

## **1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗМЕРЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**

С различными измерениями человек сталкивается с момента своего рождения всю жизнь, осуществляя их самостоятельно или наблюдая за выполнением измерений. Достаточно вспомнить, как часто приходится использовать стеклянные термометры, линейки, весы и другие.

Всем известно понятие «мерить» («измерять»). Под ним в быту понимают определенную операцию, которая без труда выполняется с помощью названных приборов. В настоящее время простейшие измерения осуществляются уже учениками младших классов школы. Наряду с этим современные фундаментальные научные исследования требуют проведения сложнейших измерений, постановку и выполнение которых осуществляют целые научные организации, располагающие специалистами высшей квалификации. В то же время общей для указанных и всех других измерений является осуществляемая при каждом измерении экспериментальная операция, состоящая в сравнении измеряемой физической величины с одноименной ей величиной, принятой за единицу. Целью такого сравнения является определение количественной оценки (значения) измеряемой величины в виде определенного числа принятых для нее единиц. За внешней простотой указанной экспериментальной операции скрываются глубокие философские концепции, связанные с материалистическими представлениями о познаваемости явлений природы.

Измерения осуществляются с помощью специальных технических средств, различных по сложности и принципам действия. Указанные технические средства называют *измерительными устройствами, установками или системами*.

Совокупность технических средств, служащих для выполнения измерений, методов и приемов проведения измерений и интерпретации их результатов, принято определять понятием *измерительная техника*.

Исторически развитие измерительной техники неразрывно связано с развитием потребностей общества. XX век характеризуется ускоренным развитием науки и промышленного производства. Последнее немислимо без широчайшего применения самых разнообразных измерений и измерительных устройств.

Значение измерительной техники в современном мире могут характеризовать следующие данные. Затраты на измерительную технику в настоящее время составляют 10—15 % всех материальных затрат на общественное производство, а в таких отраслях промышленности, как перерабатывающая, нефтехимическая, химическая, радиоэлектронная, самолетостроительная и другие, ежедневно проводится более 20 миллиардов измерений. Выполнением измерений и связанных с ними операций контроля занимается более 3 млн. трудящихся. В настоящее время без измерений не может обойтись практически ни одна область деятельности человека.

Основной потребитель измерительной техники — промышленность. Здесь измерительная техника является неотъемлемой частью технологических процессов, так как используется для получения информации о многочисленных режимных параметрах, определяющих ход процессов. На использовании разнообразных и часто сложных измерительных устройств и установок базируется в промышленности контроль качества продукции и сырья.

Область измерительной техники, объединяющую измерительные устройства и методы измерений, используемые в технологических процессах, принято определять понятием *технологические измерения*.

Набор измеряемых параметров, включаемых в технологические измерения, весьма различен для различных отраслей промышленности и во многом зависит от специфики технологических процессов.

Все производства в зависимости от характера технологического процесса можно подразделить на две группы: производства с непрерывным и производства с дискретным (штучным) характером технологических процессов. К первой группе относятся производства таких отраслей промышленности, как нефтеперерабатывающая, газоперерабатывающая, нефтехимическая, химическая, металлургическая, теплоэнергетическая и другие, ко второй группе — машиностроение, приборостроение, радиоэлектронная, пищевая и другие. На производствах с непрерывным характером технологических процессов (к таким производствам относятся практически все, в которых используются химико-технологические процессы) измерения давления, температуры, расхода, уровня и количества вещества составляют более 86 % от общего числа всех измерений. Остающиеся 14 % измерений составляют измерения состава и физико-химических свойств вещества, а также электрических величин.

В производствах с непрерывными технологическими процессами, в том числе с химико-технологическими, над исходными веществами (сырьем и реагентами) осуществляют непрерывно во времени различные операции в аппаратах, соединенных технологическими линиями. Указанные операции направлены на изменение физико-химических свойств состава или состояния исходных веществ. В результате проведения процесса получают готовые продукты заданной номенклатуры и качества.

Современные производства нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической и других отраслей промышленности характеризуются сложностью, значительной мощностью технологических аппаратов и большим числом различных параметров, от которых зависит протекание химико-технологических процессов. Все это определяет тот факт, что проведение современных технологических процессов без их частичной или полной автоматизации невозможно.

*Автоматизацией производственного процесса* называют такую организацию этого процесса, при которой его технологические операции осуществляются автоматически с помощью специальных технических устройств без непосредственного участия человека. Автоматизация

технологического производства предполагает автоматический контроль технологических параметров, автоматическое регулирование и автоматическое (см. приложение 1) или автоматизированное управление, а также защиту процессов от аварийных.

