «условий» и субъективные при данных измерениях можно считать практически одинаковыми. Максимальная методическая погрешность, определяемая разностью экстремальных размеров, будет постоянной для каждой из исследуемых деталей и случайной в ансамбле однотипных деталей.

**Примеры описания результатов исследования погрешностей** из-за влияющих величин (температуры). В работе моделируют воздействие влияющих величин на объект измерения, например, исследуя изменения размеров при изменении температуры детали (см. рисунок 4.6 и данные в таблице 4.3) (деталь перед измерением можно нагреть либо охладить). Воздействие влияющей величины на средства измерений моделируют, измеряя размер детали в одном сечении при местном нагревании прибора в нескольких точках. Схема точек нагревания прибора (рисунок 4.7) представлена как один из возможных вариантов, хотя нагревание в точке *A* явно неэффективно, а эффективность нагревания в точке *B* сомнительна.

Таблица 4.3 – Изменение длины нагретой детали в процессе охлаждения

Результаты измерений										
Моменты времени $t_i$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_{10}$
Результаты измерений $X_i$ , мкм	30	25	25	20	15	15	10	10	10	10

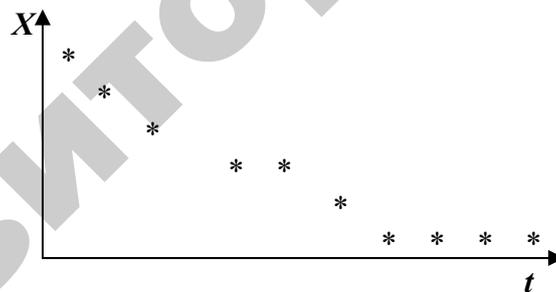


Рисунок 4.6 – График изменения размеров детали при охлаждении

**Вывод.** Понижение температуры детали вызывает монотонное изменение ее размера. Исследуемая температурная погрешность измерений может рассматриваться как прогрессирующая во времени до момента выравнивания температуры детали и окружающей среды.

При исследовании нагревания средства измерений приводят схему прибора с указанием точек нагревания, графики кажущегося изменения размеров детали, объяснения тенденций, полученных при нагревании прибора в разных точках (см. рисунок 4.7).

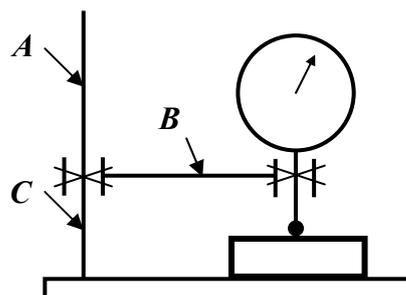


Рисунок 4.7 – Схема точек нагрева прибора

**Пример описания исследования субъективных погрешностей.**

Объекты исследований: аналоговые измерительные приборы с отсчетным устройством типа шкала-указатель.

**Методика исследований** погрешности отсчитывания: искусственно устанавливают показания прибора так, чтобы указатель находился в произвольном положении между отметками шкалы отсчетного устройства (можно без выполнения измерений). После каждой фиксации положения указателя показания  $X_1, X_2, X_3 \dots$  независимо считываются двумя операторами и фиксируются в таблице 4.4 (в первой серии экспериментов с округлением до целого деления, во второй – с интерполированием доли деления).

**Выводы.** Поскольку погрешности инструментальные, методические, и «условий» для обеих серий экспериментов можно считать практически отсутствующими, значимые разности результатов вызваны погрешностями операторов. Максимальные значения разности результатов при отсчитывании с округлением составляют 1 деление, с интерполированием – 0,1 деления, что соответствует аналитическим оценкам таких погрешностей отсчитывания.

