



Методы и средства измерений и эталоны

Лекция 1. Методы и средства измерений

направление 27.04.01 «Стандартизация и метрология»
Квалификация (степень) - МАГИСТР
Форма обучения: очная

г. Казань
2020-2021



Казанский федеральный
УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ЭТАЛОНЫ
ЛЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ



Фазлыяхматов Марсель Галимзянович

К.т.н., ст. преподаватель каф. БМИиУИ
Инженерный институт КФУ

<https://kpfu.ru/Marsel.Fazlyjyahmatov>

mfazlyjy@kpfu.ru
+7 (927) 676-58-87



Цели и задачи изучения курса

Цель: Применение методов и средств измерений для решения задач метрологического обеспечения.

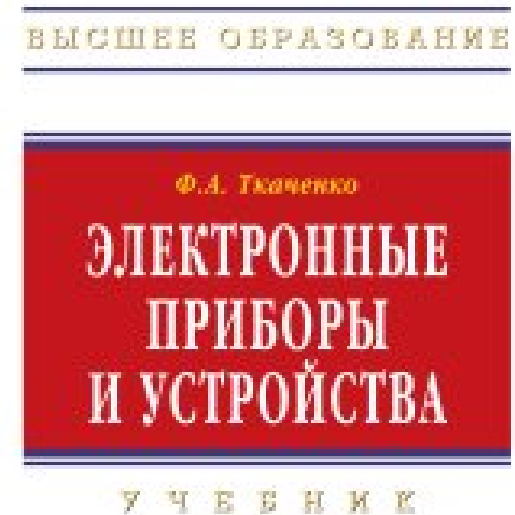
Задачи:

- Получение знаний для выбора, создания, внедрения и эксплуатации измерительных установок и систем, испытательных стендов;
- Умение использовать различные методы и средства измерений;
- Изучение метрологических характеристик средств измерений;
- Получение знаний по организации деятельности по проведению испытаний и контроля с целью оценки соответствия продукции и показателей качества.



Рекомендуемая литература

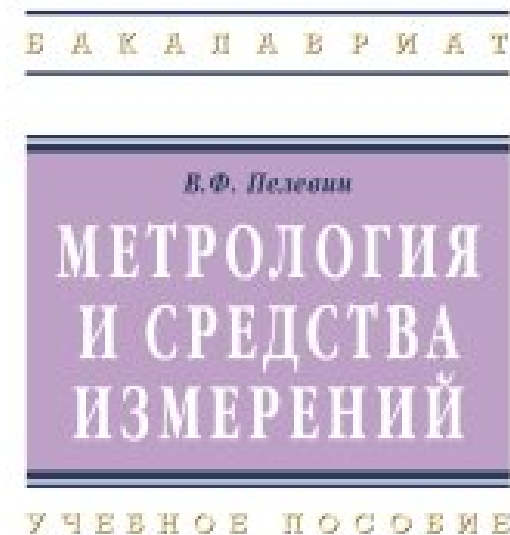
Ткаченко, Ф. А. Электронные приборы и устройства : учебник / Ф.А. Ткаченко. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 682 с. : ил. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1062340> (дата обращения: 01.10.2020). – Режим доступа: по подписке.





Рекомендуемая литература

Пелевин, В. Ф. Метрология и средства измерений : учеб. пособие / В.Ф. Пелевин. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2019. – 273 с. : ил. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/988250> (дата обращения: 29.09.2020). – Режим доступа: по подписке.





Рекомендуемая литература

Афанасьев, А. А. Физические основы измерений и эталоны : учеб. пособие / А.А. Афанасьев, А.А. Погонин. – Москва : ИНФРА-М, 2018. – 246 с. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/882396> (дата обращения: 29.09.2020). – Режим доступа: по подписке.



znanium.com



Основные определения

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

Цель измерения – получение значения этой величины в форме, наиболее удобной для пользования. С помощью измерительного прибора сравнивают размер величины, информация о котором преобразуется в перемещение указателя, с единицей, хранимой шкалой этого прибора.



Основные определения

Метод измерений – приём или совокупность приёмов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Принцип измерений – физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.

Например: использование силы тяжести при измерении массы взвешиванием, применение эффекта Доплера для измерения скорости, измерение температуры по величине теплового расширения какого-либо вещества).



Методы измерений

Метод непосредственной оценки – метод, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого действия

Например: измерение длины с помощью линейки.

Метод сравнения с мерой (метод сравнения) – метод, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.



