

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра металлорежущих станков и инструментов

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Методические указания к практическому занятию  
по дисциплинам **«Метрология, стандартизация и сертификация  
в горном деле»** для обучающихся специальности  
21.05.04 Горное дело, **«Метрология, стандартизация  
и сертификация»** для обучающихся направления подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность, **«Метрология и сертификация»**  
для обучающихся направления подготовки 27.03.02 Управление качеством  
всех форм обучения

Составитель Д. М. Дубинкин

Утверждены на заседании кафедры  
Протокол № 1 от 29.08.2018

Рекомендованы к изданию  
учебно-методической комиссией  
направления 27.03.02  
Протокол № 1 от 05.09.2018

Электронная копия находится  
в библиотеке КузГТУ

Кемерово 2018

## 1. ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОГО ЗАНЯТИЯ

Целью практического занятия является изучение физических величин, принципов и методов измерения физических величин, а также получение знаний о средствах измерений.

## 2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТРОЛОГИИ

**Метрология** – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрология изучает:

- методы и средства для учета продукции по следующим показателям: длине, массе, объему, расходу и мощности;
- измерения физических величин (ФВ) и технических параметров, а также свойств и состава веществ;
- измерения для контроля и регулирования технологических процессов.

Выделяют несколько основных направлений метрологии:

- общая теория измерений;
- системы единиц ФВ;
- методы и средства измерений;
- методы определения точности измерений;
- основы обеспечения единства измерений, а также основы единообразия средств измерения;
- эталоны и образцовые средства измерений;
- методы передачи размеров единиц от образцов средств измерения и от эталонов рабочим средствам измерения.

Различают следующие объекты метрологии:

- единицы ФВ;
- средства измерений (СИ);
- методы и методики измерений.

Современная метрология включает три составляющие (рис. 1): теоретическую (фундаментальную, научную), прикладную (практическую) и законодательную метрологию.

**Теоретическая метрология** занимается вопросами фунда-

ментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения.

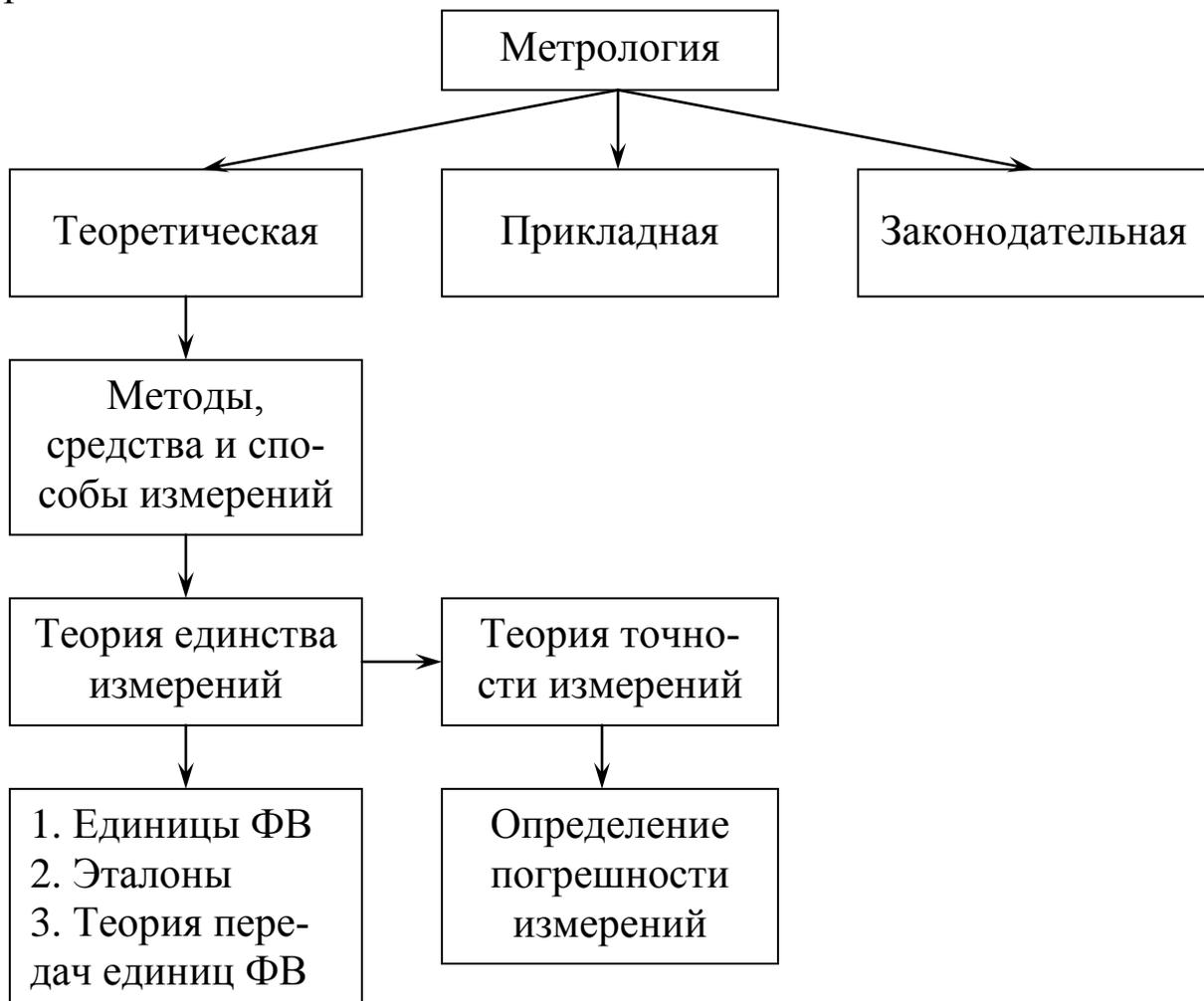


Рис. 1. Структурная схема метрологии

**Прикладная метрология** занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии и положений законодательной метрологии.

**Законодательная метрология** включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, имеющих обязательную силу и находящихся под контролем государства, по применению единиц ФВ, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства измерений в интересах общества.

**Объект измерения** – тело (физическая система, процесс, явление и т. д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми ФВ. Например, коленчатый вал, у которого изме-

ряют диаметр; технологический процесс, во время которого измеряют температуру; спутник Земли, координаты которого измеряются.

**Область измерений** – совокупность измерений ФВ, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой. Выделяют ряд областей измерений: механические, магнитные, акустические, измерения ионизирующих излучений и др.

## 2.1. Физические величины

**Физическая величина (ФВ)** – одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

**Величина** – это свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе для количественного описания различных свойств процессов и физических тел. Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Величины можно разделить на *реальные* и *идеальные*. Идеальные величины главным образом относятся к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий. Реальные величины делятся, в свою очередь, на *физические* и *нефизические*. ФВ в общем случае может быть определена как величина, свойственная материальным объектам (процессам, явлениям). К нефизическим следует отнести величины, присущие общественным (нефизическим) наукам – философии, социологии, экономике и т. д.

