

Международная система единиц СИ: краткий справочник

Метрология – это наука об измерениях, охватывающая все измерения, проводимые с известной степенью точности, в любой области человеческой деятельности.

Международное Бюро Мер и Весов (МБМВ) было основано Статьей 1 Метрической Конвенции 20-го мая 1875 г. с задачей создания основы единой когерентной системы измерений, применяемой во всем мире. Десятичная метрическая система, берущая начало со времен Французской революции, первоначально основывалась на метре и килограмме. Затем, по решению конвенции 1875 г., были созданы международные прототипы метра и килограмма, которые были официально утверждены первой Генеральной Конференцией Мер и Весов (ГКМВ) в 1889 г. Со временем эта система единиц развивалась, и сейчас она включает семь основных единиц. В 1960 г. на 11-ой ГКМВ было принято решение назвать ее *Système International d'Unités*, SI, (Международной системой единиц, СИ). Система СИ не является статичной системой, а развивается с учетом возрастающих требований к измерениям всех уровней точности в науке, технике и других областях человеческой деятельности.

Этот документ, являясь переводом *A concise summary of the International System of Units, the SI*, официальной публикации МБМВ, представляет краткое описание современного состояния системы СИ согласно 8-му изданию **Брошюры СИ**¹.

Семь **основных единиц** СИ, приведенных в Таблице 1, создают основу для определения всех остальных единиц измерений Международной системы единиц. По мере развития науки и совершенствования измерительной техники определения единиц пересматриваются. Чем выше точность измерений, тем более тщательно должны быть реализованы единицы измерений.



Международный прототип килограмма, \mathcal{K} , единственный оставшийся артефакт, используемый для определения основной единицы СИ.

¹ В Российской Федерации применение системы СИ регулируется российским законодательством (ГОСТами), и перевод документа МКМВ по системе единиц СИ не является официальным документом.

Таблица 1 Семь основных единиц СИ

Величина	Единица, символ²: определение единицы
длина	метр, м (m): Метр – это длина пути, проходимого светом в вакууме за промежуток времени $1/299\,792\,458$ доли секунды. <i>Из определения следует, что скорость света в вакууме, c_0, равна $299\,792\,458$ м/с точно.</i>
масса	килограмм, кг (kg): Килограмм – это единица массы, равная массе международного прототипа килограмма. <i>Из определения следует, что масса международного прототипа килограмма, $m(K)$, всегда точно равна 1 кг.</i>
время	секунда, с (s): Секунда – это интервал времени, равный $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. <i>Из определения следует, что величина сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия-133, $\nu(\text{hfs Cs})$, равна $9\,192\,631\,770$ Гц точно.</i>
электрический ток (сила электрического тока)	ампер, А (A): Ампер – это сила постоянного тока, который, при прохождении по двум прямолинейным параллельным проводникам бесконечной длины и пренебрежимо малого кругового сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 метр один от другого, вызывает силу, равную 2×10^{-7} ньютон, на каждом участке проводника длиной в 1 метр. <i>Из определения следует, что магнитная постоянная (вакуума), μ_0, также известная как магнитная проницаемость вакуума, равна $4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м точно.</i>
термодинамическая температура	кельвин, К (K): Кельвин – это единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды. <i>Из определения следует, что термодинамическая температура тройной точки воды, T_{TPW}, равна $273,16$ К точно.</i>
количество вещества	моль, моль (mol): 1. Моль – это количество вещества системы, которая содержит столько же частиц, сколько атомов содержится в $0,012$ килограммах углерода-12. 2. При использовании моля частицы должны быть указаны; это могут быть атомы, молекулы, ионы, электроны и другие частицы или определенные группы таких частиц. <i>Из определения следует, что молярная масса углерода-12, $M(^{12}\text{C})$, равна 12 г/моль точно.</i>
сила света	кандела, кд (cd): Кандела – это сила света в заданном направлении от источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540×10^{12} герц, энергетическая сила которого в этом направлении составляет $1/683$ ватт настерадиан. <i>Из определения следует, что спектральная эффективность свечения, K, монохроматического излучения частотой 540×10^{12} Гц равна 683 лм/Вт точно.</i>

Семью **основными величинами**, связанными с семью **основными единицами**, являются длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и

² В России допускается применение как российских (кг), так и международных (kg) символов, которые и приводятся во всех таблицах. Не рекомендуется одновременно применение обоих типов символов в одном документе.

