Метрология и стандартизация

Лекция № 1. Предмет и задачи метрологии, основные понятия. Величины, шкалы и единицы измерений. Система СИ. Виды измерений

Цель и результаты обучения

Цель: сформировать целостное представление о метрологии как науке об измерениях, их единстве и точности; освоить базовые понятия, шкалы и единицы СИ.

РО 1. Понятия и термины

ИД 1.1 — сравнивает виды измерений и шкалы.

ИД 1.2 — объясняет ключевые понятия.

ИД 1.3 — классифицирует единицы и приставки СИ.

РО 4. Погрешности

Базовый уровень: понимает вероятностную природу результата измерения.

ИД 4.3 — объясняет причины погрешностей, опираясь на аксиомы и постулаты метрологии.

Что изучает метрология

Метрология

наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности (греч. metron — мера, logos — учение)

1

Измерения

получение значений величин

2

Единство

результаты в допущенных единицах

3

Точность

погрешность в известных границах

Предмет и задачи метрологии

Предмет

Получение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью

Главная задача: обеспечение единства и требуемой точности измерений

Основные задачи

1. Общая теория измерений
2. Единицы величин и системы единиц
3. Методы и средства измерений; оценка точности
4. Эталоны, поверка, калибровка, методики измерений

Разделы метрологии

1

Теоретическая

Разрабатывает основы: теорию измерений, единиц величин, погрешностей

2

Законодательная

Устанавливает обязательные требования к единицам, эталонам, методам и средствам измерений. В РК: Закон № 53-II

3

Практическая

Применяет результаты теории и законодательства: поверка, калибровка, измерения

Система обеспечения единства измерений в РК

Правительство РК

Уполномоченный орган: Комитет технического регулирования и метрологии МТИ РК

ГНМЦ

РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии»: госэталоны, реестр

Госорганы

в пределах компетенции; перечни измерений госрегулирования

Субъекты

поверка, калибровка, методики измерений

Объекты системы (ст. 7)

единицы величин; госэталоны и эталоны; средства измерений; стандартные образцы; методики поверки, калибровки и измерений

Правовая основа: Закон РК № 53-II

Закон от 7 июня 2000 г.

Об обеспечении единства измерений; действует в редакции от 25.08.2026

Единство измерений (ст. 1)

Результаты выражены в допущенных единицах, показатели точности не выходят за установленные границы

Цели (ст. 4)

Защита от недостоверных результатов; достоверность в науке; интеграция в международную систему

Прослеживаемость

Допускаются единицы СИ (ст. 9); средства измерений прослеживаемы к госэталонам РК (ст. 11)

Аксиомы и постулаты метрологии

1. Без априорной информации измерение невозможно
2. Измерение есть сравнение с мерой
3. Результат измерения (до округления) — случайная величина

1. Истинное значение величины существует
2. Определить его опытным путём невозможно
3. На время измерения оно постоянно

Следствие: результат — оценка с неопределённостью, а не истинное значение

Классификация величин

Величины

Реальные: физические (измеряемые, оцениваемые по условным шкалам — твёрдость, баллы) и нефизические

Идеальные: математические

Физические величины

- энергетические, вещественные и характеризующие процессы
- размерные и безразмерные
- основные и производные

Класс «дополнительных» величин отменён в 1995 г.

Физическая величина, размер и значение

Физическая величина

Свойство объекта: общее по качеству для многих объектов, индивидуальное по количеству для каждого

Размер

Количественная определённость величины у конкретного объекта; не зависит от выбора единицы

Значение

Размер, выраженный числом принятых единиц: 1 м и 100 см — один размер, разные числа

Истинное и действительное

Истинное опытом недостижимо; действительное найдено опытом и заменяет истинное в данной задаче

Измерение: прямое и косвенное

Измерение — процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые можно обоснованно приписать измеряемой величине (ст. 1 Закона РК)

Прямое

Значение получают непосредственно: длина — штангенциркулем, напряжение — вольтметром

Косвенное

Вычисляют по результатам прямых измерений связанных величин: $R = U / I$; $\rho = m / V$

Отсчёт — фиксация показания прибора в момент времени.