Методы сравнения

Метод противопоставления – измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения.

Метод дополнения – метод, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчётом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

Дифференциальный метод – метод, 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.



Методы сравнения

Нулевой метод – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.

Метод замещения – метод сравнения с мерой, в которой измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Метод совпадений – разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.



Методика измерений

Методика выполнения измерений или **методика измерений** – совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности.

ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений

Методики измерений в зависимости от сложности и области применения излагают:

- в отдельном документе (нормативном правовом документе, документе в области стандартизации, инструкции и т.п.);
- в разделе или части документа (разделе документа в области стандартизации, технических условий, конструкторского или технологического документа и т.п.).



Методика измерений

Методики, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений подлежат **обязательной аттестации** и должны быть **зарегистрированы** в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений.

Методики, включенные в проекты нормативных правовых актов и документов в области стандартизации, подлежат обязательной **метрологической экспертизе**, которую проводят государственные научные метрологические институты.

Методики, применяемые вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут быть **аттестованы в добровольном порядке**.



Средство измерений

Средство измерений (СИ) – техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики.



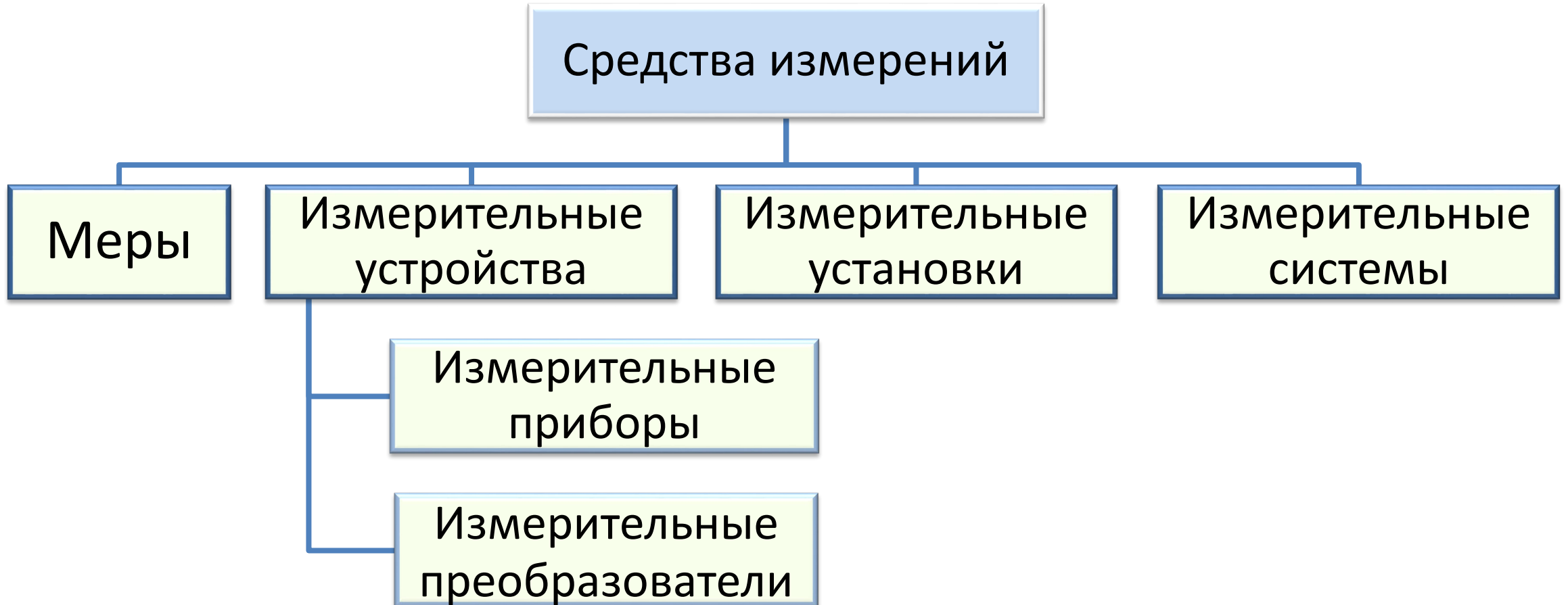
Классификация СИ по метрологическому назначению

Образцовые – предназначены для поверки средств измерений как рабочих, так и образцовых менее высокой точности.

Рабочие – предназначены для измерения физических величин в разнообразной деятельности человека.



