

Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан  
Казахский национальный университет имени Аль-Фараби  
Физико-технический факультет  
Кафедра теплофизики и технической физики

Лекция 2 по дисциплине  
«Метрология, стандартизация и сертификация»

на тему:

«Метрологическое обеспечение производства»  
(продолжение)

Лектор: Бекалай Н.Қ.

## **Метрологическое обеспечение производства**

План занятия:

1. Теория измерений
2. Измерительные шкалы
3. Системы единиц физических величин и принципы их построения
4. Международная система единиц СИ
5. Погрешности измерений
6. Основные характеристики законов распределения
7. Оценки основных характеристик ряда наблюдений
8. Обработка результатов измерений
9. Решение задач
10. Контрольный тест
11. Выполнение лабораторной работы по теме: «Обработка результатов измерений»

# Введение в метрологию. Теория измерений

«Наука начинается там, где начинают измерять»

Д.И.Менделеев

*Целью измерения* и его конечным результатом является нахождение значения физической величины.

*Значение физической величины* - оценка физической величины в принятых для измерения данной величины единицах. Понятно, что числовое значение результата измерения будет зависеть от выбора единицы физической величины.

В теории измерений вводятся понятия *истинного, измеренного и действительного* значения физической величины.

Нахождение *истинного значения измеряемой физической величины* является центральной проблемой метрологии. Стандарт определяет истинное значение как значение физической величины, которое *идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.*

Одним из постулатов метрологии является положение о том, что истинное значение физической величины существует, однако, определить его путем измерения невозможно.

Поскольку истинное значение физической величины определить невозможно, в практике измерений оперируют понятием действительного значения.

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

Под *измеренным значением* понимается значение величины, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

*Измеряемая физическая величина* - физическая величина, подлежащая измерению в соответствии с поставленной измерительной задачей.

С измерениями связаны такие понятия, как *шкала измерений, принцип измерений, метод измерений.*

# Измерительные шкалы

Проявления (количественные или качественные) любого свойства реальных объектов образуют в нашем представлении упорядоченные множества чисел или, в более общем случае, условных знаков, которые называют *шкалами измерений*.

**Шкала физической величины** - упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая основой для ее измерения. Различают четыре типа шкал: *шкала наименований*, *шкала порядка*, *шкала интервалов* и *шкала отношений*.

**Шкала наименований** (шкала классификаций) 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. В таких шкалах отсутствуют понятия нуля и единицы измерения.

**Шкала порядка** (шкала рангов) предполагает упорядочение объектов относительно какого-то определенного их свойств, т.е. 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. Результаты оценивания по шкале порядка также не могут подвергаться никаким арифметическим действиям.

## Системы единиц физических величин и принципы их построения

В соответствии с международным стандартом ISO 31/0 размерность следует обозначать *dim*. Размерность основных физических величин обозначается прописными латинскими или греческими буквами. Если основными физическими величинами являются длина, масса и время, то они обозначаются L, M, T соответственно.

Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют в качестве функций независимых величин, называется *системой физических величин*. Физическая величина, условно принятая в качестве независимой от других величин системы, называется *основной*. Физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы, называется *производной*.

# Международная система единиц СИ

## *Принципы построения системы СИ:*

- 1) СИ базируется на семи основных единицах, размеры которых устанавливаются независимо друг от друга.
- 2) Производные единицы образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами - определяющих уравнений, в которых размеры величин приняты равными единицам СИ.
- 3) Производные единицы вместе с основными единицами формируют когерентную систему.
- 4) Наряду с единицами СИ к применению допущено ограниченное число внесистемных единиц.
- 5) Единицы СИ или внесистемные единицы могут применяться с приставкой, что означает умножение единицы на десять, возведенное в определенную степень.

## Основные единицы Международной системы СИ:

№ п.п	Название	Международное обозначение	Размерность
1	Метр	m	L
2	Килограмм	kg	M
3	Секунда	s	T
4	Ампер	A	I
5	Кельвин	K	
6	Кандела	cd	J
7	Моль	mol	N



В систему СИ были введены две дополнительные единицы - *радиан* и *стерадиан*.

Одновременно с принятием Международной системы единиц XI ГКМВ приняла 12 десятичных кратных и дольных приставок, к которым впоследствии были добавлены новые.

В таблице А.1 приведены 20 приставок, которые используются в системе СИ.

Единицы СИ охватывают практически все области науки и техники. Однако ГКМВ было признано использование некоторых внесистемных единиц наравне с единицами СИ из-за их практической важности. Некоторые единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в в таблице А.2.

Т а б л и ц а А.1- Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Множитель	Приставка, СИ			
	Наименование		Обозначение	
	русское	международное	русское	международное
10 <sup>24</sup>	йотта	yotta	И	У
10 <sup>21</sup>	зетта	zetta	З	Z
10 <sup>18</sup>	экса	exa	Э	E
10 <sup>15</sup>	пета	peta	П	P
10 <sup>12</sup>	тера	tera	Т	T
10 <sup>9</sup>	гига	giga	Г	G
10 <sup>6</sup>	мега	mega	М	M
10 <sup>3</sup>	кило	kilo	к	k
10 <sup>2</sup>	гекто	hecto	г	h
10 <sup>1</sup>	дека	deca	да	da
10 <sup>-1</sup>	деци	deci	д	d
10 <sup>-2</sup>	санти	centi	с	c
10 <sup>-3</sup>	милли	milli	м	m
10 <sup>-6</sup>	микро	micro	мк	
10 <sup>-9</sup>	нано	nano	н	n
10 <sup>-12</sup>	пико	pico	п	p
10 <sup>-15</sup>	фемто	femto	ф	f
10 <sup>-18</sup>	атто	atto	а	a
10 <sup>-21</sup>	зепто	zepto	з	z
10 <sup>-24</sup>	йокто	yocto	и	y

