

Раздел 1. Метрология

Лабораторная работа 1

Классификация средств измерений и нормируемые метрологические характеристики

1.1 Основные понятия и определения

В соответствии с РМГ 29-99 [1] **средство измерений** – это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

Средства измерений (СИ), используемые в различных областях науки и техники, чрезвычайно разнообразны. Однако для этого множества можно выделить некоторые общие признаки, присущие всем СИ независимо от области применения. Эти признаки положены в основу различных классификаций СИ, некоторые из них приведены далее.

Классификация средств измерений

По техническому назначению:

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

Различают следующие разновидности мер:

- **однозначная мера** — мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например, гиря 1 кг, конденсатор постоянной емкости);

- **многозначная мера** — мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины, конденсатор переменной емкости);

- **набор мер** — комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике, как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины);

- **магазин мер** — набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений)

Измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Измерительный прибор, как правило, содержит устройство для преобразования измеряемой величины в сигнал измерительной информации и его индикации в форме, наиболее доступной для восприятия. Во многих случаях устройство для индикации имеет шкалу со стрелкой или другим устройством, диаграмму с пером или цифровое табло, благодаря которым может быть произведен отсчет или регистрация значений физической величины.

В зависимости от вида выходной величины различают **аналоговые и**

цифровые измерительные приборы.

- **аналоговый измерительный прибор** – это измерительный прибор, показания (или выходной сигнал) которого являются непрерывной функцией измеряемой величины (например, стрелочный вольтметр, стеклянный ртутный термометр).

- **цифровой измерительный прибор** – это измерительный прибор, показания которого представлены в цифровой форме.

В цифровом приборе происходит преобразование входного аналогового сигнала измерительной информации в цифровой код, и результат измерения отражается на цифровом табло.

По форме представления выходной величины (по способу индикации значений измеряемой величины) измерительные приборы разделяют на **показывающие и регистрирующие измерительные приборы.**

- **показывающий измерительный прибор** – измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний значений измеряемой величины (микрометр, аналоговый или цифровой вольтметр).

- **регистрирующий измерительный прибор** – измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний. Регистрация значений измеряемой величины может осуществляться в аналоговой или цифровой форме, в виде диаграммы, путем печатания на бумажной или магнитной ленте (термограф или, например, измерительный прибор, сопряженный с компьютером, дисплеем и устройством для печатания показаний).

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. Полученные в результате преобразования величина или измерительный сигнал, не доступны для непосредственного восприятия наблюдателем, они определяются через коэффициент преобразования.

Измерительный преобразователь или входит в состав какого-либо измерительного прибора (измерительной установки, измерительной системы), или же применяется вместе с каким-либо средством измерений.

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

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 физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях;

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

По метрологическому назначению все СИ подразделяются на эталоны, рабочие эталоны и рабочие СИ.

Эталон единицы физической величины (эталон): Средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Рабочий эталон: Эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Рабочее средство измерений: Средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений.

По значимости измеряемой физической величины все СИ подразделяются на основные и вспомогательные средства измерений.

Основные средства измерений той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;

Вспомогательные средства измерений той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учитывать для получения результатов измерений требуемой точности.

Классификация СИ **по техническому назначению** является основной и представлена на рисунке 1.1.



Рис. 1.1

Метрологическая характеристика средства измерений (метрологическая характеристика; МХ): Характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность.

Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют **нормируемыми метрологическими характеристиками**, а определяемые экспериментально — **действительными метрологическими характеристиками**.

Номенклатура метрологических характеристик и способы их нормирования установлены ГОСТ 8.009 [2].

Все метрологические характеристики СИ можно разделить на две группы:

- характеристики, влияющие на результат измерений (определяющие область применения СИ);
- характеристики, влияющие на точность (качество) измерения.

К основным метрологическим характеристикам, влияющим на результат измерений, относятся:

- диапазон измерений измерительных приборов;
- значение однозначной или многозначной меры;
- функция преобразования измерительного преобразователя;
- цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;
- вид выходного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда кода средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

Диапазон измерений средства измерений (диапазон измерений): Область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений (для преобразователей – это диапазон преобразования).

Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа), называют соответственно **нижним пределом измерений** или **верхним пределом измерений**. Для мер – пределы воспроизведения величин.

Однозначные меры имеют номинальное и действительное значение воспроизводимой величины.

Номинальное значение меры: Значение величины, приписанное мере или партии мер при изготовлении.