Классификация СИ





Классификация СИ по метрологическому назначению

Образцовые – предназначены для поверки средств измерений как рабочих, так и образцовых менее высокой точности.

Рабочие – предназначены для измерения физических величин в разнообразной деятельности человека.



Классификация СИ

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



Концевые меры длины плоскопараллельные
стальные.



Классификация СИ

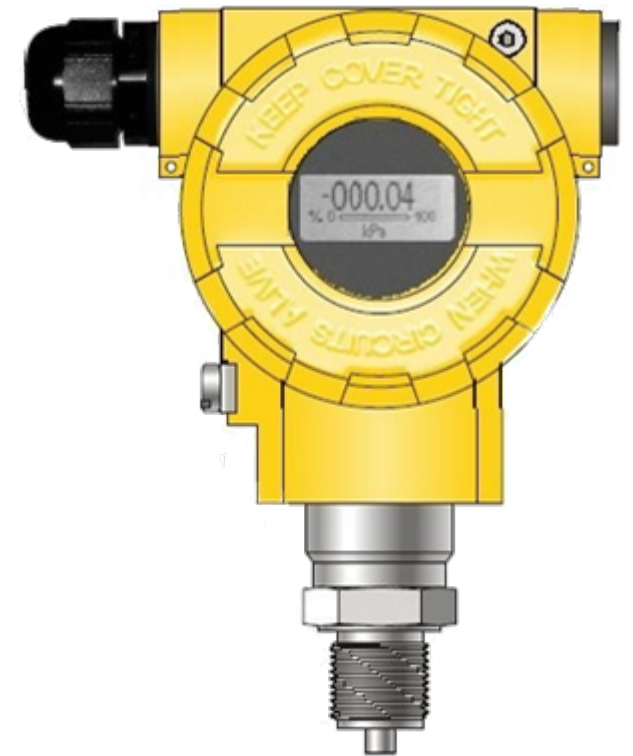
Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне.





Классификация СИ

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 давления
(интеллектуальный) APC-2000AL



Классификация СИ

Измерительный преобразователь, на который действует непосредственно измеряемая величина, называется **первичным измерительным преобразователем** или **датчиком**.

Датчики самостоятельного значения для проведения измерений не имеют, а являются составными частями измерительных приборов, установок и систем.



DFM 400AK. Проточные датчики топлива.



Классификация СИ

Измерительная установка (измерительная машина) – совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких физических величин и расположенная в одном месте.





Классификация СИ

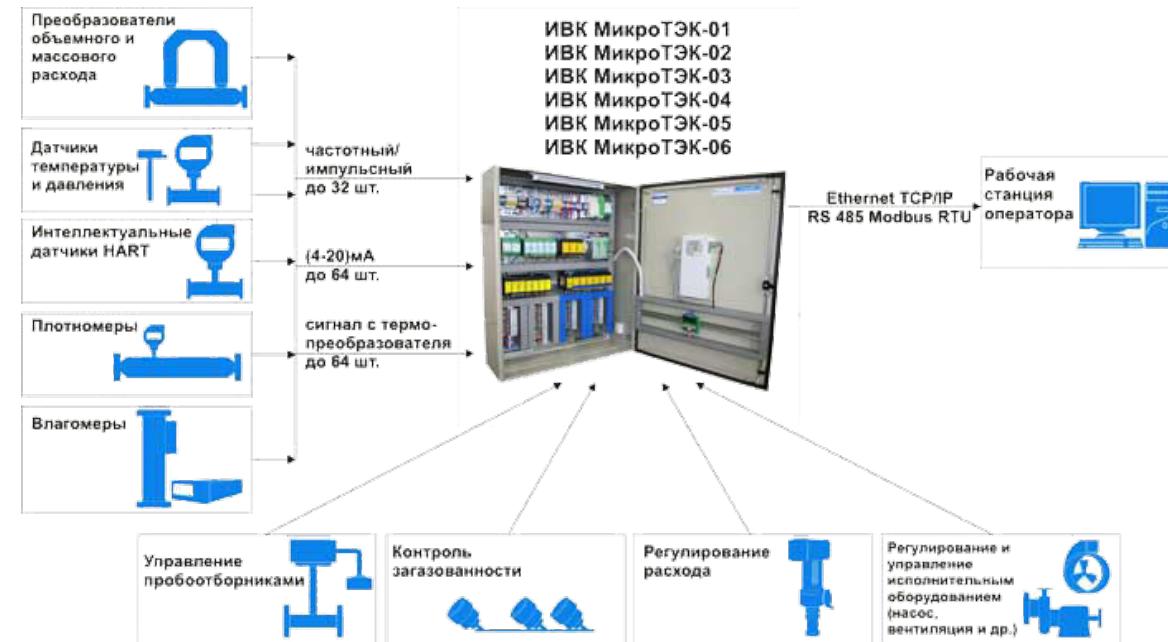
Измерительная система – совокупность функционально объединённых мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещённых в разных точках контролируемого объекта и т.п. с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту,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