Измерения проводятся с помощью специальных технических средств, различных по мощности и принципам действия. Они называются **измерительными устройствами, установками или системами.**

Совокупность технических средств, служащих для выполнения измерений, методов и приемов проведения измерений и интерпретации их результатов, определяются понятием **измерительная техника.**

Измерительная техника развивается в соответствии с потребностями общества. В последнее время наука и техника развиваются ускоренными темпами, а это развитие невозможно без широчайшего применения самых разнообразных измерений и измерительных устройств.

Затраты на измерительную технику в настоящее время составляют 10-15% всех затрат на материальное производство, а в самолетостроении, в радиоэлектронной отрасли, химической и других – 20-25%.

Основной потребитель измерительной техники – промышленность. Но такие отрасли как транспорт, торговля, наука и пр. используют большое количество измерительной техники (и таможня, и правоохранительные органы, и пр.).

Измерения давления, температуры, расхода и уровня принято называть **теплотехническими измерениями**; измерения состава и физико-механических свойств вещества – **физико-химическими измерениями**, а измерения электрических величин – **электрическими измерениями.**

В промышленности на долю теплотехнических измерений приходится около 86% от общего числа всех измерений. Но измерения механических величин требуют большого количества сложной измерительной техники, зачастую высокой квалификации операторов и, поэтому, занимают особое место в науке об измерениях - метрологии.

## **1.1 Общие сведения о механических величинах**

К механическим величинам можно отнести: линейные и угловые размеры и перемещения (расстояния), качественные характеристики оценки поверхностей их взаимного расположения (шероховатость, волнистость, отклонения формы и расположения); расстояния, координаты положения, толщина, различные параметры движения – перемещения, скорость, ускорения, частота колебания и вращения. Динамические величины: масса, сила, давление, деформация, моменты силы и инерции.

Теоретической основой измерительной техники является **метрология.**

## **1.2 Термины и определения**

**Метрология** (от греч. metron – мера и logos – учение, понятие) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Под **единством** измерения понимают такое состояние измерения, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставить результаты измерения, выполненных различными измерительными устройствами, в разных местах и в разное время. Например, определение размера при разных температурах инструментами из разных материалов. Единство обеспечивается введением поправок и понятий.

**Физическая величина** – свойство общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

**Размер физической величины** – количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина».

**Однородные физические величины** – это величины, которые можно сравнить по признаку «больше-меньше». Из однородных физических величин разного размера можно составить последовательный ряд, в котором размер каждой входящей в него величины будет больше размера всех предыдущих и меньше размера всех последующих величин. Такой ряд называется **последовательным натуральным рядом**.

**Единица физической величины** – это физическая величина, которой, по определению, приписано числовое значение, равное единице. Или другими словами, это единица, определяемая установленным числовым значением, которое принято за исходную (основную или производную) единицу (м – ед. длины и т.д.).

**Измерение** – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

**Объект измерения** – сложное явление или процесс, характеризующийся множеством отдельных физических величин, каждая из которых может быть измерена в отдельности, но в реальных условиях действует на измерительное устройство совместно со всеми остальными параметрами.

Физическая величина, которая выбрана для измерения, называется **измеряемой величиной**.

**Средство измерения** – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики.

**Результат измерения** – это значение физической величины, найденное путем ее измерения.

Различают истинное и действительное значение физической величины.

**Истинное значение физической величины** – значение физической величины, идеально отражающее качественное и количественное свойство объекта. В философском аспекте истинное значение всегда неизвестно, недостижимо, однако совершенствование измерений позволяет приближаться к истинному значению физической величины.

**Действительное значение физической величины** – найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для конкретной цели может быть использовано вместо него.

Чтобы иметь представление об измерении, нужно знать его основные характеристики (принцип измерений, метод измерения и погрешность (иногда точность) измерения).

**Принцип измерения** – совокупность физических явлений, на которых основано измерение (оптика, механика, электроника).

**Метод измерения** – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

**Погрешность (или ошибка) измерения** – отклонение результата измерения  $X_u$  от истинного значения измеряемой величины

$$\Delta = X - X_u.$$

Погрешность  $\Delta$ , выраженная в единицах измеряемой величины, называется **абсолютной** погрешностью измерения.