сила света. **Основные величины и основные единицы** вместе с их обозначениями приведены в Таблице 2.

Таблица 2 Основные величины и основные единицы СИ

Основная величина	Обозначение	Основная единица	Обозначение	
			русское	международное
длина	l, h, r, x	метр	м	m
масса	m	килограмм	кг	kg
время	t	секунда	с	s
сила электрического тока	I, i	Ампер	А	A
термодинамическая температура	T	кельвин	К	K
количество вещества	n	моль	моль	mol
сила света	I_v	кандела	кд	cd

Все остальные величины рассматриваются как **производные величины** и измеряются в **производных единицах**, которые определяются как результат произведения степеней основных единиц. Примеры производных величин и единиц приведены в Таблице 3.

Таблица 3 Примеры производных величин и единиц

Производные величины	Обозначение	Производные единицы	Обозначение	
			русское	международное
площадь	A	квадратный метр	м ²	m ²
объем	V	кубический метр	м ³	m ³
скорость	v	метр в секунду	м/с	m/s
ускорение	a	метр на секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²
волновое число	$\sigma, \tilde{\nu}$	метр в минус первой степени	м ⁻¹	m ⁻¹
плотность, массовая плотность	ρ	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
поверхностная плотность	ρ_A	килограмм на метр в квадрате	кг/м ²	kg/m ²
удельный объем	v	кубический метр на килограмм	м ³ /кг	m ³ /kg
плотность электрического тока	j	ампер на квадратный метр	А/м ²	A/m ²
напряженность магнитного поля	H	ампер на метр	А/м	A/m
молярная концентрация	c	моль на кубический метр	моль/м ³	mol/m ³
массовая концентрация	ρ, γ	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
яркость	L_v	кандела на квадратный метр	кд/м ²	cd/m ²
коэффициент отражения	n	число единица	1	1
относительная проницаемость	μ_r	число единица	1	1

Коэффициент отражения и относительная проницаемость являются примерами безразмерных величин, для которых единицами СИ является число единица, 1; эти единицы обычно не пишутся.

Некоторым **производным единицам** даны **специальные названия**, которые являются просто компактными формами представления часто используемых комбинаций **основных величин**. Так,

например, джоуль, кратко обозначаемый Дж (J), по определению равен комбинации $\text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-2}$ ($\text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-2}$). В настоящее время в системе СИ приняты 22 специальных названия единиц, приведенные в Таблице 4.

Таблица 4 Производные единицы СИ, имеющие специальные названия

Производная величина	Название производной единицы	Обозначение единицы		Выражение через основные единицы СИ
		русское	международное	
плоский угол	радиан	рад	rad	$\text{м}/\text{м} = 1$
телесный угол	стерадиан	ср	sr	$\text{м}^2/\text{м}^2 = 1$
частота	герц	Гц	Hz	с^{-1}
сила	ньютон	Н	N	$\text{м} \text{кг} \text{с}^{-2}$
давление, напряжение	паскаль	Па	Pa	$\text{Н}/\text{м}^2 = \text{м}^{-1} \text{кг} \text{с}^{-2}$
энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	J	$\text{Н} \text{м} = \text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-2}$
мощность, поток излучения	ватт	Вт	W	$\text{Дж}/\text{с} = \text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-3}$
электрический заряд, количество электричества	кулон	Кл	C	$\text{с} \text{А}$
разность электрических потенциалов	вольт	В	V	$\text{Вт}/\text{А} = \text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-3} \text{А}^{-1}$
емкость	фарад	Ф	F	$\text{Кл}/\text{В} = \text{м}^{-2} \text{кг}^{-1} \text{с}^4 \text{А}^2$
электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω	$\text{В}/\text{А} = \text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-3} \text{А}^{-2}$
электрическая проводимость	сименс	См	S	$\text{А}/\text{В} = \text{м}^{-2} \text{кг}^{-1} \text{с}^3 \text{А}^2$
магнитный поток	вебер	Вб	Wb	$\text{В} \text{с} = \text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-2} \text{А}^{-1}$
магнитная индукция	тесла	Т	T	$\text{Вб}/\text{м}^2 = \text{кг} \text{с}^{-2} \text{А}^{-1}$
индуктивность	генри	Гн	H	$\text{Вб}/\text{А} = \text{м}^2 \text{кг} \text{с}^{-2} \text{А}^{-2}$
температура Цельсия	градус Цельсия	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	К
световой поток	люмен	лм	lm	$\text{кд} \text{ср} = \text{кд}$
освещенность	люкс	лк	lx	$\text{лм}/\text{м}^2 = \text{м}^{-2} \text{кд}$
активность нуклида в радиоактивном источнике (активность радионуклида)	беккерель	Бк	Bq	с^{-1}
поглощенная доза ионизирующего излучения, специальная энергия (поглощенная), керма	грей	Гр	Gy	$\text{Дж}/\text{кг} = \text{м}^2 \text{с}^{-2}$
эквивалентная доза ионизирующего излучения, эффективная доза ионизирующего излучения	зиверт	Зв	Sv	$\text{Дж}/\text{кг} = \text{м}^2 \text{с}^{-2}$
активность катализатора	катал	кат	kat	$\text{с}^{-1} \text{моль}$