Классификация СИ

Измерительно-вычислительный комплекс – функционально объединённая совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.





Качество измерений

Качество измерений – совокупность свойств измерений, обуславливающих соответствие средств, метода, методики, условий измерений и состояния единства измерений требованиям измерительной задачи.



Качество измерений

- **Точность** – отражает близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям как систематическим, так и случайным.

- **Сходимость** – отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях.

Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей.

- **Воспроизводимость** – отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).



Метрологические показатели СИ

Основные метрологические показатели СИ:

- **Цена деления шкалы;**
- **Длина деления шкалы;**
- **Чувствительность прибора;**
- **Допускаемая погрешность измерительного средства;**
- **Вариация;**
- **Диапазон измерений;**
- **Диапазон показаний.**



Метрологические показатели СИ

Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Например: у индикатора часового типа цена деления равна 0.01 мм. Если стрелка прибора переместится от одного деления шкалы до другого, это значит, что измерительный наконечник переместился на 0.01 мм.





Метрологические показатели СИ

Длина деления шкалы – это расстояние между соседними делениями шкалы.

У большинства измерительных средств длина деления составляет от 1 до 2.5 мм. Чем больше длина деления на шкале, тем удобнее отсчёт по шкале, хотя это обычно ведёт к увеличению её габаритов.



Метрологические показатели СИ

Допускаемая погрешность измерительного средства – наибольшая погрешность, при которой измерительное средство может быть допущено к применению.

Для каждого вида измерительных средств, выпускаемых отечественными предприятиями, обязательно устанавливается допускаемая погрешность.

При рассмотрении погрешности измерений часто выделяется **вариация** или **нестабильность** показаний измерительного средства, под которой понимается разность показаний этого средства при многократных измерениях одной и той же величины.



Метрологические показатели СИ

Чувствительность прибора – отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины на входе.

Например: изменение измеряемой величины составило $\Delta d = 0.01$ мм, что вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на $\Delta l = 10$ мм, то абсолютная чувствительность прибора составляет:

$$S = \frac{\Delta l}{\Delta d} = \frac{10}{0.01} = 1000$$



Метрологические показатели СИ

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

Диапазон измерений – область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.



Метрологические характеристики СИ

При использовании средств измерений принципиально важно знать степень соответствия информации об измеряемой величине, содержащейся в выходном сигнале, её истинному значению. С этой целью для каждого СИ вводятся и нормируются определённые **метрологические характеристики (МХ)**.

Метрологическими называются характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результат измерения и его погрешности.

Характеристики, устанавливаемые нормативными документами, называются нормируемыми, а определяемые экспериментально – действительными.

Номенклатура МХ определяются **ГОСТ 8.009-84** Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.



Нормируемые метрологические характеристики СИ

- Характеристики, предназначенные для определения результатов измерения: **функция преобразования, цена деления, вид выходного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда кода;**
- Характеристики погрешности СИ: **характеристики систематической и случайной составляющих погрешности, значение основной и дополнительной погрешностей СИ, статистические характеристики погрешности СИ;**
- Характеристики чувствительности СИ к влияющим величинам: **влияния и изменения значений МХ СИ, вызванные изменениями влияющих величин в установленных пределах;**



Нормируемые метрологические характеристики СИ

- **Динамические характеристики СИ: полные и частные;**
- **Характеристики СИ, отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений вследствие взаимодействия СИ с любым из подключенных к их входу или выходу компонентов (объектов);**
- **Неинформативные параметры выходного сигнала СИ.**



Классы точности СИ

Характеристики, введенные **ГОСТ 8.009-84**, наиболее полно описывают метрологические свойства СИ. Однако в повседневной практике используются СИ, метрологические характеристики которых нормированы на основе **классов точности**.