Таблица 4.4 – Результаты исследований погрешностей отсчитывания

Прибор – оптиметр	Оператор	Отсчитывание с округлением, целые деления				Отсчитывание с интерполированием, деления и доли деления			
		1-й	28	55	37	42	16,6	25,4	36,8
	2-й	28	56	37	41	16,7	25,3	36,7	-
Разность результатов		0	1	0	1	0,1	0,1	0,1	-

**Методики исследований** погрешности манипулирования (результаты в таблице 4.5):

- а) манипулирование средством измерений при настройке прибора на ноль по мере (один оператор настраивает прибор, второй контролирует настройку);

б) манипулирование объектом измерений, реализуемое разными операторами, при выполнении независимых измерений одной и той же физической величины с помощью одной МВИ (привести описание), требующей манипулирования (уточнить, какого) объектом.

Таблица 4.5 – Результаты исследований погрешностей манипулирования

Прибор – оптиметр	Оператор	Показания прибора при ма- нипулировании средством измерений, доля цены деления				Результаты измерений при манипулировании объектом измерений, мм			
		0	0	–	–	25,672	25,671	–	–
	Оператор 1	0	0	–	–	25,672	25,671	–	–
Оператор 2	0	0,2	–	–	25,670	25,670	–	–	
Разность результатов		0	0,2	–	–	0,002	0,001	–	–

**Выводы.** Погрешности при манипулировании средством измерений практически не выявлены (один случай расхождения результатов на 0,2 цены деления можно считать незначимым). Погрешности при манипулировании объектом измерений можно считать выявленными, поскольку расхождения результатов на 2 цены деления в данном случае следует признать значимыми.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятию «погрешность измерения».
2. Какими методами оцениваются погрешности?
3. Дайте определение погрешностям:
  - инструментальной;
  - методической;
  - субъективной.
4. Как можно компенсировать изменение температуры при замерах линейных размеров?

## Лабораторная работа № 5

# ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

### Цели и задачи работы

**Цель работы:** ознакомление с основными метрологическими характеристиками средств измерений и методами определения их значений.

#### Задачи:

- 1) классифицировать имеющиеся СИ по различным основаниям;
- 2) научиться определять основные метрологические характеристики выбранных СИ разных видов, включая аналоговые и цифровые приборы;
- 3) научиться строить номинальные функции преобразования различных СИ.

### Общие положения

Термины и определения, заимствованные из РМГ 29–99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Метрология. Основные термины и определения» и ГОСТ 8.009–84 «Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений», выделены курсивом.

Метрологические характеристики (МХ) средств измерений по ГОСТ 8.009–84 делят на следующие группы:

- *характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки).* Такие МХ можно назвать номинальными;
- *характеристики погрешностей СИ;*
- *характеристики чувствительности СИ к влияющим величинам,* которые тоже можно отнести к характеристикам погрешностей;
- *динамические характеристики СИ;*
- *неинформативные параметры выходного сигнала СИ* (предпочтительно рассматривать неинформативные параметры сигнала измерительной информации).

В стандарте упоминается также группа, названная *«характеристики СИ, отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений вследствие взаимодействия СИ с любым из подключенных к их входу или выходу компонентов* (таких как объект измерений, средство измерений и т.п.)».

В настоящей лабораторной работе исследуются только характеристики

первых двух групп. Характеристики чувствительности СИ к влияющим величинам, динамические характеристики СИ, неинформативные параметры выходного сигнала СИ не рассматриваются как неопределяемые в лабораторной работе. По той же причине не описаны характеристики СИ, «отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений вследствие взаимодействия СИ с любым из подключенных к их входу или выходу компонентов».

Простейшим средством измерений, которое не осуществляет преобразования физической величины, является мера.

*Мера физической величины (мера) – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.*

*Примечания. Различают следующие разновидности мер:*

- *однозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например, гиря 1 кг);*
- *многозначная мера — мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины);*
- *набор мер — комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины);*
- *магазин мер — набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений).*

*При оценивании величин по условным (неметрическим) шкалам, имеющим реперные точки, в качестве «мер» нередко выступают вещества или материалы с приписанными им условными значениями величин. Например, для шкалы Мооса мерами твердости являются минералы различной твердости. Приписанные им значения твердости образуют ряд реперных точек условной шкалы.*

Номинальной метрологической характеристикой меры является **номинальное значение меры** – значение величины, приписанное мере или партии мер при изготовлении.