**Относительная погрешность измерения** – это отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины

$$\delta = \Delta / X_u.$$

**Точность измерения** – качество измерения, отражающее близость его результата к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность может быть выражена величиной, обратной относительной погрешности, взятой по модулю

$$\varepsilon = | X_u / \Delta |.$$

В реальности вместо  $X_u$  может быть использовано действительное значение физической величины  $X_d$ .

### **1.3 Классификация методов и средств измерений механических величин. Классификация измерений**

Измерения можно классифицировать по различным признакам (рисунок 1).

По **первому классификационному признаку** измерения подразделяют на **статистические**, когда измеряемая величина не меняется во времени в ходе измерений, и **динамические**, когда она меняется в процессе измерения.

По **второму признаку** относительно условно, но широко используется в измерительной технике.

По **третьему признаку** измерения делят на три класса:

1. **Измерения тах возможной точности**, достижимой на данном уровне, т.е. измерения связанные с созданием и воспроизведением эталонов, и измерения универсальных физических констант.

2. **Контрольно-поверочные измерения**, погрешности которых не должны превышать заданного значения. Они проводятся в основном государственными и ведомственными поверочными службами.

3. **Технические измерения**. Здесь погрешность определяется характеристиками средств измерений. Наиболее распространены и выполняются во всех отраслях техники и науки.



Рисунок 1

**Четвертым признаком** служит число измерений, выполняемых для получения результата. Существуют измерения с однократным и с многократными наблюдениями.

По **пятому признаку** различают измерения прямые, косвенные и совокупные, которые подразделяются на собственные, совокупные и совместные.

**Прямые** измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. Т.е. по показаниям средства применения отсчитывают значение измеряемой величины. Например, измерение длины линейкой, массы с помощью весов,  $t^{\circ}$  - термометром и т. д.

**Косвенными** называют измерения, при которых искомое значение измеряемой величины находят по известной зависимости между этой величиной и величинами, измеряемыми напрямую. Например: плотность

тела определяют по его массе и объему; электрические сопротивления – по падению  $U$  и силе тока  $I$ .

**Совокупными** называются измерения одновременно нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величины находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин или ряда других величин, связанных с измеряемыми.

**Совместными** называют проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними.

Кроме перечисленных признаков классификации измерений иногда используются и другие. Например: лабораторные и промышленные (по месту выполнения), непрерывные и периодические (в зависимости от процедуры выполнения во времени (например: сейсмограф - непрерывное)), абсолютные и относительные (от формы представления результатов) и т.д.

## 1.4 Методы измерений

Под методами измерений подразумеваются методы прямых измерений, т.к. они лежат в основе всех других.

Различают два метода измерений: **метод непосредственной оценки** и **метод сравнения с мерой** (мера - это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера).

Рассмотрим классификацию методов измерений (рисунок 2).

**Метод непосредственной оценки** (отсчета) – метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

**Метод сравнения с мерой** – измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Эти методы подразделяют на нулевой и дифференциальный.

**Нулевой метод** – метод сравнения с мерой, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (определяет электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравниванием).



Рисунок 2

**Дифференциальный метод** – метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной, воспроизводимой мерой (отклонение контролируемого диаметра детали с помощью рычажной скобы после предварительной настройки ее на “0” по блоку концевых мер).

И в нулевом, и в дифференциальном методе выделяются методы противопоставления, замещения и совпадения.

**Метод противопоставления** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой (“мера”), одновременно воздействуют на прибор сравнения и с его помощью устанавливается соотношение между этими величинами.

**Метод замещения** – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной (мерой).

**Метод совпадения** - метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

Для повышения точности этого метода иногда применяют метод отсчета по шкале и нониусу или верньеру (вспомогательной шкале) и метод по совпадению меток шкал (основной и вспомогательной).

#### **Нулевой метод противопоставления**

Этот метод наиболее точен, т.к. исключается или значительно уменьшается влияние погрешности средства измерений, но необходимо иметь большое число мер разных значений для составления сочетаний мер, равных измеряемому.

#### **Нулевой метод замещения**

**X** мера последовательно воздействует на измерительный прибор, т.е. на весы устанавливают груз **X** и делают отметку **A**, как результат взвешивания. При этом показания весов можно и не учитывать. Затем снимают груз и на чашку устанавливают набор гирь до совпадения стрелки с отметкой **A**. Используют для точных измерений, т.к. исключает влияние используемого средства на результат.