Виды измерений

Признак	Виды
По способу получения	прямые, косвенные, совокупные, совместные
По числу наблюдений	однократные, многократные
По изменению во времени	статические, динамические
По способу выражения	абсолютные, относительные
По точности	равноточные, неравноточные

Совокупные — решают систему уравнений для нескольких одноимённых величин; совместные — для разнородных (поиск зависимости между ними).

Основное уравнение и размерность

Основное уравнение

$$Q = q \cdot [Q]$$

Q — значение; q — числовое значение; [Q] — единица.

Пример: l = 5 м, q = 5, [Q] = м; в сантиметрах q = 500, размер прежний.

Размерность

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\varepsilon} N^{\zeta} J^{\eta}$$

Показатели — целые или дробные числа.

$\dim v = LT^{-1}$; $\dim F = LMT^{-2}$

Безразмерная величина: все показатели равны 0.

Шкалы измерений

Шкала	Допустимо	Пример	Статистики
Наименований	=, ≠	Атлас цветов	мода, частоты
Порядка	+ порядок: <, >	Бофорта, Мооса	+ медиана, квантили
Интервалов	+ разности; нуль условный	°C, °F, дата	+ среднее, СКО
Отношений	+ отношения; нуль естественный	К, кг, м, Па	+ геом. среднее, V
Абсолютная	+ естественная единица	КПД, доли	любые

Отношения значений допустимы только на шкале отношений: 20 °C не «вдвое теплее» 10 °C

Системы единиц

Система	Основные единицы	Особенность
СГС	см, г, с	Три подсистемы, разные электрические единицы
МКГСС	м, кгс, с	Сила — основная; путаница кгс и кг
МТС	м, т, с	Неудобные размеры единиц
Абсолютная практическая	ампер (+ В, Ом, Ф, Вт, Гн)	Не связана с механическими единицами
МКСА → СИ	м, кг, с, А	Согласовала механику и электричество; основа СИ

Виды единиц физических величин

Основная

не зависит от других единиц системы

Производная

образована через основные по уравнению связи

Когерентная

коэффициенты в уравнении связи равны 1

Системная

входит в принятую систему

Внесистемная

вне системы: час, литр, градус угла

Кратная / дольная

в целое число раз больше (км) или меньше (мм)

Допущенные в РК: СИ и единицы по решению уполномоченного органа (ст. 9)

Основные единицы СИ

Величина	dim	Единица	Определяющая константа
Длина	L	метр, м / m	скорость света c
Масса	M	килограмм, кг / kg	постоянная Планка h
Время	T	секунда, с / s	частота Cs-133, ΔvCs
Сила тока	I	ампер, А / A	элементарный заряд e
Термодинам. температура	Θ	кельвин, К / K	постоянная Больцмана k
Количество вещества	N	моль / mol	постоянная Авогадро NA
Сила света	J	кандела, кд / cd	световая эффективность Kcd

С 20 мая 2019 г. все основные единицы определяются через константы. Радиан и стерадиан — безразмерные производные единицы (класс «дополнительных» отменён в 1995 г.).