Для однозначной меры и многозначных мер **номинальные значения** представляются именованными числами (одно значение – для однозначной меры  $Y$ , или множество значений  $Y_i$  – для многозначной меры).

У многозначных штриховых мер есть также характеристики, связанные со шкалой. Это **цена деления шкалы** – разность значения величины, соот-

ветствующей двум соседним отметкам шкалы средства измерений; **длина деления шкалы** – расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы; **начальное значение шкалы** – наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений; **конечное значение шкалы** – наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений.

Для определения длины деления шкалы необходимо понятие **длина шкалы** – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений и ограниченной начальной и конечной отметками.

*Примечания.* Линия может быть реальной или воображаемой, кривой или прямой.

Длина шкалы выражается в единицах длины независимо от единиц, указанных на шкале.

Для многозначных штриховых мер иногда используются такие МХ, как **диапазон шкалы**, который определяется ее **нижним и верхним пределами**. Диапазон измерений для многозначных штриховых мер не нормируется, поскольку верхний предел измерений практически не ограничен.

Кроме номинальных обязательно нормируются **характеристики погрешностей** любой меры, а остальные характеристики нормируются только по необходимости.

**Измерительный преобразователь** – техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Примеры измерительных преобразователей – термопара, пружина динамометра, микрометрическая пара винт-гайка.

Поскольку измерительный преобразователь выдает измерительную информацию в форме, не поддающейся непосредственному восприятию оператором, непосредственная оценка его номинальных характеристик затруднительна и в данной работе не производится.

**Измерительный прибор** – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Измерительный прибор предназначен для получения измерительной информации от измеряемой физической величины, ее преобразования и выдачи в форме, поддающейся непосредственному восприятию оператором. В

зависимости от формы выходного сигнала различают приборы с аналоговым либо с дискретным выходом («дискретные» приборы часто называют «цифровыми»). Следует обратить внимание, что вид устройства отображения измерительной информации не определяет форму выходного сигнала: система шкала-указатель электронно-механических часов принадлежат «дискретным» приборам, а изменение выходного сигнала бытового счетчика электроэнергии на правом барабане цифрового табло носит непрерывный характер.

Для измерительного преобразователя или прибора интегральной МХ является **функция преобразования СИ**. Функция преобразования может быть представлена математической зависимостью, графиком или таблицей. Линейная номинальная функция преобразования средства измерений с выходным сигналом измерительной информации в аналоговой форме графически представлена на рисунке 5.1, *а*.

Следует различать номинальную функцию преобразования (приписанная СИ идеальная функция, отражающая зависимость между величиной на входе средства измерений  $Y$  и на его выходе  $Z$ ) и градуировочную характеристику СИ (зависимость между величинами  $Y$  и  $Z$ , реализованная в конкретном экземпляре средства измерений).

*Градуировочная характеристика средства измерения – зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально. Примечание. Градуировочная характеристика может быть выражена в виде формулы, графика или таблицы.*

Градуировочная характеристика отличается от идеальной (номинальной) функции преобразования (см. рисунок 5.1, *а*) и для одного СИ может быть представлена единичной реализацией (рисунок 5.1, *б*) или пучком реализаций (рисунок 5.1, *в*), полученными в ходе исследований.