ФВ целесообразно разделить на *измеряемые* и *оцениваемые*. Измеряемые ФВ могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения. Возможность введения и использования измеряемых ФВ является важным отличительным признаком. ФВ, для которых по тем или иным причинам не может быть введена единица измерения, могут быть только оценены. Величины оценивают при помощи шкал.

Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены.

Применение краткой формы термина «величина» вместо термина «ФВ» допустимо только в том случае, когда из контекста ясно, что речь идет именно о ФВ, а не о математической.

Не следует применять термин «величина» для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства. Например, нельзя говорить или писать «величина массы», «величина площади», «величина силы тока» и т. д., т. к. эти характеристики (масса, площадь, сила тока) сами являются величинами. В этих случаях следует применять термины «размер величины» или «значение величины».

**Размер ФВ** – количественная определенность ФВ, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

**Значение ФВ** – выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Значение величины не следует смешивать с размером. Размер ФВ данного объекта существует реально и не зависимо от того, знаем мы его или нет, выражаем его в каких-либо единицах или нет. Значение же ФВ появляется только после того, как размер величины данного объекта выражен с помощью какой-либо единицы.

**Числовое значение ФВ** – отвлеченное число, входящее в значение величины.

**Истинное значение ФВ** – значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ.

**Действительное значение ФВ** – значение ФВ, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. За действительное значение ФВ обычно принимают среднее арифметическое из ряда значений величины, полученных при равноточных измерениях, или арифметическое среднее взвешенное при неравноточных измерениях.

**Физический параметр** – ФВ, рассматриваемая при измерении данной ФВ как вспомогательная. При оценивании качества продукции нередко применяют выражение измеряемые парамет-

ры. Здесь под параметрами, как правило, подразумевают ФВ, обычно наилучшим образом отражающие качество изделий или процессов.

**Влияющая ФВ** – ФВ, оказывающая влияние на размер измеряемой величины, измерение которой не предусмотрено данным средством измерений (СИ), но оказывающая влияние на результаты измерений ФВ, для которой предназначено СИ.

**Система ФВ** – совокупность ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин.

В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные. Так система величин механики, в которой в качестве основных приняты длина ( $L$ ), масса ( $M$ ) и время ( $T$ ), называется системой  $LMT$ .

Система основных величин, соответствующая Международной системе единиц (SI), обозначается символами  $LMTI\Theta NJ$ , обозначающими соответственно символы основных величин – длины ( $L$ ), массы ( $M$ ), времени ( $T$ ), силы электрического тока ( $I$ ), температуры ( $\Theta$ ), количества вещества ( $N$ ) и силы света ( $J$ ).

**Основная ФВ** – ФВ, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы.

**Производная ФВ** – ФВ, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы.

**Размерность ФВ** – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных ФВ в различных степенях и отражающее связь данной ФВ с ФВ, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

**Показатель размерности ФВ** – показатель степени, в которую возведена размерность основной ФВ, входящая в размерность производной ФВ. Показатель размерности основной ФВ в отношении самой себя равен единице.

**Размерная ФВ** – ФВ, в размерности которой хотя бы одна из основных ФВ возведена в степень, не равную нулю. Например, сила ( $F$ ) в системе  $LMTI\Theta NJ$  является размерной величиной.

**Безразмерная ФВ** – ФВ, в размерность, которой основные ФВ входят в степени равной нулю. ФВ в одной системе величин может быть размерной, а в другой системе безразмерной. Например, электрическая постоянная в электростатической системе является безразмерной величиной, а в системе величин СИ имеет размерность.

**Уравнение связи между величинами** – уравнение, отражающее связь между величинами, обусловленную законами природы, в котором под буквенными символами понимают ФВ. Уравнение связи между величинами в конкретной измерительной задаче часто называют уравнением измерений.

**Род ФВ** – качественная определенность ФВ. Например: длина и диаметр детали – однородные величины; длина и масса детали – неоднородные величины.

**Аддитивная ФВ** – ФВ, разные значения которой могут быть суммированы, умножены на числовой коэффициент, разделены друг на друга. К аддитивным величинам относятся длина, масса, сила, давление, время, скорость и др.

**Неаддитивная ФВ** – ФВ, для которой суммирование, умножение на числовой коэффициент или деление друг на друга ее значений не имеет физического смысла (например, термодинамическая температура, твердость материала).

## 2.2. Единицы физических величин

**Единица измерения ФВ** – ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное 1, и применяемая для количественного выражения однородных с ней ФВ.

На практике широко применяется понятие узаконенные единицы – система единиц и (или) отдельные единицы, установленные для применения в стране в соответствии с законодательными актами.

**Система единиц ФВ** – совокупность основных и производных единиц, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин.

**Основная единица ФВ** – единица основной ФВ в данной системе единиц.

**Производная единица системы единиц ФВ** – единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными. Например: 1 м / с – единица скорости, образованная из основных единиц СИ – метра и секунды; 1 Н – единица силы, образованная из основных единиц СИ – килограмма, метра и секунды.

ГОСТ 8.417 устанавливает семь основных ФВ с помощью которых создается все многообразие производных ФВ и обеспечивается описание любых свойств физических объектов и явлений.

### Важнейшие единицы международной системы (SI)

Величина		Единица		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
<b>Основные единицы</b>				
Длина	$L$	метр	$m$	м
Масса	$M$	килограмм	$kg$	кг
Время	$T$	секунда	$s$	с
Сила электрического тока	$I$	ампер	$A$	А
Термодинамическая температура	$\Theta$	кельвин	К	К
Количество вещества	$N$	моль	$mol$	моль
Сила света	$J$	кандела	$cd$	кд
<b>Некоторые производные единицы</b>				
Площадь	$L^2$	квадратный метр	$m^2$	м <sup>2</sup>
Объем	$L^3$	кубический метр	$m^3$	м <sup>3</sup>
Скорость	$L T^{-1}$	метр на секунду	$m / s$	м / с

*Метр* – длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 с.

*Килограмм* – единица массы, равная массе международного прототипа килограмма.

*Секунда* – время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133, при отсутствии возмущения со стороны внешних полей.

*Ампер* – сила не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

*Кельвин* – единица термодинамической температуры, равная  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.

*Моль* – количество вещества, содержащее столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде 12 массой 0,012 кг. Структурные элементы могут быть атомами, молекулами, ионами и другими частицами.

*Кандела* – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.

Существуют следующие производные единицы системы единиц ФВ:

– образованные из основных единиц (например, единица площади – квадратный метр);

– имеющие специальные наименования и обозначения (например, единица частоты – герц).

При построении системы ФВ подбирается такая последовательность определяющих уравнений, в которой каждое последующее уравнение содержит только одну новую производную величину, что позволяет выразить эту величину через совокупность ранее определенных величин, а, в конечном счете, через основные величины системы величин.

**Системная единица ФВ** – единица ФВ, входящая в принятую систему единиц. Основные, производные, кратные и дольные

единицы SI являются системными. Например: 1 м; 1 м/с; 1 км; 1 нм.