#### **Нулевой метод совпадения**

Состоит в совпадении сигналов двух периодических процессов, характеристика одного из которых измеряется, а другого используется в качестве меры.

#### **Дифференциальный метод измерений**

С помощью прибора измеряется разность между измеряемой величиной и мерой. Позволяет получить высокоточные результаты даже при использовании грубых средств измерения при наличии высокоточной меры, близкой по значению к измеряемой величине.

#### **Дифференциальный метод противопоставления**

Груз **X** уравнивается гирей (мера) и силой упругости пружины. По величине деформации пружины по шкале определяется разность воздействия груза и гири на нее. Масса груза – есть сумма масс гирь.

#### **Дифференциальный метод замещения**

Этот метод применяют, когда из имеющегося набора гирь невозможно составить сочетание, позволяющее добиться совпадения стрелки с меткой **A** от измеряемого груза. При установке подобранного набора гирь стрелка устанавливается на отметке **B**. Тогда к подобранному набору добавляются гири с наименьшей массой и стрелка передвигается к отметке **C**, т.е. замещение неполное. Для определения массы груза прибегают к методу интерполяции, когда по известной массе наименьшей гири и числу делений между отметками **B** и **C** рассчитывают значение массы груза и массы подобранного набора гирь, а затем определяют массу груза.

Сущность дифференциального метода в том, что совпадение сигналов двух периодических процессов является неполным (например, установка часов).

### **1.5 Средства измерений**

Технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства, называют **средствами измерения**.

Различают следующие средства измерений: меры, измерительные устройства, измерительные установки и измерительные системы.

**Мера** – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера (наборы концевых мер, гирь, конденсаторов и пр.).

**Измерительные устройства** – самый многочисленный вид средств измерений подразделяются на: измерительные приборы и измерительные преобразователи.

**Измерительный прибор** – это средство измерений, выдающее сигнал информации, доступный для восприятия наблюдателем (указатель по шкале, цифры на табло, перемещение по диаграмме). Разновидностью измерительных приборов являются измерительные инструменты (штангенциркуль, линейка и др.).

Измерительные приборы можно классифицировать по различным признакам:

- по методу измерения (прямого действия, сравнения);
- по способу представления величин (аналоговый, цифровой);
- по способу представления показаний (показывающий, регистрирующий и т.д.)

**Измерительный преобразователь** – средство измерения, вырабатывающее сигнал измерительной информации в форме, удобной для дальнейшего преобразования, передачи, обработки, хранения, но не воспринимаемый непосредственно наблюдателем (в виде сигналов – или линий тока, давления воздуха или жидкости и т.д.) классифицируются по методу измерения аналогично измерительным приборам.

**Измерительная установка** - совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, преобразователей) и вспомогательных устройств, вырабатывающих сигналы измерительной информации, воспринимаемые наблюдателем и расположенные в одном месте. Используется в научных исследованиях в лабораториях, в метрологических службах для определения метрологических свойств средств измерений.

**Измерительная система** - совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, преобразователей) и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, вырабатывающих сигнал измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передаче и использования АСУ.

Кроме классификации по виду есть еще классификация по принципу действия.

**Принципом действия** средства измерений называют физический принцип, положенный в основу построения средства измерения данного вида. Обычно принцип действия средства измерения заложено в названии: оптико-механические средства измерения, оптико-электронные, тензометрические, пьезоэлектрические и др.

По метрологическому назначению средства измерений различают **рабочие средства измерений** и **образцовые средства измерений**.

**Рабочие средства измерений** – т.е., которые применяются во всех областях деятельности человека.

**Образцовые средства измерений** - служащие для поверки по ним других средств измерений (как рабочих, так и образцовых меньшей точности).

## 1.6 Структура прибора для измерения механических величин

Измерительные приборы состоят из элементов, выполняющих определенную функцию. Например: преобразование сигнала по виду энергии (механические в электрические – индуктивные датчики), успокоение колебаний, представление информации (стрелка – шкала и т.д.)