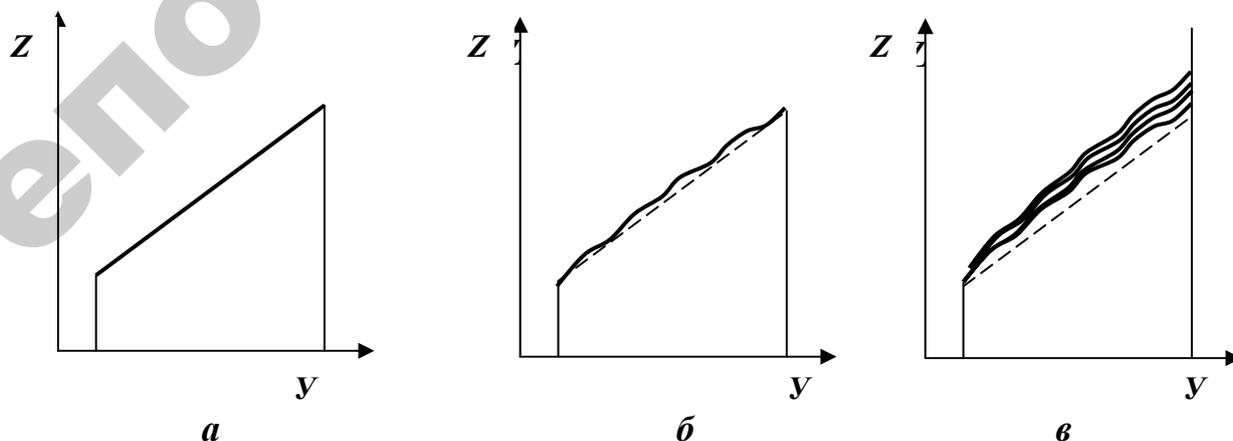


Рисунок 5.1 – Графики функций преобразования для средств измерений с аналоговым выходом

В настоящей работе определяются номинальные функции преобразования для выбранных средств измерений, которые представляются в виде графиков (можно дополнительно использовать и представление в виде формулы или таблицы). Градуировочную характеристику конкретного прибора можно найти только экспериментально (этот эксперимент может не входить в состав данной работы). Кроме интегральных МХ измерительных приборов в работе определяются также некоторые их частные номинальные метрологические характеристики.

В набор оцениваемых характеристик могут входить:

- диапазон измерений;
- диапазон показаний, а также другие характеристики, связанные со шкалой.

К последним можно отнести уже упоминавшиеся (*цена деления шкалы; длина деления шкалы; начальное и конечное значения шкалы*).

*Диапазон измерений* – область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений.

*Примечание.* Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа), называют соответственно нижним пределом измерений или верхним пределом измерений.

*Диапазон показаний средства измерений (диапазон показаний)* – область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Для приборов с дискретным (цифровым, числовым) устройством отображения измерительной информации диапазон показаний определяется **видом выходного кода и числом разрядов выходного кода**. Для этих же приборов вместо цены деления шкалы используют такие МХ, как **цена единицы наименьшего разряда кода** или **номинальная ступень квантования** (если она больше цены единицы наименьшего разряда кода).

Для оценки погрешностей измерительного прибора в нормативной документации, справочной литературе или документации на СИ находят значения одной или нескольких следующих характеристик:

- *погрешность средства измерений* – разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

*Примечания.* Для меры показанием является ее номинальное значение.

Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением;

- *систематическая погрешность средства измерений* – составляю-

щая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся.

*Примечание.* Систематическая погрешность данного средства измерений, как правило, будет отличаться от систематической погрешности другого экземпляра средства измерений этого же типа, вследствие чего для группы однотипных средств измерений систематическая погрешность может иногда рассматриваться как случайная погрешность;

- **случайная погрешность средства измерений** – составляющая погрешности средства измерений, изменяющаяся случайным образом.

Основная и дополнительная погрешности СИ могут быть нормированы.

**Основная погрешность средства измерений** (основная погрешность) – погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях.

**Дополнительная погрешность средства измерений** – составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

Кроме того, для многих СИ установлены классы точности.