**Внесистемная единица ФВ** – единица ФВ, не входящая в принятую систему единиц (например, миллиметр ртутного столба – мм рт. ст., бар – bar). Внесистемные единицы (по отношению к единицам SI) разделяются на четыре группы:

- допускаемые наравне с единицами SI;
- допускаемые к применению в специальных областях;
- временно допускаемые;
- устаревшие (недопускаемые).

**Когерентная производная единица ФВ** – производная единица ФВ, связанная с другими единицами системы единиц уравнением, в котором числовой коэффициент принят равным 1.

**Когерентная система единиц ФВ** – система единиц ФВ, состоящая из основных единиц и когерентных производных единиц. Кратные и дольные единицы от системных единиц не входят в когерентную систему.

**Кратная единица ФВ** – единица ФВ, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы. Например: единица длины 1 км =  $10^3$  м, т. е. кратная метру; единица частоты 1 МГц (мегагерц) =  $10^6$  Гц, кратная герцу; единица активности радионуклидов 1 МБк (мегабеккерель) =  $10^6$  Бк, кратная беккерелю.

**Дольная единица ФВ** – единица ФВ, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы. Например: единица длины 1 нм (нанометр) =  $10^{-9}$  м; единица времени 1 мкс =  $10^{-6}$  с являются дольными соответственно от метра и секунды.

### 2.3. Шкалы измерений: типы, принципы построения

На практике необходимо проводить измерения различных ФВ, характеризующих свойства веществ, тел, явлений и процессов. Некоторые свойства проявляются только количественно, другие – качественно. Количественные или качественные проявления любого свойства отражаются множествами, которые образуют шкалы измерения этих свойств. Шкала измерений количественного свойства является шкалой ФВ.

**Шкала ФВ** – упорядоченная последовательность значений ФВ, принятая на основании результатов точных измерений.

В соответствии с логической структурой проявления свойств шкалы измерений делятся на пять основных типов: наименований, порядка, интервалов, отношений и абсолютные шкалы.

**Шкала наименований (шкала классификации)** основана на приписывании объекту цифр (знаков), играющих роль простых имен: это приписывание служит для нумерации предметов только с целью их идентификации или для нумерации классов, причем, такой нумерации, что каждому из элементов соответствующего класса приписывается одна и та же цифра. Такое приписывание цифр выполняет на практике ту же функцию, что и наименование. Поэтому с цифрами, используемыми только как специфические имена, нельзя производить никаких арифметических действий. Поскольку данные шкалы характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствует понятие нуля, «больше» или «меньше» и единицы измерения. Примером шкал наименований являются атласы цветов, предназначенные для идентификации цвета.

**Шкала порядка (шкала рангов)** предполагает упорядочение объектов относительно какого-то определенного свойства, то есть расположение их в порядке убывания или возрастания данного свойства. Полученный при этом упорядоченный ряд называют ранжированным рядом, а саму процедуру ранжированием.

По шкале порядка сравниваются между собой однородные объекты, у которых значения интересующих свойств неизвестны. Поэтому ранжированный ряд может дать ответ на вопросы типа – «что больше (меньше)» или, «что лучше (хуже)». Более подробную информацию – насколько больше или меньше, во сколько раз лучше или хуже, шкала порядка дать не может.

Результаты оценивания по шкале порядка не могут подвергаться никаким арифметическим действиям. Однако небольшое, усовершенствование шкалы порядка позволило применить ее для числового оценивания величин в тех случаях, когда отсутствует единица величины. Для этого, расположив объекты в порядке возрастания (убывания) того или иного свойства, некоторые точки ранжированного ряда фиксируют в качестве отправных (ре-

перных). Совокупность реперных точек образует некую «лестницу» – шкалу возможных проявлений соответствующего свойства. Реперным точкам могут быть поставлены в соответствие цифры, называемые баллами и, таким образом, появляется возможность оценивания, «измерения» данного свойства в баллах, по натуральной шкале.

Основным недостатком натуральных шкал является полное отсутствие уверенности в том, что интервалы между выбранными реперными точками являются равновеликими. Введенные числовые обозначения не могут быть использованы для выполнения математических операций.

Определение значения величин при помощи шкал порядка относится к операции оценивания, а не измерения, ввиду отсутствия единицы измерения. Оценивание по шкалам порядка является неоднозначным и весьма условным.

**Шкала интервалов (шкала разностей).** Эти шкалы являются дальнейшим развитием шкал порядка. Для их построения вначале устанавливают единицу ФВ. На шкале интервалов откладывается разность значений ФВ, сами же значения остаются неизвестными. Данная шкала состоит из одинаковых интервалов и произвольно выбрано начало – нулевая точка. Примерами шкал интервалов являются шкалы температур: Цельсия, Фаренгейта, Реомюра.

На температурной шкале Цельсия за начало отсчета разности температур принята температура таяния льда. С ней сравниваются все другие температуры. Для удобства пользования шкалой интервал между температурой таяния льда и температурой кипения воды разделен на 100 равных интервалов – градусов. Шкала Цельсия распространяется как в сторону положительных, так и отрицательных интервалов. Когда говорят, что температура воздуха равна 25 °С, это означает, что она на 25 градусов выше температуры, принятой за нулевую отметку шкалы (выше нуля).

На температурной шкале Фаренгейта тот же интервал разбит на 180 градусов. Следовательно, градус Фаренгейта по размеру меньше, чем градус Цельсия. Кроме того, начало отсчета интервалов на шкале сдвинуто на 32 градуса в сторону низких температур.

Деление шкалы интервалов на равные части – градации – устанавливает единицу ФВ, что позволяет не только выразить результат измерения в числовой мере, но и оценить погрешность измерения.

Результаты измерений по шкале интервалов можно складывать друг с другом и вычитать друг из друга, то есть определять, на сколько одно значение ФВ больше или меньше другого.

**Шкала отношений** описывает свойства эмпирических объектов. Она представляет собой интервальную шкалу с естественным началом. Если, например, за начало температурной шкалы принять абсолютный нуль (более низкой температуры в природе быть не может), то по такой шкале уже можно отсчитывать абсолютное значение температуры и определять не только, на сколько температура одного тела больше температуры другого, но и во сколько раз больше или меньше. Примером шкалы отношений является: шкала термодинамической температуры и шкала масс.

В общем случае, при сравнении между собой двух ФВ, расположенные в порядке возрастания или убывания, образуют шкалу отношений. Она охватывает интервал значений от 0 до  $\infty$  и, в отличие от шкалы интервалов, не содержит отрицательных значений.

Шкала отношений является самой совершенной, наиболее информативной. Результаты измерений по шкале отношений можно складывать между собой, вычитать, перемножать или делить.

**Абсолютные шкалы.** Под абсолютными шкалами понимают шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие естественные однозначно определенные единицы измерения и не зависящие от принятой системы единиц измерений. Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и т. д.

В случаях когда уровень познания явления не позволяет точно установить отношения, существующие между величинами данной характеристики, либо применение шкалы удобно и достаточно для практики, используют условные (эмпирические) шкалы порядка.