Структурная схема прибора прямого преобразования имеет следующий вид (рисунок 3):

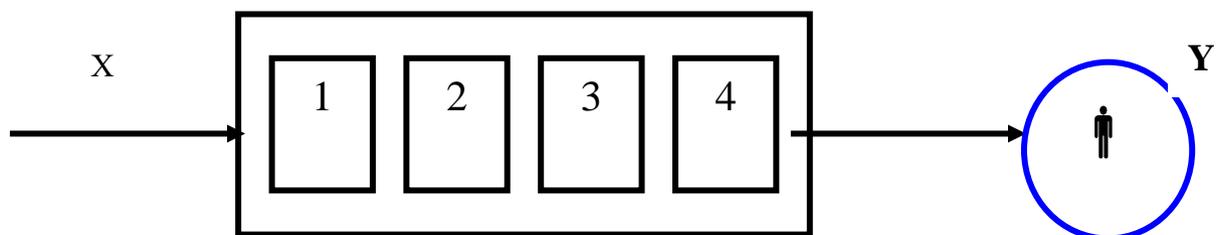


Рисунок 3

где

**X** – измеряемая величина;

**Y** – выходной сигнал (показание);

1 – чувствительный элемент;

2 – промежуточный преобразовательный элемент;

3 – измерительный механизм;

4 – отсчетное устройство.

### Основные части измерительных устройств (приборов):

-**преобразовательный элемент** – осуществляет одно из преобразований величины (датчики пьезоэлектрический, тензометрический, индуктивный);

-**измерительная цепь** – совокупность преобразовательных элементов, осуществляющая все преобразования сигнала измерительной информации (датчик, усилитель, регистрирующий прибор);

-**чувствительный элемент** – первый в цепи преобразовательный элемент, на который действует измеряемая величина (крыльчатка анемометра, измерительный наконечник оптиметра и т.д.);

-**измерительный механизм** – элементы конструкции, взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение;

-**отсчетное устройство** – часть конструкции средства измерений, предназначенное для отсчитывания значений измеряемой величины;

-**регистрирующее устройство** – регистрирует показания.

Отсчетное устройство представляет собой цифровое табло или, что чаще, шкалу с указателем.

## 1.7 Основные параметры средств измерения

Схема отсчетного устройства измерительного прибора представлена на рисунке 4 и ниже приведены ее составляющие.

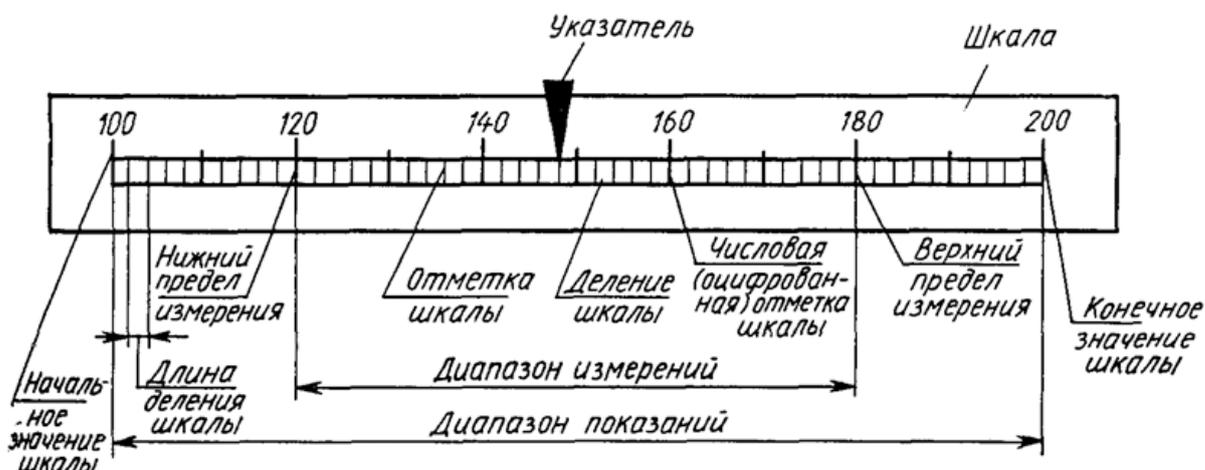


Рисунок 4 - Схема отсчетного устройства измерительного прибора

**Длина деления шкалы** – расстояние между осями двух соседних отметок шкалы.

**Цена деления шкалы** – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам (например, 0,01 мм для микрометра).

**Градуированная характеристика** – зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерения, составленная в виде таблицы, графика или формулы.

**Диапазон показаний** – область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным ее значениями.

**Диапазон измерения** – область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями (например, микрометр 0 – 25 мм, оптиметр 0 – 200 мм).

**Влияющая физическая величина** – не измеряемая данным средством, но влияющая на результат измерений (например,  $t^{\circ}\text{C}$ ).