Производные единицы СИ (1)

Величина	Размерность	Единица	Обозн.	Через СИ
Плоский угол	1	радиан	rad / рад	$m \cdot m^{-1} = 1$
Телесный угол	1	стерадиан	sr / ср	$m^2 \cdot m^{-2} = 1$
Частота	T^{-1}	герц	Hz / Гц	s^{-1}
Сила	LMT^{-2}	ньютон	N / Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Pa / Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа	L^2MT^{-2}	джоуль	J / Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	L^2MT^{-3}	ватт	W / Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Электрический заряд	TI	кулон	C / Кл	$s \cdot A$
Напряжение, ЭДС	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	V / В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая ёмкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F / Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрич. сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ω / Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрич. проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S / См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$

Производные единицы СИ (2)

Величина	Размерность	Единица	Обозн.	Через СИ
Магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb / Вб	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T / Тл	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	H / Гн	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Температура Цельсия	Θ	градус Цельсия	°C	K (t = T − 273,15)
Световой поток	J	люмен	lm / лм	cd·sr
Освещённость	$L^{-2}J$	люкс	lx / лк	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Активность радионуклида	T^{-1}	беккерель	Bq / Бк	s^{-1}
Поглощённая доза	L^2T^{-2}	грей	Gy / Гр	$m^2 \cdot s^{-2}$
Эквивалентная доза	L^2T^{-2}	зиверт	Sv / Зв	$m^2 \cdot s^{-2}$
Активность катализатора	NT^{-1}	катал	kat / кат	$mol \cdot s^{-1}$

Грей и зиверт имеют одинаковую размерность, но разный физический смысл — их нельзя смешивать

Приставки для кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка	Обозн.
10^{30}	кветта	Q / –
10^{27}	ронна	R / –
10^{24}	иотта	Y / И
10^{21}	зетта	Z / З
10^{18}	экса	E / Э
10^{15}	пета	P / П
10^{12}	тера	T / Т
10^{9}	гига	G / Г
10^{6}	мега	M / М
10^{3}	кило	k / к
10^{2}	гекто	h / г
10^{1}	дека	da / да

Множитель	Приставка	Обозн.
10^{-1}	деци	d / д
10^{-2}	санти	c / с
10^{-3}	милли	m / м
10^{-6}	микро	μ / мк
10^{-9}	нано	n / н
10^{-12}	пико	p / п
10^{-15}	фемто	f / ф
10^{-18}	атто	a / а
10^{-21}	зепто	z / з
10^{-24}	иокто	y / и
10^{-27}	ронто	r / –
10^{-30}	квекто	q / –

Приставки R, Q, r, q приняты в 2022 г. (27-я ГКМВ); русские обозначения не установлены.

Заключение

1. Метрология обеспечивает единство и требуемую точность измерений; в РК это регулирует Закон № 53-II.

2. Результат измерения — оценка со случайной составляющей; истинное значение опытом недостижимо.

3. СИ: семь основных единиц, определённых через константы, и приставки от 10^{-30} до 10^{30}.

Далее: теория погрешностей и статистическая обработка результатов

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение метрологии; назовите предмет, главную задачу и разделы.
2. Каковы объекты и субъекты метрологии? Что такое единство измерений?
3. Сформулируйте аксиомы и постулаты метрологии.
4. Чем отличаются истинное и действительное значения?
5. Запишите основное уравнение измерения и формулу размерности.
6. Чем прямые измерения отличаются от косвенных? Приведите примеры.
7. Охарактеризуйте пять шкал; какие статистики допустимы для каждой?
8. Назовите семь основных единиц СИ и их определяющие константы.
9. Как образуются кратные и дольные единицы? Приведите примеры приставок.

Список источников

Нормативные и справочные

1. Закон РК от 7 июня 2000 г. № 53-II «Об обеспечении единства измерений» (по состоянию на 25.08.2026).
2. ГОСТ 8.417-2024. ГСИ. Единицы величин.
3. РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
4. JCGM 200:2012. Международный словарь по метрологии (VIM, 3-е изд.).
5. BIPM. The International System of Units (SI Brochure), 9th ed., 2019.

Учебная литература

6. Козлова Т. Н. Основы метрологии, стандартизации и сертификации. — СПб.: Лань, 2019.
7. Метрология и измерения / под ред. И. И. Акимова. — Алматы: КазНУ, 2020.
8. Папулин В. Н. Метрология, стандартизация и сертификация. — М.: Академия, 2018.