**Условная шкала** – это шкала ФВ, исходные значения которой выражены в условных единицах. Например, шкала вязкости

Энглера, 12-балльная шкала Бофорта для измерения силы морского ветра.

Нередко условные шкалы называют неметрическими шкалами. Шкала твердости минералов Мооса, шкалы твердости металлов (Бринелля, Виккерса, Роквелла и др.).

Широкое распространение получили шкалы порядка с нанесенными на них реперными точками. К таким шкалам, например, относится шкала Мооса для определения твердости минералов, которая содержит 10 опорных (реперных) минералов с различными условными числами твердости: тальк – 1, гипс – 2, кальций – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6, кварц – 7, топаз – 8, корунд – 9, алмаз – 10. Отнесение минерала к той или иной градации твердости осуществляется на основании эксперимента, который состоит в том, что испытуемый материал царапается опорным. Если после царапанья испытуемого минерала кварцем (7), а после ортоклаза (6) – не остается, то твердость испытуемого материала составляет более 6, но менее 7. Более точного ответа в этом случае дать невозможно.

В условных шкалах одинаковым интервалам между размерами данной величины не соответствуют одинаковые размерности чисел, отображающих размеры. С помощью этих чисел можно найти вероятности, моды, медианы, квантили, однако их нельзя использовать для суммирования, умножения и других математических операций.

## **2.4. Виды и методы измерения физических величин**

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

От термина «измерение» происходит термин «измерять», которым широко пользуются на практике. Также применяются такие термины, как «мерить», «обмерять», «замерять», «промерять», не вписывающиеся в систему метрологических терминов, их применять не следует. Не следует также применять такие выражения, как «измерение значения» (например, мгновенного зна-

чения напряжения или его среднего квадратического значения), т. к. значение величины – это уже результат измерений.

В тех случаях, когда невозможно выполнить измерение (не выделена величина как физическая и не определена единица измерений этой величины) практикуется оценивание таких величин по условным шкалам.

В простейшем случае, прикладывая линейку с делениями к какой-либо детали, по сути сравнивают ее размер с единицей, хранимой линейкой, и, произведя отсчет, получают значение величины (длины, высоты, толщины и других параметров детали). С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, преобразованной в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора, и проводят отсчет.

**Вид измерений** (рис. 2) – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин. Например, в области электрических и магнитных измерений могут быть выделены как виды измерений: измерения электрического сопротивления, электродвижущей силы, электрического напряжения, магнитной индукции и др.

**Подвид измерений** – часть вида измерений, выделяющаяся особенностями измерений однородной величины (по диапазону, по размеру величины и др.). Например, при измерении длины выделяют измерения больших длин (в десятках, сотнях, тысячах километров) или измерения сверхмалых длин – толщин пленок.

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

Различают следующие методы прямых измерений: метод непосредственной оценки; метод сравнения с мерой; нулевой метод; метод измерений замещением; дифференциальный метод; метод противопоставления; метод совпадений.

**Принцип измерений** – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений. Например: применение эффекта Джозефсона для измерения электрического напряжения; применение эффекта Пельтье для измерения поглощенной энергии ионизирующих излучений; применение эффекта Доплера для из-

мерения скорости; использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием.



Рис. 2. Виды измерений

**Равноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью. Прежде чем обрабатывать ряд измерений, необходимо убедиться в том, что все измерения этого ряда являются равноточными.

**Неравноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности СИ и (или) в разных условиях. Ряд неравноточных измерений обрабатывают с учетом веса отдельных измерений, входящих в ряд.

**Однократное измерение** – измерение, выполненное один раз. Например, измерение конкретного момента времени по часам обычно производится один раз.

**Многократное измерение** – измерение ФВ одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда (не менее 4) однократных измерений.

**Статическое измерение** – измерение ФВ, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна. Например: измерение длины детали при нормальной температуре; измерение размеров земельного участка.

**Динамическое измерение** – измерение изменяющейся по размеру ФВ. Динамические измерения связаны с ФВ, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения во времени. Это подтверждает применение более чувствительных СИ, которые дают возможность обнаруживать изменение величин, ранее считавшихся постоянными, поэтому разделение измерений на динамические и статические является условным.

**Абсолютное измерение** – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Понятие абсолютное измерение применяется как противоположное понятию относительное измерение и рассматривается как измерение величины в ее единицах. Например, измерение силы  $F = m \cdot g$  основано на измерении основной величины – массы  $m$  и использовании физической постоянной  $g$  (в точке измерения массы).

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

**Прямое измерение** – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно, т. е. состоящие в непосредственном сравнении ФВ с ее мерой. Например, измере-

ние длины детали микрометром; измерение силы тока амперметром; измерение массы на весах.

Термин прямое измерение возник как противоположный термину косвенное измерение. Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей. В этом случае лучше применять термин прямой метод измерений.

**Косвенное измерение** – определение искомого значения ФВ на основании результатов прямых измерений других ФВ, функционально связанных с искомой величиной. Во многих случаях вместо термина косвенное измерение применяют термин косвенный метод измерений. Например, определение плотности  $D$  тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы  $m$ , высоты  $h$  и диаметра цилиндра  $d$ , связанных с плотностью уравнением

$$D = \frac{m}{0,25\pi d^2 h} \quad (1)$$

**Совокупные измерения** – производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. Например, значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

**Совместные измерения** – производимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними.

**Измерения максимально возможной точности**, достижимой при существующем уровне техники. К ним относятся в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц ФВ, и измерения физических констант, прежде всего универсальных (например, абсолютного значения ускорения свободного падения и др.).

**Контрольно-поверочные измерения**, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некото-

рое заданное значение. К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государственного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями с погрешностью заранее заданного значения.

**Технические измерения**, в которых погрешность результата определяется характеристиками СИ. Например, измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, на щитах распределительных устройств электрических станций и др.

**Метод непосредственной оценки** – метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по показывающему СИ. Например, измерение давления пружинным манометром, массы – на весах.

**Метод сравнения с мерой** – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например: измерение массы на рычажных весах с уравновешиванием гирями (мерами массы с известным значением); измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента.

**Нулевой метод** – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием.

**Метод измерений замещением** – 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).

**Дифференциальный метод** – 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. Метод позволяет получить результат высокой точности при использовании относительно грубых СИ. Например, измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с эталонной мерой на компараторе.

**Метод противопоставления** – метод сравнения, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения. Например, определение массы на равноплечих весах с помещением измеряемой массы и уравнивающих ее гирь на двух чашках весов.

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

**Контактный метод измерений** – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения. Например: измерение диаметра вала измерительной скобой или контроль проходным и непроходным калибрами; измерение температуры тела термометром.

**Бесконтактный метод измерений** – метод измерений, основанный на том, что чувствительный элемент СИ не приводится в контакт с объектом измерения. Например: измерение температуры в доменной печи пирометром; измерение расстояния до объекта радиолокатором.

**Методика выполнения измерений** – установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. Обычно методика измерений регламентируется каким-либо нормативно-техническим документом.