Класс точности – это обобщённая характеристика СИ, выражаемая пределами допускаемых значений его основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности не является непосредственной оценкой точности измерений. Он позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность СИ данного типа.



Классы точности СИ

Пределы допускаемой основной погрешности Δ , определяемые классом точности, – это интервал, в котором находится значение основной погрешности СИ.

Пределы допускаемых основной и дополнительной погрешностей выражают в форме приведённых, относительных или абсолютных погрешностей. Выбор формы представления зависит от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения СИ.



Классы точности СИ

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности устанавливаются по одной из формул:

$$\Delta = \pm a \quad \text{или} \quad \Delta = \pm(a + bx),$$

где x – значение измеряемой величины или число делений, отсчитанное по шкале; a, b – положительные числа, не зависящие от x .

Первая формула описывает чисто **аддитивную** погрешность, а вторая – сумму **аддитивной и мультипликативной** погрешностей. В технической документации классы точности, установленные в виде абсолютных погрешностей, обозначают, например, «Класс точности М», а на приборе – буквой «М». Для обозначения используются прописные буквы латинского алфавита или римские цифры.



Классы точности СИ

Пределы допускаемой приведённой основной погрешности определяются по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} = \pm p,$$

где x_N – нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ ; p – отвлечённое положительное число, выбираемое из ряда значений:

$$(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n; \quad n = 1; 0; -1; -2; \dots$$



Классы точности СИ

Нормирующее значение x_N устанавливается равным большему из пределов измерений (или модулей) для СИ с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой.

Для СИ, шкала которых имеет условный нуль, x_N равно модулю разности пределов измерений.



Классы точности СИ

Для приборов с существенно неравномерной шкалой x_N принимают равным всей длине шкалы или её части, соответствующей диапазону измерений.

В этом случае пределы абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины, а на средстве измерений класс точности условно обозначают, например, в виде значка $\surd_{0.5}$, где 0.5 – значение числа p .


В остальных рассмотренных случаях класс точности обозначают конкретным числом p , например, 1.5.



Классы точности СИ

Пределы допускаемой относительной основной погрешности определяются по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm q \quad \text{если} \quad \Delta = \pm a$$

Значение постоянного числа q устанавливается так же, как и значение p . Класс точности на приборе обозначается  где 0.5 конкретное число q .



Классы точности СИ

Пределы допускаемой относительной основной погрешности определяются по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right], \quad \text{если } \Delta = \pm (a + bx)$$

где c, d – отвлечённые положительные числа, выбираемые из того же ряда, что и p .

В этом случае класс точности обозначается в виде «0.02/0.01»
где числитель – значение числа c , знаменатель – числа d .