Две единицы, герц и беккерель, равны обратной секунде, однако, герц используется только для периодических явлений, а беккерель для случайных процессов при радиоактивном распаде.

Единицей температуры по шкале Цельсия является градус Цельсия, $^{\circ}\text{C}$, величина которого равна кельвину, К, единице термодинамической температуры. Величина температуры Цельсия t связана с термодинамической температурой T соотношением $t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273,15$.

Зиверт также используется для измерения величины направленного эквивалента дозы и величины эквивалента индивидуальной дозы.

Последние четыре специальных наименования единиц в Таблице 4 были введены специально с учетом измерений, связанных с безопасностью и охраной здоровья.

Для каждой величины принята только одна единица СИ (однако, часто она может по-разному выражаться через единицы со специальными наименованиями). Одна и та же единица СИ может использоваться для нескольких различных величин (например, единица Дж/К применяется для измерения и теплоемкости, и энтропии). Поэтому важно указывать не только единицу для характеристики величины, но и саму измеряемую величину. Это относится как к научным

работам, так и к измерительной технике (т.е., в показаниях приборов необходимо указывать и единицу, и соответствующую величину).

Безразмерные величины, также называемые величинами размерности единицы, обычно определяются как отношение двух величин одного типа (например, коэффициент отражения – это отношение двух скоростей, а относительная диэлектрическая проницаемость – это отношение диэлектрической проницаемости диэлектрика к диэлектрической проницаемости вакуума). Таким образом, единицы безразмерных величин являются отношением двух тождественных единиц СИ, и поэтому они всегда равны единице. При представлении значения безразмерной величины обозначение единицы, 1, опускается.

Десятичные кратные и дольные единицы системы СИ

В системе СИ принят набор приставок к единицам, используемых в случае, когда значения измеряемых величин много больше, либо много меньше, чем единица СИ, используемая без приставки. Приставки СИ перечислены в Таблице 5. Они могут использоваться с любыми **основными единицами** и **производными единицами**, имеющими специальное наименование.

Таблица 5 Приставки СИ

Множитель	Наименование	Обозначение		Множитель	Наименование	Обозначение	
		русское	международное			русское	международное
10^1	дека	да	da	10^{-1}	деци	д	d
10^2	гекто	г	h	10^{-2}	санتي	с	c
10^3	кило	к	k	10^{-3}	милли	м	m
10^6	мега	М	M	10^{-6}	микро	мк	μ
10^9	гига	Г	G	10^{-9}	нано	н	n
10^{12}	тера	Т	T	10^{-12}	пико	п	p
10^{15}	пета	П	P	10^{-15}	фемто	ф	f
10^{18}	экса	Э	E	10^{-18}	атто	а	a
10^{21}	зетта	З	Z	10^{-21}	зепто	з	z
10^{24}	иотта	И	Y	10^{-24}	иокто	и	y

Приставка и наименование единицы пишутся слитно; обозначение приставки и единицы представляет собой единый символ, который может быть возведен в любую степень. Например, можно писать: километр, км; микровольт, мкВ; фемтосекунда, фс; $50 \text{ В/см} = 50 \text{ В} (10^{-2} \text{ м})^{-1} = 5000 \text{ В/м}$.

Набор единиц, получающийся при использовании **основных** и **производных единиц** без приставок, является когерентным. Использование когерентного набора единиц имеет технические преимущества (смотри **Брошюру СИ**). Однако использование приставок оправдано тем, что оно позволяет избегать использования фактора 10^n для обозначения очень больших или очень маленьких величин. Например, длину химической связи удобнее приводить в нанометрах, нм, чем в метрах, м, а расстояние от Лондона до Парижа удобнее приводить в километрах, км, чем в метрах, м.