**Нормальные условия измерений** – условия измерения, характеризующие совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа или по их поверке (калибровке).

**Рабочие условия измерений** – условия измерений, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей. Например: для измерительного конденсатора нормируют дополнительную погрешность на отклонение температуры окружающего воздуха от нормальной; для амперметра нормируют изменение показаний, вызванное отклонением частоты переменного тока от 50 Гц (50 Гц в данном случае принимают за

нормальное значение частоты).

**Пределы условия измерений** – условия измерений, характеризующиеся экстремальными значениями измеряемой и влияющих величин, которые СИ может выдержать без разрушений его метрологических характеристик.

## 2.5. Средства измерений

**Средства измерительной техники** – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. К средствам измерительной техники относят СИ и их совокупности (измерительные системы, измерительные установки), измерительные принадлежности, измерительные устройства.

**Средство измерений (СИ)** – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящие и (или) хранящие ЕФВ, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Существует несколько классификационных признаков, что объясняется многообразием СИ и их использованием в различных областях науки и техники.

1. По роли в системе обеспечения единства измерений СИ делятся на:

- метрологические, предназначенные для воспроизведения единицы и (или) ее хранения или передачи размера единицы РСИ;

- рабочие, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Подавляющее большинство используемых на практике СИ принадлежит ко второй группе. Метрологические СИ весьма немногочисленны. Они разрабатываются, производятся и эксплуатируются в специализированных научно-исследовательских центрах.

2. По уровню автоматизации все СИ делятся на три группы:

- неавтоматические;

- автоматизированные, производящие в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции;

– автоматические, производящие в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой их результатов, регистрацией, передачей данных или выработкой управляющих сигналов.

В настоящее время все большее распространение получают автоматизированные и автоматические СИ, что связано с широким использованием в них электронной и микропроцессорной техники.

3. По уровню стандартизации СИ подразделяются на:

- стандартизованные, изготовленные в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта;
- нестандартизованные (уникальные), предназначенные для решения специальной измерительной задачи.

В основном СИ являются стандартизованными. Они серийно выпускаются промышленными предприятиями и в обязательном порядке подвергаются государственным испытаниям. Не стандартизованные СИ разрабатываются специализированными научно-исследовательскими организациями и выпускаются единичными экземплярами. Они не проходят государственных испытаний, их характеристики определяются при метрологической аттестации.

4. По отношению к измеряемой ФВ СИ делятся на:

- основные – СИ той ФВ, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;
- вспомогательные – СИ той ФВ, влияние которой на основное СИ или объект измерения необходимо учесть для получения результатов измерения требуемой точности.

**Рабочее средство измерений (РСИ)** – СИ, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим СИ.

**Основное средство измерений** – СИ той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей.

**Вспомогательное средство измерений** – СИ той ФВ, влияние которой на основное СИ или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности.

ности. Например, термометр для измерения температуры газа в процессе измерений объемного расхода этого газа.

**Стандартизованное средство измерений** – СИ, изготовленное и применяемое в соответствии с требованиями государственного или отраслевого стандарта. Обычно стандартизованные СИ подвергают испытаниям и вносят в Госреестр.

**Нестандартизованное средство измерений** – СИ, стандартизация требований к которому признана нецелесообразной.

**Автоматическое средство измерений** – СИ, производящее без непосредственного участия человека измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала.

Автоматическое СИ, встроенное в автоматическую технологическую линию, нередко называют измерительный автомат или контрольный автомат. Применяют также понятие измерительные работы, под которыми нередко понимают разновидность контрольно-измерительных машин, отличающихся хорошими манипуляционными свойствами, высокими скоростями перемещений и измерений.

**Автоматизированное средство измерений** – СИ, производящее в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций. Например: барограф (измерение и регистрация результатов); электрический счетчик электроэнергии (измерение данных нарастающим итогом).

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

Различают следующие разновидности мер:

– однозначная мера – мера, воспроизводящая ФВ одного размера (например, гиря 1 кг);

– многозначная мера – мера, воспроизводящая ФВ разных размеров (например, штриховая мера длины);

– набор мер – комплект мер одного размера одной и той же ФВ, 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 «меры» нередко выступают вещества или материалы с приписанными им условными значениями величин. Так, для шкалы Мооса мерами твердости являются минералы различной твердости. Приписанные им значения твердости образуют ряд реперных точек условной шкалы.

**Измерительный прибор** – СИ, предназначенное для получения значений измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

По способу индикации значений измеряемой величины измерительные приборы разделяют на показывающие и регистрирующие. По действию измерительные приборы разделяют на интегрирующие и суммирующие. Различают также приборы прямого действия и приборы сравнения, аналоговые и цифровые приборы, самопишущие и печатающие приборы.

**Измерительная установка** – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких ФВ и расположенная в одном месте.

Измерительную установку, применяемую для поверки, называют поверочной установкой. Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют эталонной установкой. Некоторые большие измерительные установки называют измерительными машинами.

**Измерительная система** – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта и т. п. с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на измерительные информационные, измерительные контролирующие, измерительные управляющие системы и др. Изме-

рительную систему, перестраиваемую в зависимости от изменения измерительной задачи, называют гибкой измерительной системой.

Измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде ФВ в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов. Радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга.

**Измерительно-вычислительный комплекс** – функционально объединенная совокупность СИ, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

**Измерительный преобразователь** – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Измерительный преобразователь или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы и др.), или применяется вместе с каким-либо СИ. Например: термопара в термоэлектрическом термометре; измерительный трансформатор тока; электропневматический преобразователь.

По характеру преобразования различают аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи. По месту в измерительной цепи различают первичные и промежуточные преобразователи. Выделяют также масштабные и передающие преобразователи.

**Первичный измерительный преобразователь** – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая ФВ, то есть первый преобразователь в измерительной цепи измерительного прибора (установки, системы).

В одном СИ может быть несколько первичных преобразователей. Например: термопара в цепи электрического термометра; ряд первичных преобразователей измерительной контролирующей

щей системы, расположенных в разных точках контролируемой среды.

**Датчик** – конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы.

Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от СИ, принимающего его сигналы. Например, датчики запущенного метеорологического радиозонда передают измерительную информацию о температуре, давлении, влажности и других параметрах атмосферы.

В области измерений ионизирующих излучений применяют термин детектор.

**Средство сравнения** – техническое средство или специально создаваемая среда, посредством которых возможно выполнять сравнения друг с другом мер однородных величин или показания измерительных приборов. Иногда техническое средство снабжается СИ, обеспечивающим функцию сравнения.

Рычажные весы, на одну чашку которых устанавливается эталонная гиря, а на другую поверяемая, – есть средство их сравнения. Температурное поле, создаваемое термостатом для сравнения показаний термометров, является необходимой средой. Давление среды, создаваемое компрессором, может быть измерено поверяемым и эталонным манометрами одновременно. На основании показаний эталонного прибора градуируется поверяемый прибор.

**Компаратор** – средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин. Например: рычажные весы; компаратор для сличения нормальных элементов.