**Класс точности средств измерений** – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

**Предел допускаемой погрешности средства измерений** – наибольшее значение погрешности средств измерений, устанавливаемое нормативным документом для данного типа средств измерений, при котором оно еще признается годным к применению.

Возможно также использование других характеристик погрешностей.

Схема ключевых понятий (СКП) к лабораторной работе № 5 представлена на рисунке 5.2.

### **Материальное обеспечение работы**

**Объекты измерений:** детали типа тел вращения, призм, др. (по заданию преподавателя).

**Измеряемые параметры:** линейные размеры, объем, масса, сила.

**Средства измерений:**

- меры длины, угла, объема и массы (линейка измерительная, набор плоскопараллельных концевых мер длины, транспортир, сосуды измерительные, набор разновесов);

- накладные и станковые приборы для измерений длины (штангенциркуль, микрометр гладкий, микрометр рычажный или скоба рычажная, измерительные головки со штативом или стойкой и др.);
- весы для измерения массы взвешиванием, динамометр.

## **Порядок выполнения работы**

### *Задание*

1. Провести классификацию СИ по функциональному назначению и конструктивным признакам и выбрать СИ, подлежащие исследованию.
2. Определить метрологические характеристики выбранных однозначных мер.
3. Определить метрологические характеристики выбранных многозначных мер, в том числе штриховых.
4. Определить интегральные и частные метрологические характеристики приборов.

### *Определение интегральных и частных метрологических характеристик*

Некоторые метрологические характеристики СИ можно определить, изучив сами средства измерений, другие содержатся в документации на них. На однозначных мерах обычно указывают их номинальные значения, на шкалах приборов и штриховых мер можно прочесть нижний и верхний пределы, часто на циферблате или другом видном месте указывают цену деления. Иногда на средствах измерений указывают класс точности. Очевидно, что при оценке метрологических характеристик ряда СИ можно обойтись без выполнения измерений (информацию получают с самого средства измерений, из нормативных документов, документации на средство измерений, либо из справочников).

При необходимости экспериментального определения некоторых метрологических характеристик выполняют измерения физических величин, причем основное внимание необходимо уделять не результатам измерений, а изучению метрологических характеристик СИ. Номинальную статическую характеристику прибора (рисунок 5.3) можно построить по результатам экспериментов или по данным информационных источников. При равномерной шкале СИ с аналоговым выходом его номинальная статическая характеристика имеет линейный характер, соответствующий пропорциональному преобразованию изменения измеряемой величины в выходной сигнал.



### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЛОЖНЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ



Рисунок 2.2 – СКП Основные метрологические характеристики средств

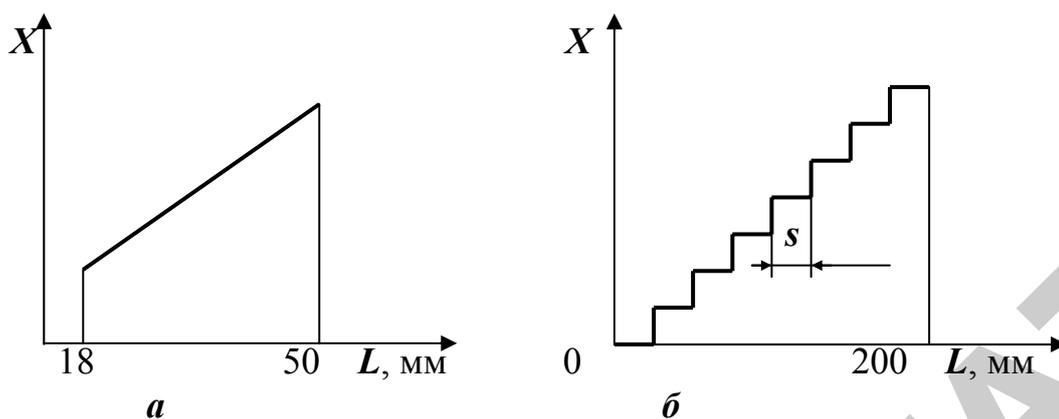


Рисунок 5.3 – Номинальные функции преобразования измерительных приборов: *a* – нутромер индикаторный (функция линейная, диапазон измерений прибора от 18 мм до 50 мм); *б* – длиномер вертикальный цифровой (характеристика дискретная, номинальная ступень квантования  $s = 0,001$  мм)