Килограмм, кг, по историческим причинам является исключением из общего правила: несмотря на то, что это **основная единица**, ее название уже содержит приставку. Десятичные кратные и дольные единицы килограмма обозначаются присоединением приставки к наименованию единицы грамм: так следует писать миллиграмм, мг, а не микрокилограмм, мккг.

Единицы, не входящие в систему СИ

Система СИ – единственная универсальная система единиц, поэтому она имеет явное преимущество при международном общении. Прочие единицы, т.е. не единицы СИ, в основном определяются в терминах единиц СИ. Использование системы СИ также предпочтительно для научного образования. По этим причинам использование СИ рекомендовано во всех областях науки и техники.

Тем не менее, некоторые единицы, не входящие в систему СИ, все еще широко используются. Некоторые, такие как единицы времени минута, час и сутки, будут использоваться всегда, потому что они являются составной частью нашей культуры. Другие единицы используются по историческим причинам, для удовлетворения потребностей специфических групп людей, или потому, что у них нет подходящей альтернативы в СИ. Выбор единиц, наиболее подходящих для решения тех или иных задач, остается неотъемлемым правом ученого. Однако при использовании единиц, не принадлежащих системе СИ, следует указывать переводные множители между используемыми единицами и единицами СИ. Несколько единиц, не входящих в систему СИ, приведены в Таблице 6 вместе с соответствующими переводными множителями. Более полный список можно найти в **Брошюре СИ** или на веб-сайте МБМВ.

Таблица 6 *Некоторые внесистемные единицы*

Величина	Единица	Обозначение		Значение в единицах СИ
		русское	международное	
время	минута	мин	min	1 мин = 60 с
	час	ч	h	1 ч = 3600 с
	сутки	сут	d	1 сут = 86 400 с
объем	литр	л	L или l	1 л = 1 дм ³
масса	тонна	т	t	1 т = 1000 кг
энергия	электронвольт	эВ	eV	1 эВ $\approx 1,602 \times 10^{-19}$ Дж
давление	бар	бар	bar	1 бар = 100 кПа
	миллиметр ртутного столба	мм рт. ст.	mmHg	1 мм рт. ст. $\approx 133,3$ Па
длина	ангстрем	Å	Å	1 Å = 10 ⁻¹⁰ м
	морская миля		M	1 морская миля = 1852 м
сила	дина	дин	dyn	1 дин = 10 ⁻⁵ Н
энергия	эрг	э	erg	1 э = 10 ⁻⁷ Дж

Обозначения единиц начинаются с прописной буквы, если их наименование происходит от имени собственного (например, ампер, А; кельвин, К; герц, Гц; кулон, Кл). В остальных случаях символы единиц начинаются со строчной буквы (например, метр, м; секунда, с; моль). Международное обозначение литра является исключением и может писаться как строчной, l, так и прописной буквой, L, во избежание путаницы между строчной буквой l и единицей, l. Для морской мили в Таблице как международное обозначение указан символ M, однако общепринятого международного обозначения морской мили не существует.

Язык науки: использование системы СИ для выражения значений (физических) величин

Значение величины записывается как произведение некоторого числа и единицы; число, умножаемое на единицу, является численным значением величины в этих единицах. Между числом и единицей следует оставлять пробел. Для безразмерных величин, т. е. величин, единицами которых является число 1, единицы опускаются. Численное значение зависит от

выбора единицы, так что одному и тому же значению (физической) величины в разных единицах будут соответствовать разные численные значения, как показано в приведенных примерах.

Скорость велосипеда приблизительно равна

$$v = 5,0 \text{ м/с} = 18 \text{ км/ч.}$$

Длина волны одной из желтых линий натрия составляет

$$\lambda = 5,896 \times 10^{-7} \text{ м} = 589,6 \text{ нм.}$$

Обозначение величины печатается курсивом (наклонным шрифтом). Как правило, используются однобуквенные символы с использованием латинского или греческого алфавита.. Возможно использование как прописных, так и строчных букв, а дополнительная информация может быть добавлена как индекс или указана в скобках.

Существуют международные рекомендованные обозначения³ для многих величин, введенные организациями, такими как ИСО (Международная Организация по Стандартизации) и различными научными объединениями, такими как IUPAP (Международный союз чистой и прикладной физики) и IUPAC (Международный союз чистой и прикладной химии).

Примеры обозначений:

T для температуры

C_p для теплоемкости при постоянном давлении

x_i для молярной концентрации компонента i

μ_t для относительной магнитной проницаемости

$m(\mathcal{K})$ для массы международного прототипа килограмма \mathcal{K} .