Пример — 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.

Пример — 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 сличений с международным эталоном килограмма, хранящимся в Международном Бюро Мер и Весов (МБМВ) (в данном случае это калибровка).

Диапазон показаний средства измерений (диапазон показаний): Область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

Цена деления шкалы (цена деления): Разность значения величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

К метрологическим характеристикам, определяющим точность измерения,

относится погрешность средства измерений и класс точности СИ.

Погрешность средства измерений: Разность между показанием средства измерений (x) и истинным (действительным) значением (x_d) измеряемой физической величины.

$$\Delta x = x - x_d \quad (1.1)$$

В качестве x_d выступает либо номинальное значение (например, меры), либо значение величины, измеренной более точным (не менее чем на порядок, т.е. в 10 раз) СИ.

Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Погрешности СИ могут быть классифицированы по ряду признаков, в частности:

- по отношению к условиям измерения – основные, дополнительные;
- по способу выражения (по способу нормирования МХ) – абсолютные, относительные, приведенные.

Основная погрешность средства измерений (основная погрешность): Погрешность средства измерений, применяемого в нормальных условиях.

Как правило, нормальными условиями эксплуатации являются:

- температура (293 ± 5) К или (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха (65 ± 15) % при 20 °С;
- напряжение в сети $220 \text{ В} \pm 10$ % с частотой $50 \text{ Гц} \pm 1$ %;
- атмосферное давление от 97,4 до 104 кПа.

Дополнительная погрешность средства измерений (дополнительная погрешность): Составляющая погрешности средства измерения, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

При нормировании характеристик погрешностей средств измерений устанавливают пределы допускаемых погрешностей (положительный и отрицательный).

Пределы допускаемых основной и дополнительной погрешностей выражаются в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений. Пределы допускаемой дополнительной погрешности можно выражать в форме, отличной от формы выражения пределов допускаемой основной погрешности.

Абсолютная погрешность средства измерений (абсолютная погрешность): Погрешность средства измерений Δx , выраженная в единицах измеряемой физической величины.

Абсолютная погрешность определяется по формуле (1.1).

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности могут быть заданы в виде:

$$\Delta = \pm a \quad (1.2)$$

или

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (1.3)$$

где Δ - пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы;

x - значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале;

a, b - положительные числа, не зависящие от x .

Приведенная погрешность средства измерения (приведенная погрешность): Относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (нормирующему значению), постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.

Приведенная погрешность средства измерений определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} \cdot 100 \%, \quad (1.4)$$

где γ - пределы допускаемой приведенной основной погрешности, %;

Δ - пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, устанавливаемые по формуле (1.2);

x_N - нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ ;

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности следует устанавливать в виде:

$$\gamma = \pm p, \quad (1.5)$$

где p - отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$ ($n=1, 0, -1, -2$ и т.д.).

Нормирующее значение x_N принимается равным:

- конечному значению рабочей части шкалы (x_∂), если нулевая отметка находится на краю или вне рабочей части шкалы (равномерной или степенной);

- сумме конечных значений шкалы (без учета знака), если нулевая отметка – внутри шкалы;

- модулю разности пределов измерений для СИ, шкала которых имеет условный нуль;

- длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений, если она существенно неравномерна. В этом случае абсолютную погрешность, как и длину шкалы, надо выражать в миллиметрах.

Относительная погрешность средства измерений (относительная погрешность): Погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины.

Относительная погрешность средства измерений вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \%, \quad (1.6)$$

где δ - пределы допускаемой относительной основной погрешности, %;

Δ - пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы;

x - значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливают:

если $\Delta = \pm bx$, то в виде:

$$\delta = \pm q, \quad (1.7)$$

где q - отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда, приведенного выше;

или, если $\Delta = \pm(\hat{a} + \hat{a}\delta)$, то в виде:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \quad (1.8)$$

где x_k - больший (по модулю) из пределов измерений;

c, d - положительные числа, выбираемые из ряда, приведенного выше,

$$c = b + d,$$

$$d = \frac{a}{|x_k|},$$

где a, b - положительные числа, не зависящие от x (см. формулу 1.3).

В обоснованных случаях пределы допускаемой относительной основной погрешности определяют по более сложным формулам либо в виде графика или таблицы.

Характеристики, введенные ГОСТ 8.009, наиболее полно описывают метрологические свойства СИ. Однако в настоящее время в эксплуатации находится достаточно большое количество СИ, метрологические характеристики которых нормированы несколько по-другому, а именно на основе классов точности.