**Измерительная цепь** – совокупность элементов СИ, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной ФВ от входа до выхода. Измерительную цепь измерительной системы называют измерительным каналом.

**Измерительное устройство** – часть измерительного прибора (установки или системы), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

Измерительным устройством может быть названо регистрирующее устройство измерительного прибора (включающее ленту для записи, лентопротяжный механизм и пишущий элемент), измерительный преобразователь.

**Индикатор** – техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо ФВ или превышения уровня ее порогового значения.

Индикатором наличия (или отсутствия) измерительного сигнала может служить осциллограф. Индикатор близости к нулю сигнала называют нулевым или нуль-индикатором. При химических реакциях в качестве индикаторов применяют лакмусовую бумагу и какие-либо вещества. В области измерений ионизирующих излучений индикатор часто дает световой и (или) звуковой сигнал о превышении уровнем радиации его порогового значения.

**Чувствительный элемент средства измерений** – часть измерительного преобразователя в измерительной цепи, воспринимающая входной измерительный сигнал.

**Измерительный механизм средства измерений** – совокупность элементов СИ, которые обеспечивают необходимое перемещение указателя (стрелки, светового пятна и т. д.). Например, измерительный механизм милливольтметра состоит из постоянного магнита и подвижной рамки.

**Показывающее устройство средства измерений** – совокупность элементов СИ, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой величины или связанных с ней величин.

**Указатель средства измерений** – часть показывающего устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показание СИ. Например, у барометра-анероида указателем является подвижная стрелка, а у ртутного термометра – поверхность столбика жидкости.

**Регистрирующее устройство средства измерений** – совокупность элементов СИ, которые регистрируют значение измеряемой или связанной с ней величины.

**Шкала средства измерений** – часть показывающего устройства СИ, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией. Отметки на шкалах могут быть нанесены равномерно или неравномерно. В связи с этим шкалы называют равномерными или неравномерными.

**Отметка шкалы** – знак на шкале СИ (черточка, зубец, точка и др.), соответствующий некоторому значению ФВ

**Числовая отметка шкалы** – отметка шкалы СИ, у которой проставлено число.

**Деление шкалы** – промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений.

**Цена деления шкалы** – разность значения величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы СИ.

**Длина шкалы** – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы СИ и ограниченной начальной и конечной отметками. Линия может быть реальной или воображаемой, кривой или прямой. Длина шкалы выражается в единицах длины независимо от единиц, указанных на шкале.

**Начальное значение шкалы** – наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале СИ. Например, для медицинского термометра начальным значением шкалы является 34,3 °С.

**Конечное значение шкалы** – наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале СИ. Например, для медицинского термометра конечным значением шкалы является 42 °С.

**Табло цифрового измерительного прибора** – показывающее устройство цифрового измерительного прибора.

## **2.6. Метрологические характеристики средств измерений**

Метрологическая характеристика средства измерений (МХ СИ) – характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерений и на его погрешность. Для каждого типа СИ устанавливают свои МХ.

МХ, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют нормируемыми МХ, а определяемые экспериментально – действительными МХ.

**Номинальное значение меры** – значение величины, указанное на мере или приписанное ей. Например: резисторы с номинальным значением 1 Ом; гиря с номинальным значением 1 кг. Нередко номинальное значение указывают на мере.

**Действительное значение меры** – значение величины, приписанное мере на основании ее калибровки или поверки.

В состав государственного эталона единицы массы входит платиноиридиевая гиря с номинальным значением массы 1 кг, тогда как действительное значение ее массы составляет 1,000000087 кг, полученное в результате международных сличений с международным эталоном килограмма, хранящимся в Международном Бюро Мер и Весов (МБМВ) (в данном случае это калибровка).

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

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность СИ одного типа, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью каждого из этих средств. Это важно при выборе СИ в зависимости от заданной точности измерений.

Класс точности СИ конкретного типа устанавливают в стандартах технических требований (условий) или в других нормативных документах.

**Метрологическая исправность средства измерений** – состояние СИ, при котором все нормируемые МХ соответствуют установленным требованиям.

**Метрологическая надежность средства измерений** – надежность СИ в части сохранения его метрологической исправности.

**Метрологический отказ средства измерений** – выход МХ СИ за установленные пределы. Например, если погрешность СИ класса точности 0,01 стала превышать 0,01 %, то это значит, что произошел метрологический отказ и СИ уже не соответствует установленному ранее классу точности. Если не установлены технические неполадки, то СИ может быть присвоен другой, более низкий класс точности.

Каждому виду средств измерений приписываются определенные номинальные (в данном случае близкие к теоретическим) МХ. Реальные же характеристики СИ, как правило, не совпадают с номинальными, что и определяет их инструментальные погрешности.

К МХ СИ относятся те, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений. С помощью этих характеристик оценивается погрешность измерений, выполняемых используемыми СИ в известных условиях. Для совокупности РСИ определенного типа данные о МХ содержатся в нормах, установленных в соответствующих нормативно-технических документах. Причем отдельный экземпляр СИ должен иметь МХ, не выходящие за пределы, оговоренные в вышеуказанных документах.

СИ могут применяться в нормальных и рабочих условиях. Эти условия для конкретных видов СИ установлены в стандартах или технических условиях.

Нормальным условиям применения СИ должен удовлетворять ряд следующих (основных) требований:

- температура окружающего воздуха  $(20 \pm 5)$  °С;
- относительная влажность  $(65 + 15)$  %;
- атмосферное давление  $(100 \pm 4)$  кПа;
- напряжение питающей сети  $(220 \pm 4)$  В и  $(115 \pm 2,5)$  В;
- частота сети  $(50 \pm 1)$  Гц и  $(400 + 12)$  Гц.

Как следует из перечисленных требований, нормальные условия применения СИ характеризуются диапазоном значений влияющих на них величин типа климатических факторов и параметров электропитания.

Рабочие условия применения СИ определяются диапазоном значений влияющих величин не только климатического характера и параметров электропитания, но и типа механических воздействий. В частности, диапазон климатических воздействий делится на ряд групп, охватывающих широкий диапазон изменения окружающей температуры.

Одной из важнейших МХ является погрешность СИ, позволяющая оценить инструментальную погрешность (точность) измерения ими ФВ.

При использовании СИ принципиально важно знать степень соответствия информации об измеряемой величине, содержащейся в выходном сигнале, ее истинному значению. С этой целью для каждого СИ вводятся и нормируются определенные МХ. Номенклатура МХ, правила выбора комплексов нормируемых МХ для СИ и способы их нормирования определяются стандартом

ГОСТ 8.009 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

Перечень нормируемых МХ делится на шесть основных групп:

- МХ для определения результатов измерений;
- МХ для погрешностей СИ;
- МХ чувствительности СИ к влияющим факторам;
- динамические характеристики СИ;
- МХ влияния на погрешность;
- неинформативные параметры выгодного сигнала.