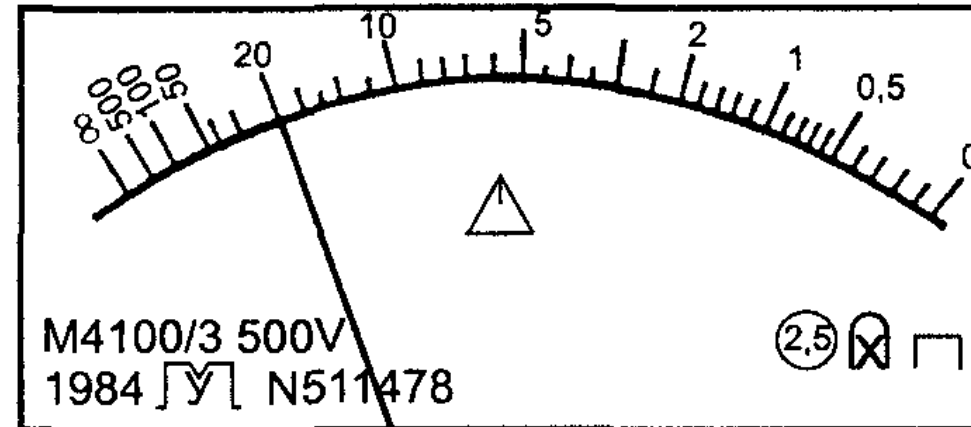
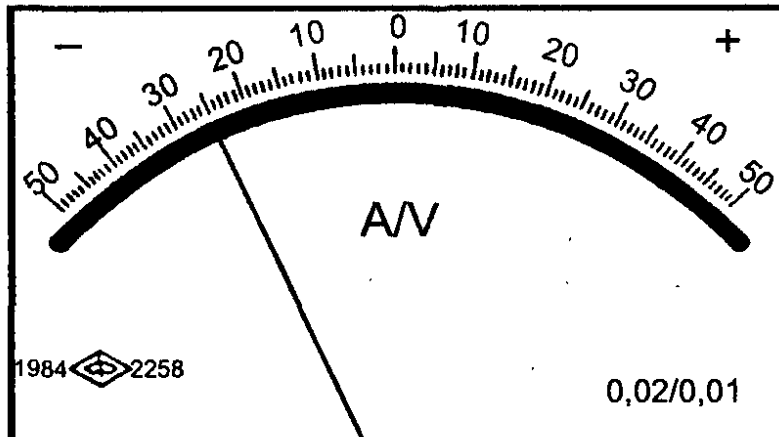
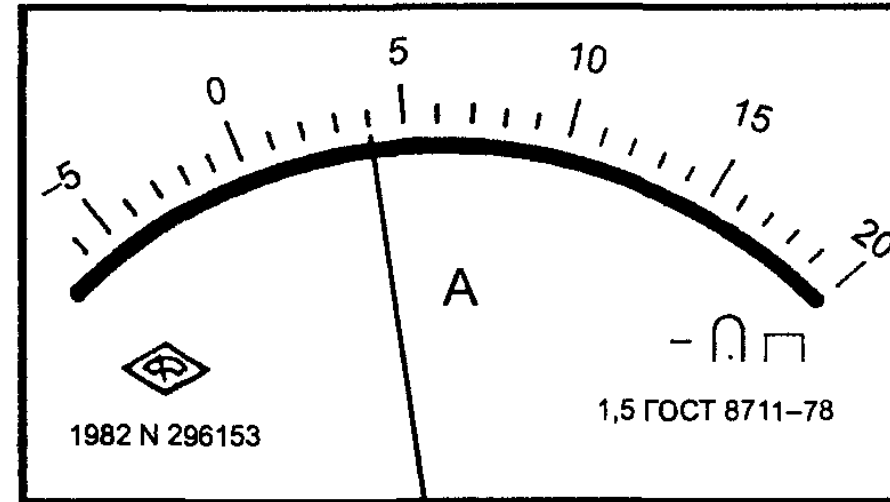
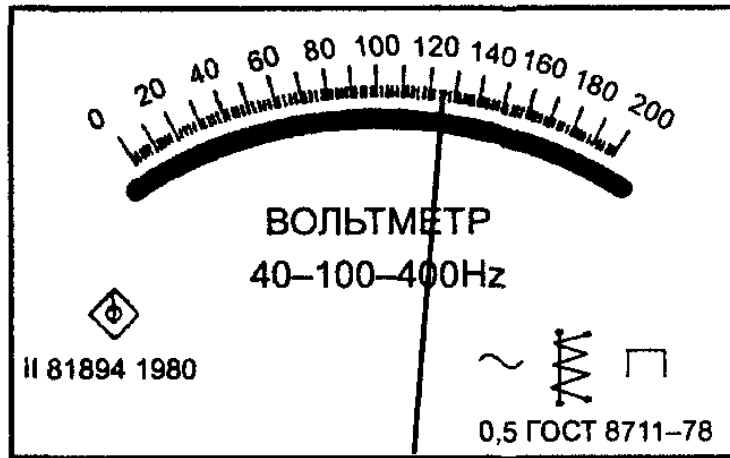


Обозначение классов точности СИ

Формула для определения пределов основной погрешности	Примеры	Обозначение класса точности	
		В документах	На приборах
Абсолютная погрешность			
$\Delta = \pm a$	$\Delta = \pm 5 \text{ Н}$	Класс точности М	М
$\Delta = \pm(a + bx)$	$\Delta = \pm(5 + 0.5 V) \text{ км/ч}$	Класс точности С	С
Приведённая погрешность			
$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} = \pm p$	$\gamma = \pm 1.5 \%$	Класс точности 1.5	1.5
	$\gamma = \pm 2.5 \%$	Класс точности 2.5	2.5
Относительная погрешность			
$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm q$	$\delta = \pm 0.5 \%$	Класс точности 0.5	0.5
$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm[c + d\left(\left \frac{x_k}{x}\right - 1\right)]$	$\delta = \pm [0.02 + 0.01(x_k/x - 1)] \%$	Класс точности 0.02/0.01	0.02/0.01



Примеры обозначений на шкалах СИ





Примеры обозначений на шкалах СИ