### Оформление работы и анализ результатов

Результаты работы оформляются с использованием таблиц (рекомендуемые формы таблиц 5.1...5.3 даны с примерами заполнения), необходимых схем, диаграмм и текстовых описаний. При отсутствии данных в клетке таблицы ставится прочерк, а при отсутствии оцениваемого элемента записывается "нет", "отсутствует" и т.д.

Таблица 5.1 – Метрологические характеристики мер

Наименование	Номинальное значение/значения	Погрешность $\Delta$	Примечание
Мера угловая концевая однозначная	30° 15'	30"	—
Мера угловая многозначная штриховая (транспортир)	0° ... 180°	—	Мера не является рабочим СИ и $\Delta$ не нормирована

Таблица 5.2 – Метрологические характеристики аналоговых приборов

Наименование прибора	Диапазон/поддиапазоны измерений	Диапазон /диапазоны показаний	Цена деления шкалы/шкал	Погрешность /погрешности
Оптикатор на стойке С-I	(0...160) мм	(-50...+50) мкм	0,5 мкм	0,2 мкм на 100 делений; 0,4 мкм на всем диапазоне

Таблица 5.3 – Метрологические характеристики цифровых приборов

Наименование прибора	Диапазон/ поддиапазоны измерений	Выходной код			Погрешность/ погрешности
		Вид кода	Число разрядов	Номинальная ступень квантования / цена единицы наименьшего разряда	
1 Длинномер вертикальный цифровой	(0...200) мм	Десятиричный	6	1 мкм/1 мкм	1,5 мкм

Описание методики исследований, применяемой для экспериментального определения метрологических характеристик, при необходимости должно включать характеристику методики выполнения измерений (вид и метод измерений, наименование применяемых средств измерений, их метрологические характеристики).

**Пример описания методики исследований** нестандартизованного пружинного динамометра.

Динамометр исследуют путем взвешивания мер массы (гирь) разряда и класса точности  $M_1$ . Номинальные значения гирь подбирают таким образом, чтобы определить нижний и верхний пределы измерений, а также три «промежуточные точки», равномерно расположенные по диапазону измерений. По результатам эксперимента определяют диапазон измерений, цену деления шкалы и строят градуировочную характеристику прибора.

Информацию, полученную путем осмотра средств измерений, анализа документации и проведения экспериментальных исследований, вносят в таблицы и представляют в виде графиков (рисунок 5.3).

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятию «мера физической величины».
2. Какие различают разновидности мер?
3. Что такое:
  - цена деления шкалы;
  - длина деления шкалы?
4. Что называется измерительным прибором?
5. Какие различают виды погрешностей?
6. Что такое «класс точности средства измерения»?

*Для заметок*

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

*Для заметок*

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

*Для заметок*

РЕПОЗИТОРИЙ БГАТУ

Учебное издание

# МЕТРОЛОГИЯ

Лабораторный практикум

Составители:

**Сашко** Константин Владимирович

**Цитович** Борис Васильевич

**Романюк** Николай Николаевич

**Вольский** Александр Леонидович

**Клавсуть** Петр Владимирович

Ответственный за выпуск *В.И. Основин*

Редактор *Н.А. Антипович*

Компьютерная верстка *М.А. Макрецкая, Ю.П. Каминская*

Подписано в печать 15.10.2009 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.

Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл. печ. л. 16,28. Уч.-изд. л. 6,36. Тираж 200 экз. Заказ 902.

Издатель и полиграфическое исполнение:

учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006.

ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.

Пр. Независимости, 99-2, 220023, Минск.