МХ СИ позволяют:

- определять результаты измерений и рассчитывать оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерения в реальных условиях применения СИ;
- рассчитывать МХ каналов измерительных систем, состоящих из ряда СИ с известными МХ;
- производить оптимальный выбор СИ, обеспечивающих требуемое качество измерений при известных условиях их применения;
- сравнивать СИ различных типов с учетом условий применения.

## 2.7. Эталоны

**Эталон единицы физической величины** – СИ (или комплекс СИ), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной ФВ и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя связанными друг с другом существенными признаками – неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

**Первичный эталон** – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. В случае когда одним

первичным эталоном технически нецелесообразно обслуживать весь диапазон измеряемой величины, создают несколько первичных эталонов, охватывающих части этого диапазона с таким расчетом, чтобы был охвачен весь диапазон. В этом случае проводят согласование размеров единиц, воспроизводимых «соседними» первичными эталонами.

**Вторичный эталон** – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

**Эталон сравнения** – эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

**Исходный эталон** – эталон, обладающий наивысшими МХ (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся СИ. Исходным эталоном в стране служит первичный эталон, исходным эталоном для республики, региона, министерства (ведомства) или предприятия может быть вторичный или рабочий эталон. Вторичный или рабочий эталон, являющийся исходным эталоном для министерства (ведомства) нередко называют ведомственным эталоном. Эталоны, стоящие по поверочной схеме ниже исходного эталона, обычно называют подчиненными эталонами.

**Государственный первичный эталон** – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства. Например, государственные эталоны метра, килограмма, секунды, ампера, кельвина, канделы, ньютона и т. д.

**Рабочий эталон** – эталон, предназначенный для передачи размера единицы РСИ.

Термин рабочий эталон заменил собой термин образцовое СИ, что сделано в целях упорядочения терминологии и приближения ее к международной. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., n-й). В этом случае передаче размера единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке размер единицы передают РСИ.

**Национальный эталон** – эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны.

Данное определение по существу совпадает с определением понятия государственный эталон. Это свидетельствует о том, что термины государственный эталон и национальный эталон отражают одно и то же понятие. Вследствие этого термин национальный эталон применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран.

**Международный эталон** – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами. Международный прототип килограмма, хранимый в МБМВ, утвержден 1-й Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ).

**Одиночный эталон** – эталон, в составе которого имеется одно СИ (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

**Групповой эталон** – эталон, в состав которого входит совокупность СИ одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения. Групповые эталоны подразделяют на групповые эталоны постоянного или переменного составов.

**Эталонный набор** – эталон, состоящий из совокупности СИ, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств. Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений ФВ. Например, эталонные разновесы (наборы эталонных гирь) и эталонные наборы ареометров.

**Транспортируемый эталон** – эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам поверки (калибровки) СИ или сличений эталонов данной единицы.

**Хранение эталона** – совокупность операций, необходимых для поддержания МХ эталона в установленных пределах.

При хранении первичного эталона выполняют регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами

других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

Для руководства работ по хранению государственных эталонов устанавливают специальную категорию должностных лиц – ученых хранителей государственных эталонов, назначаемых из числа ведущих в данной области специалистов-метрологов.

**Эталонная база страны** – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

**Эталонная установка** – измерительная установка, входящая в состав эталона. Эталон может состоять из нескольких эталонных установок. Например, в состав государственного первичного эталона единицы активности радионуклидов входит шесть эталонных установок.

**Поверочная установка** – измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для проверки РСИ и подчиненных рабочих эталонов.

Эталоны специально классифицируют в зависимости от метрологического назначения (рис. 3).

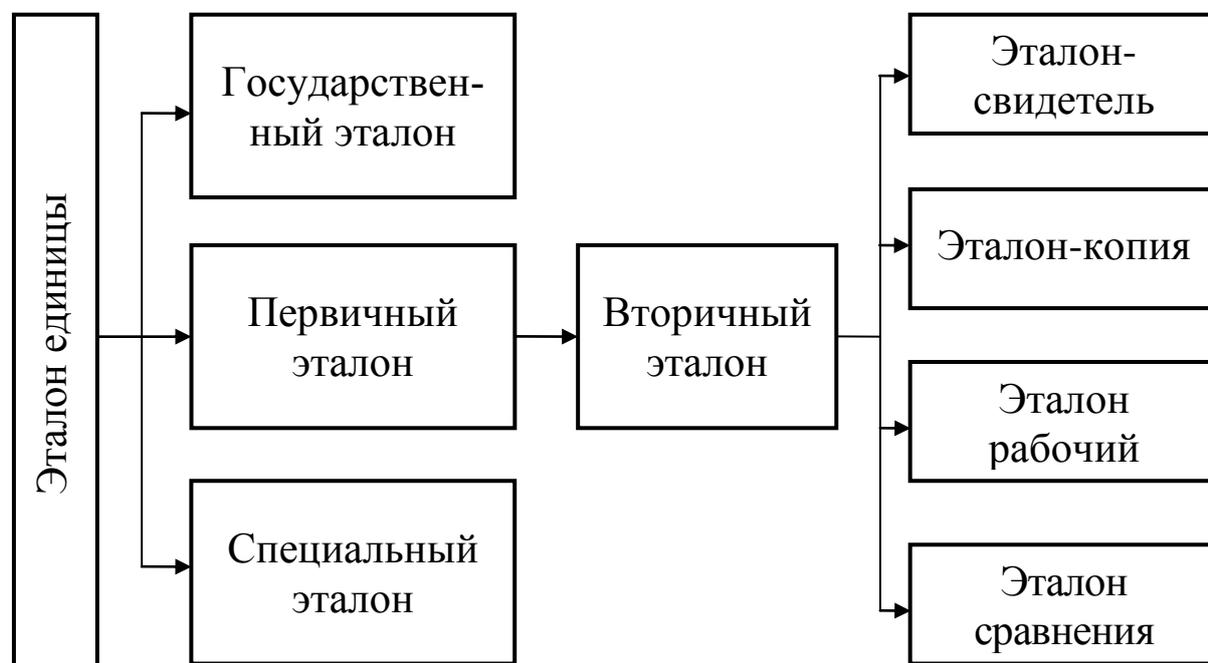


Рис. 3. Классификация эталонов

*Первичный эталон* обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью.

*Специальный эталон* служит для воспроизведения единицы в условиях, в которых первичный эталон не может использоваться и прямая передача размера единицы от первичного эталона с требуемой точностью технически неосуществима (например, на высоких и сверхвысоких частотах, в начале и конце участков диапазонов измерений и т. д.). Первичные и специальные эталоны являются исходными для страны, их утверждают в качестве государственных. Все эталоны характеризуются неисключенной систематической погрешностью воспроизведения соответствующей единицы и относительным среднеквадратическим отклонением результата измерения размера этой единицы. Первая величина показывает точность эталона по отношению к принятому определению единицы и важна как для обеспечения правильности измерений, так и для их единства в международном масштабе. Вторая характеризует воспроизводимость эталоном размера единицы и является важнейшей характеристикой обеспечения единства измерений в стране.