Символы единиц обозначаются при печати прямым шрифтом вне зависимости от типа шрифта окружающего текста. Они являются математическими объектами, а не сокращениями, за ними никогда не следует точка (за исключением случая, когда предложение заканчивается символом)⁴. Правильное использование обозначений обязательно, и в случае международных обозначений показано на примерах в **Брошюре СИ**. Иногда единицы могут обозначаться более чем одной буквой. Они пишутся прописными буквами, за исключением случаев, когда название единицы образовано от имени собственного и первая буква в обозначении должна быть прописной. Однако, если наименование единицы приводится целиком, то его следует писать со строчной буквы (за исключением начала предложения), чтобы отличать название единицы от имени человека.

При записи значения величины как произведения численного значения и единицы, как к числу, так и к единице применимы обычные алгебраические операции. Например, уравнение $T = 293 \text{ К}$ может быть записано как $T/\text{К} = 293$. Часто удобно озаглавить столбцы таблицы или разметить оси на графике так, чтобы внутри таблицы или по оси графика располагались только числа. Ниже, как пример, приведена таблица изменения давления пара и логарифма этого давления как функции температуры и обратной температуры. Столбцы озаглавлены соответствующим образом.

$T/\text{К}$	$10^3 \text{ К}/T$	$p/\text{МПа}$	$\ln(p/\text{МПа})$
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Вместо $10^3 \text{ К}/T$ можно использовать эквивалентные формы записи, такие как $\text{кК}/T$ или $10^3 (T/\text{К})^{-1}$.

При образовании произведения или частного к единицам применяются обычные алгебраические правила. При печати произведения единиц следует оставлять между ними пробел (или

³ В Российской Федерации рекомендованные обозначения определяются российским законодательством.

⁴ Некоторые внесистемные единицы описательного характера, принятые в Российской Федерации, являются исключением из этого правила, как, например, мм рт. ст.

использовать точку, центрированную на половинной высоте строки между обозначениями единиц, как знак умножения). Правильное использование пробела очень важно. Например, м с обозначает произведение метра на секунду, а мс обозначает миллисекунду. Для сложной комбинации единиц рекомендуется использовать скобки и отрицательные показатели степени во избежание неопределенностей. Например, универсальная газовая постоянная равна

$$\begin{aligned} pV_m/T = R &= 8,314 \text{ Па м}^3 \text{ моль}^{-1} \text{ К}^{-1} \\ &= 8,314 \text{ Па м}^3/(\text{моль К}). \end{aligned}$$

Во многих странах десятичный разделитель между целой и дробной частью числа обозначается точкой, а не запятой.

Если численное значение содержит много знаков, то их обычно группируют по три от знака конца целой части для упрощения прочтения. Это не обязательно, но часто используется и, в целом, удобно. В этом случае группы из трех чисел должны быть разделены (небольшим) пробелом. Погрешность численного значения величины часто указывают, приводя ее значение в единицах последней значащей цифры в скобках после самого значения.

Пример: Рекомендованное значение (КОДАТА, 2002) величины элементарного заряда приводится как

$$e = 1,602\ 176\ 53\ (14) \times 10^{-19} \text{ Кл},$$

где 14 является стандартной погрешностью, приведенной в единицах последнего знака численного значения величины.

За более подробной информацией можно обратиться на веб-сайт МБМВ или к 8-му изданию **Брошюры СИ**, доступному на сайте <http://www.bipm.org/en/si>. Планируется перевод этого издания на русский язык.

Данный перевод сделан с *A concise summary of the International System of Units, the SI*, официального документа, подготовленного Консультативным Комитетом по единицам (ККЕ) Международного Комитета Мер и Весов (МКМВ), утвержденного Э. Гобелем (президентом МКМВ), Я. Майлсом (президентом ККЕ) и Э. Воллардом (директором МБМВ) и опубликованного МБМВ в мае 2006.



Перевод подготовлен С. Г. Каршенбоймом и Е. Ю. Корзининым (ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) с разрешения ККЕ и отпечатан РТВ для КООМЕТ. Не является официальным изданием по системе СИ. В Российской Федерации применение системы СИ основывается на российском законодательстве, отдельные положения которого в области терминологии и обозначений могут содержать дополнительные положения.

При переводе добавлено несколько сносок и опущены незначительные фрагменты, имеющие смысл только для англоязычного читателя.