**Нормальные условия применения** – при которых влияющие величины имеют нормальные значения:  $t = +20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  (ГОСТ 9249-59).

**Чувствительность измеряемого прибора** – отношение изменения сигнала на выходе к вызывающему его изменению измеряемой величины. От чувствительности зависит цена деления прибора. Для шкальных механических приборов чувствительность равна передаточному отношению механизма. Для контактных измерительных приборов важной характеристикой является **измерительное усилие**, создаваемое в месте контакта **измерительного наконечника** с поверхностью изделия и направленное по линии измерения, кроме измерительного наконечника имеются: **базовый наконечник**, расположенный в плоскости измерения; **опорный наконечник**, координирующий наконечник.

Любой измерительный прибор имеет погрешности, которые зависят от его конструкции, назначения, качества изготовления, от износа в процессе эксплуатации и др. факторов.

**Абсолютная погрешность измерительного прибора** – это разность между показаниями прибора и истинными значениями измеряемой величины. Т.к. истинное значение измеряемой величины неизвестно, то на практике вместо него используют точно определенное действительное значение величины, близкой к истинной (образцовые приборы).

**Относительная погрешность прибора** – это отношение абсолютной погрешности прибора (меры) к истинному значению измеряемой, воспроизводимой им величины.

Устанавливается также предел допускаемой погрешности прибора – это наибольшая (без учета знака) погрешность прибора, при которой он может быть признан годным к применению. Это же определение относится и к мерам. Например, для 100-миллиметровой концевой меры длины 1 класса пределы допускаемой погрешности равны  $\pm 0,5$  мкм. Кроме этого, в зависимости от условий применения измерительных устройств различают:

- Основную погрешность средств измерения, определяемую в нормальных условиях (когда влияющие величины имеют номинальные значения), указанных в стандартах или ТУ на приборе. Считается, что в этих условиях влияющие величины не изменяют характеристики прибора.

- Дополнительную погрешность показаний прибора, т.е. вызванную отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормативного значения. Иными словами, дополнительная погрешность – это часть погрешности, которая добавляется к основной при использовании прибора в рабочих условиях.

## **1.8 Выбор метода и средств измерений для конкретных условий применения**

На выбор методов и средств измерений, прежде всего, влияет такой фактор как точность получаемых результатов. Например, при определении массы груза, перевозимого автотранспортом, не используются весы с точностью до 1 кг, а при проведении микрохимических исследований точность прибора должна быть в пределах десятых долей.

**Выбор измерительных средств** зависит от принятых организационно-технических форм контроля, масштабов производства, конструктивных особенностей контролируемых деталей, точности их изготовления, экономических и др. факторов.

В зависимости от масштабов производства определяется тип измерительного средства, необходимая производительность контроля, уровень его механизации. В индивидуальных и мелкосерийных производствах продукция часто меняется, качество зависит в большой степени от квалификации исполнителей, и здесь необходим кооперационный

контроль, соответствующие универсальные средства измерений и контролеры высокой квалификации.

При серийном производстве номенклатура выпускаемых изделий не меняется долгое время. Работа ведется по отработанной технологии, и контроль осуществляется после ряда операций или после окончательного изготовления универсальными измерительными средствами, специализированными контрольными приспособлениями.

В массовом производстве качество обеспечивается отработанной технологией, специализированным оборудованием и др. Здесь для контроля применяют механизированные и автоматические контрольно-измерительные средства.

Конструктивная форма, число контролируемых параметров, габариты и масса влияют на выбор средства измерений. Например, детали больших габаритов и массы контролируют переносными средствами измерений.

При большом количестве контролируемых параметров применяются многомерные контрольно-измерительные устройства. Тонкостенные детали из мелких сплавов контролируются бесконтактным методом или на приборах с небольшой измерительной силой.

Иногда на выбор измерительного средства большое, часто решающее воздействие оказывают факторы внешней среды, условия производства, значимость результатов проводимых измерений, экономические факторы и пр. Например, для проведения измерений невысокой точности целесообразно использовать метод непосредственной оценки результатов, т.к. он наиболее быстрый и дешевый, позволяет получать результаты, достаточные для использования в производственных условиях и в повседневной жизни.

Основные принципы выбора средств измерений заключаются в следующем: ***точность измерительного средства должна быть достаточно высокой по сравнению с заданной точностью выполнения измеряемого параметра, трудоемкость измерений и их стоимость должна быть, возможно, более низкими, обеспечивающими максимальную производительность труда и экономичность.***