*Вторичный эталон* – эталон, значение которого устанавливается по первичному эталону и он занимает подчиненное положение. Вторичные эталоны подразделяются на эталоны-копии, эталоны сравнения и рабочие эталоны.

*Эталон-копия* предназначен для передачи размера единицы рабочим эталонам. Благодаря этому первичный эталон разгружается от текущих работ по передаче размера единицы, что повышает срок его службы.

*Эталон сравнения* применяется для взаимного сличения эталонов, которые по тем или иным причинам нельзя непосредственно сравнивать друг с другом (например, международные сличения эталонов).

*Рабочие эталоны* являются наиболее распространенной категорией вторичных эталонов, и они предназначены для поверки образцовых и наиболее точных рабочих средств измерений. Отметим, что рабочими называют такие средства, которые применяются для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Основные свойства эталонов:

**Неизменность** – свойство эталона удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени. При этом все изменения, зависящие от внешних условий, должны быть строго определенными функциями величин, доступных точному измерению. Реализация этих требований привела к идее создания «естественных» эталонов различных величин, основанных на физических постоянных.

**Воспроизводимость** – возможность воспроизведения единицы ФВ (на основе ее теоретического определения) с наименьшей погрешностью для существующего уровня развития измерительной техники. Это достигается путем постоянного исследования эталона в целях определения систематических погрешностей и их исключения путем введения соответствующих поправок.

**Сличаемость** – возможность сличения с эталоном других СИ, нижестоящих по поверочной схеме, в первую очередь вторичных эталонов, с наивысшей точностью для существующей техники измерения. Это свойство предполагает, что эталоны по своему устройству и действию не вносят каких-либо искажений в результаты сличения и сами не претерпевают изменений в результате сличений.

### 3. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРНОСТЕЙ

В соответствии со стандартом ISO 31/0 размерность величин следует обозначать знаком  $\dim$ . Например, размерность скорости  $\dim v = LT^{-1}$ . Чтобы найти размерность производной ФВ в некоторой системе величин, надо в правую часть определяющего уравнения этой величины вместо обозначений величин подставить их размерности (см. табл. 1). Так, например, поставив в определяющее уравнение скорости равномерного движения  $v = ds / dt$  вместо  $ds$  размерность длины  $L$  и вместо  $dt$  размерность времени  $T$ , получим:

$$\dim v = L / T = LT^{-1}.$$

Подставив в определяющее уравнение ускорения  $a = dv / dt$  вместо  $dt$  размерность времени  $T$  и вместо  $dv$  найденную выше размерность скорости, получим

$$\dim a = LT^{-1} / T = LT^{-2}.$$

Зная размерность ускорения по определяющему уравнению силы  $F = ma$ , получим:

$$\dim F = M \cdot LT^{-2} = LMT^{-2}.$$

Зная размерность силы, можно найти размерность работы, затем размерность мощности и т. д.

**Задача:** Работа определяется по зависимости  $A = F \cdot l$ , где сила  $F = m \cdot a$ ,  $m$  – масса перемещаемого тела,  $a$  – его ускорение,  $l$  – длина перемещения. Определить размерность работы, выраженную через размерности основных величин.

**Решение:**

$$\dim a = \left[ \frac{m}{c^2} \right] = \left[ \frac{L}{T^2} \right] = [LT^{-2}]$$

$$\dim l = [m] = [L]$$

$$\dim m = [kg] = [M]$$

$$\dim A = F \cdot l = [LT^{-2} \cdot M \cdot L] = ML^2T^{-2}$$

#### 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Оформить отчет. Отчет должен содержать: наименование и цель работы; описание основных теоретических положений; ответы на контрольные вопросы и решение задач по определению размерностей, выраженных через размерности основных физических величин.

Задачи по определению размерностей назначает преподаватель индивидуально каждому студенту в количестве не менее 2.

1.  $S = vt$
2.  $E = mc^2$
3.  $P = mg$
4.  $M = F \cdot l$
5.  $\rho = m / V$
6.  $p = F/S$
7.  $P = A / c$
8.  $W_{nn} = Gh = mh$

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что изучает и как подразделяется метрология?
2. Какие существуют направления и объекты измерения в метрологии?
3. Чем отличается величина от ФВ?
4. Что такое размер ФВ?
5. Какими бывают ФВ?
6. Что такое истинное и действительное значения ФВ?
7. Что такое измерение ФВ?
8. Что такое размерность ФВ?
9. Как определить размерность производной ФВ?
10. Чем отличаются основные ФВ от производных ФВ?
11. Какими бывают единицы ФВ?
12. Какие типы шкал существует?
13. Что такое шкала наименований?
14. Что такое шкала порядка, шкала интервалов?
15. Что такое шкала отношений, условная шкала?
16. Что такое однократные и многократные измерения?
17. Как различают прямые измерения?
18. Как различают измерения по способу получения информации измерения?
19. Как различают измерения по количеству измерительной информации?
20. Как различают измерения по способу определения значения измеряемой величины?

21. Как различают измерения по условиям, определяющим точность результата измерения?
22. Что такое статические и динамические измерения?
23. Что такое абсолютное и относительное измерение; прямое и косвенное измерение?
24. Что такое вид измерений?
25. Какие существуют методы измерений?
26. Дайте определение СИ?
27. По каким признакам классифицируется СИ?
28. Дайте определение измерительному прибору, преобразователю, установке, системе?
29. Какие существуют разновидности мер?
30. Что понимается под МХ СИ?
31. Какие бывают эталоны, дайте им определения?
32. Какими свойствами обладают эталоны?
33. Как классифицируют в зависимости от метрологического назначения эталоны?
34. В чем заключается система передачи размеров единиц?
35. Что такое ОСИ?

## **6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аристов, А. И. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. для вузов / А. И. Аристов, Л. И. Карпов [и др.]. – Москва: Академия, 2008. – 384 с.
2. Мороз, В. Г. Метрология, стандартизация, сертификация: учеб. пособие / В. Г. Мороз, Л. М. Духовный [и др.]. – Москва: МГИУ, 2007. – 520 с.
3. Дубов, Г. М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учеб. пособие / Г. М. Дубов, Д. М. Дубинкин; ГОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т». – Кемерово, 2011. – 224 с.
4. РМГ 29–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения: Взамен ГОСТ 16263–70; Введ. 01.01.2001. – Минск: Изд-во стандартов, 2000. – 46 с.

Составитель

Дубинкин Дмитрий Михайлович

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

Методические указания к практическому занятию  
по дисциплинам **«Метрология, стандартизация и сертификация  
в горном деле»** для обучающихся специальности  
21.05.04 Горное дело, **«Метрология, стандартизация  
и сертификация»** для обучающихся направления подготовки  
20.03.01 Техносферная безопасность, **«Метрология и сертификация»**  
для обучающихся направления подготовки 27.03.02 Управление качеством  
всех форм обучения

Печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.10.2018. Формат 60×84/16.

Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Уч. изд. л. 2,1. Тираж 34 экз. Заказ \_\_\_\_\_

КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Издательский центр УИП КузГТУ. 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.