Т а б л и ц а А.2 - Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица			
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
		Международное	русское	
Время	минута	min	мин	1 min = 60 s
	час	h	ч	1 h = 60 min = 3600 s
	день	d	сут	1 d = 24 h = 86 400 s
Плоский угол	градус	o	o	= ( /180) rad
	минута	'	'	1' = (1/60) = ( /10 800) rad
	секунда	"	"	1" = (1/60)' = ( /648 000) rad
Объем	литр	L	л	1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Масса	тонна	t	т	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
Уровень	непер	Np	Нп	1 Np = 1
	бел	B	Б	1 B = (1/2)ln 10 Np

# 2 Погрешности измерений



## Основные характеристики законов распределения

Полным описанием случайной величины является ее закон распределения, а следовательно, и случайной погрешности и суммарной погрешности.

Существуют различные законы распределения случайной величины.

В практике измерений наиболее распространенным законом распределения случайной погрешности является **нормальный закон** (Гаусса).

Сравнительно часто встречается **равномерный закон** распределения случайной величины. Другие законы распределения приведены в ГОСТ 8.011 – 72 «ГСИ. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений».

*Математическое ожидание ряда наблюдений (МО)* – величина, относительно которой рассеиваются результаты отдельных наблюдений. Если систематические погрешности отсутствуют и разброс результатов отдельных измерений обусловлен только случайными погрешностями, то математическое ожидание такого ряда наблюдений будет истинное значение измеряемой величины. Если результат измерения содержит систематическую и случайную погрешности, то математическое ожидание такого ряда наблюдений будет смещено от истинного значения измеряемой величины на значение систематической погрешности.

*Дисперсия ряда наблюдений (D)* характеризует степень рассеивания (разброса) результатов отдельных наблюдений вокруг математического ожидания. Чем меньше дисперсия, тем меньше разброс отдельных результатов, тем точнее выполнены измерения. Таким образом, дисперсия может служить характеристикой точности проведенных измерений.

Поскольку единицей измерения дисперсии является квадрат измеряемой величины, то для оценки точности используется величина, равная корню квадратному из дисперсии и называемая *среднее квадратическое отклонение  $\sigma$* .

Из теории вероятности известно, что *оценкой математического ожидания* является *среднее арифметическое* результатов отдельных наблюдений

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

*Оценка дисперсии* ряда наблюдений рассчитывается по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$$

Среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений является основной характеристикой размера случайных погрешностей результатов наблюдений. Формула для расчета *оценки среднего квадратического отклонения*

$$\sigma = \pm \sqrt{D} .$$

**Доверительный интервал случайной погрешности** – это интервал, в который с заданной доверительной вероятностью попадают значения случайной погрешности. Доверительный интервал может быть установлен, если известны закон распределения случайной погрешности и характеристики этого закона.

ГОСТ устанавливает следующую форму представления результата измерения

$$\bar{X}; \Delta \text{ от } \Delta_n \text{ до } \Delta_k; P$$

Где  $\bar{x}$  – результат измерения (среднее арифметическое значение);

$\Delta$ ,  $\Delta_n$ ,  $\Delta_k$  – абсолютная погрешность измерения с нижней и верхней границами;

$P$  – доверительная вероятность, с которой погрешность находится в этих границах.

В практике измерений применяют различные значения доверительной вероятности  $P = 0,90; 0,95; 0,98; 0,99; 0,9973$  и  $0,999$ .

При нормальном законе распределения случайной погрешности часто пользуются доверительным интервалом от  $+3\sigma$  до  $-3\sigma$  с доверительной вероятностью  $0,99730$ .

Данная доверительная вероятность означает, что в среднем из 370 случайных погрешностей только одна будет превышать значение  $= 3\sigma$ .



**Обработку ряда наблюдений** следует выполнять в соответствии с методикой по ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».

При выполнении этой последовательности действий руководствуются следующими правилами:

- проверку гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению проводят с уровнем значимости  $\alpha$ , выбираемым в диапазоне от 0.02 до 0.1;

- при определении доверительных границ погрешности результата измерения доверительную вероятность  $P$  принимают равной 0.95.

Подробнее познакомимся при выполнении Лабораторной работы

# Решение задач

## Контрольный тест

## Список литературы:

1. Правиков, Ю.М. Метрологическое обеспечение производства: учебное пособие / Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина. – М.: КНОРУС, 2012. – 240 с.

2. Радкевич, М. Я. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для бакалавров / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2014. – 813 с.

3. Бекалай Н.Қ. Жылутехникалық өлшеулер және бақылау. Оқу құралы/ Н.Қ.Бекалай. - Астана: Фолиант, 2014.-144 бет.

4. Бекалай Н.Қ. Теплотехнические измерения и автоматизация теплотехнических процессов: Учебное пособие/ Н.Қ.Бекалай. – Алматы: Қазақ университеті, 2019. – 272 с.

5. Сергеев, А.Г. Метрология, стандартизация и сертификация: учебник и практикум для академического бакалавриата. В 2 ч. / А.Г. Сергеев, В.В. Терегеря. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2016. – Ч. 1 – 421 с.; Ч. 2 – 420 с.