Класс точности средств измерений (класс точности): Обобщенная характеристика данного типа средств измерения, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность измерений этого класса. Это важно при выборе средств измерений в зависимости от заданной точности измерения. Обозначение классов точности СИ присваивают в соответствии с ГОСТ 8.401 [3].

Правила построения и примеры обозначения классов точности в документации и на средствах измерений приведены в таблице 1.1.

Обозначение класса точности наносят на циферблаты, щитки и корпуса СИ, приводят в нормативной документации на СИ.

Номенклатура нормируемых метрологических характеристик СИ определяется назначением, условиями эксплуатации и многими другими факторами. Нормы на основные метрологические характеристики приводятся в стандартах, в технических условиях (ТУ) и эксплуатационной документации на СИ.

Таблица 1.1

Примеры обозначения классов точности

Формула для определения пределов допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности		Примечания
		в документации	на средстве измерений	
Абсолютная: $\Delta = \pm a$	При измерении постоянного тока $\Delta = \pm 0,7 \text{ А}$	Класс точности М	М	Δ - пределы допускаемой основной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы; x - значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале; a и b - положительные числа, не зависящие от x .
Абсолютная: $\Delta = (a + bx)$	При измерении линейно изменяющегося напряжения $\Delta = \pm (1 + 0,57x) \text{ мВ}$	Класс точности С	С	
Приведенная $\gamma = \pm p,$	$\gamma = \pm 1,5 \%$	Класс точности 1,5	1,5	если нормирующее значение X_N выражено в единицах величины на входе (выходе) средств измерений; если нормирующее значение X_N определяется длиной шкалы или ее части
	$\gamma = \pm 0,5 \%$	Класс точности 0,5	0,5	
Относительная $\delta = \pm q$	$\delta = \pm 0,5 \%$	Класс точности 0,5	0,5	
Относительная $\delta = \pm \left[c + d \left(\left \frac{x_k}{x} \right - 1 \right) \right]$	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{x_k}{x} \right - 1 \right) \right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01	x_k - больший по модулю из пределов измерений

1.2 Цель работы:

- ознакомление с технической документацией на СИ и определение по ней основных классификационных признаков и нормируемых метрологических характеристик применяемых средств измерений;
- приобретение навыков определения основных классификационных признаков, применяемых средств измерений и их нормируемых метрологических характеристик непосредственно по средствам измерений;
- закрепление теоретических знаний по разделу «Классификация средств измерений» изучаемой дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

1.3 Используемые приборы.

Перечень приборов и их количество определяет преподаватель для каждого студента индивидуально.

1.4 Программа работы

1.4.1 Определить классификационные признаки, указанные в таблице 1.2, из числа находящихся на рабочем месте средств измерений (СИ).

1.4.2 Ознакомиться с технической документацией на СИ (руководство по эксплуатации, техническое описание с инструкцией по эксплуатации или паспорт).

1.4.3 Определить нормированные метрологические характеристики СИ непосредственно по средствам измерений и по технической документации на них и заполнить на каждое средство измерений таблицу 1.2.

1.4.4 Составить отчет о проделанной работе.

Таблица 1.2

Классификационные признаки	Средство измерения (указать тип СИ)
По видам (по техническому назначению)	
По виду выходной величины	
По форме представления информации (только для измерительных приборов)	
По назначению	
По метрологическому назначению	
Нормированные метрологические характеристики	

1.5 Контрольные вопросы

- 1 Назовите виды средств измерений.
- 2 По каким классификационным признакам подразделяются СИ.
- 3 Охарактеризовать каждый вид СИ.
- 4 На какие группы подразделяются метрологические характеристики СИ.
- 5 Что такое метрологические характеристики?
- 6 Что такое нормируемые метрологические характеристики и чем они отличаются от метрологических характеристик?
- 7 Назовите метрологические характеристики, определяющие:
 - область применения СИ;
 - качество измерения.
- 8 Назовите виды погрешностей.
- 9 Какая характеристика определяет точность измерения?
- 10 Какую функцию выполняют эталоны?
- 11 В чем различие в назначении рабочих СИ и рабочих эталонов?

1.6 Литература

- 1 РМГ 29–99 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации.
- 2 ГОСТ 8.009–84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
- 3 ГОСТ 8.401–80. ГСИ. Классы точности средств измерений.
- 4 Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В. Метрология, стандартизация, сертификация. М.: Логос, 2003.