

# МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

*Рекомендовано  
Федеральным государственным учреждением  
«Федеральный институт развития образования»  
в качестве учебного пособия для использования в учебном процессе  
образовательных учреждений, реализующих программы  
среднего профессионального образования*

3-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 389(075.32)  
ББК 30.10я723  
М576

Рецензент —  
преподаватель дисциплин «Метрология, стандартизация и сертификация»  
и «Метрологическое обеспечение» ГОУ СПО электромеханического  
колледжа № 55 С. С. Зайцева

**Метрология**, стандартизация и сертификация в энергетике  
М576 ке : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образова-  
ния / [С. А. Зайцев, А. Н. Толстов, Д. Д. Грибанов, Р. В. Мерку-  
лов]. — 3-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Акаде-  
мия», 2013. — 224 с.

ISBN 978-5-7695-9697-1

Учебное пособие может быть использовано при изучении общепрофес-  
сиональной дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация» в  
соответствии с ФГОС СПО для специальностей укрупненной группы 140000  
«Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника».

Рассмотрены основы метрологии и метрологического обеспечения: тер-  
мины, физические величины, основы теории измерений, средства изме-  
рений и контроля, метрологические характеристики, измерения и конт-  
роль электрических и магнитных величин. Изложены основы стандартиза-  
ции: история развития, нормативно-правовая основа, международная, ре-  
гиональная и отечественная, унификация и агрегатирование, качество про-  
дукции. Особое внимание уделено основам сертификации и подтвержде-  
нию соответствия.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 389(075.32)  
ББК 30.10я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Зайцев С. А., Толстов А. Н., Грибанов Д. Д., Мерку-  
лов Р. В., 2009

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2009

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2009

ISBN 978-5-7695-9697-1

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современная техника и перспективы ее развития, постоянно повышающиеся требования к качеству изделий определяют необходимость получения и использования знаний, которые являются базовыми, т. е. основными для всех специалистов, работающих и на этапе разработки конструкции, и на этапе ее изготовления, и на этапах эксплуатации и обслуживания вне зависимости от ведомственной принадлежности. Эти знания будут востребованы и в общем машиностроении, и в энергомашиностроении, и во многих других областях. Эти базовые материалы и рассмотрены в настоящем учебном пособии. Материал, который представлен в учебном пособии, не является обособленным от других дисциплин, изучаемых в учебном заведении. Знания, полученные в ходе изучения ряда дисциплин, например «Математики», «Физики», пригодятся при освоении вопросов метрологии, стандартизации, подтверждения соответствия, взаимозаменяемости. Знания, умения и практические навыки после изучения этого учебного материала будут востребованы на протяжении всего времени работы после окончания учебного заведения вне зависимости от места работы, будь то сфера производства или сервисного обслуживания, или сфера торговли техническими механизмами или машинами.

В главе 1 представлены основные понятия о науке «Метрология», рассмотрены основы теории измерений, средства измерений и контроля электрических и магнитных величин, вопросы метрологического обеспечения и единства измерений.

Глава 2 рассказывает о системе стандартизации в Российской Федерации, системах стандартов, унификации и агрегатировании, вопросах взаимозаменяемости деталей, узлов и механизмов, показателях качества продукции, системах качества.

Материал, представленный в главе 3, позволит изучить и практически использовать знания в области сертификации, подтверждения соответствия продукции и работ, аттестации испытательного оборудования, используемого в энергомашиностроении.

Для лучшего усвоения представленного материала в конце каждого подраздела приведены контрольные вопросы.

Предисловие, глава 2 написаны А. Н. Толстовым, глава 1 — С. А. Зайцевым, Р. В. Меркуловым, Д. Д. Грибановым, глава 3 — Д. Д. Грибановым.

# ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 1.1. Введение в метрологию

*Метрология* — это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Она зародилась в глубокой древности, как только человеку понадобились измерения массы, длины, времени и т. п. Причем в качестве единиц величин использовались такие, которые были всегда «под рукой». Так, например, в России длина измерялась перстами, локтями, саженьями и др. Эти меры представлены на рис. 1.1.

Роль метрологии за последние десятилетия чрезвычайно возросла. Она проникла и завоевала (в некоторых областях завоевывает) себе весьма твердые позиции. В связи с тем, что метрология распространилась практически на все области человеческой деятельности, метрологическая терминология тесно соприкасается с терминологией каждой из «специальных» сфер. При этом возникло что-то, напоминающее явление несовместимости. Тот или иной термин, приемлемый для одной области науки или техники, оказывается неприемлемым для другой, так как в традиционной терминологии другой области этим же словом может обозначаться совершенно другое понятие. Например, размер по отношению к одежде может обозначать «большой», «средний» и «малый»; слово «полотно» может иметь различные значения: в текстильной промышленности — это материал (льняное полотно); применительно к железнодорожному транспорту оно обозначает путь, по которому этот транспорт движется (полотно железной дороги).

В целях наведения порядка в этом вопросе был разработан и утвержден государственный стандарт на метрологическую терминологию — ГОСТ 16263 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения». В настоящее время этот ГОСТ заменен РМГ 29—99 «ГСИ. Метрология. Термины и определения». Далее в учебнике термины и определения представлены в соответствии с этим документом.

Поскольку к терминам предъявляются требования лаконичности, им свойственна определенная условность. С одной стороны,

не следует об этом забывать и применять утвержденные термины в соответствии с их определением, а с другой стороны, понятия, данные в определении, заменять другими терминами.

В настоящее время объектом метрологии являются все единицы измерения физических величин (механических, электрических,

Основные первичные меры					
Сажень	152 см Простая	176 см Мерная (маховая)		216 см Косая (казенная)	1
Полусажень	76 см	76 см	88 см	108 см	1/2
Локоть	38 см	44 см	46 см	54 см	1/4
Пядь	19 см Малая	22 — 23 см Великая		27 см Скувырком	1/8
Дополнительные меры					
Сажень	148 см	Косая (великая)		197 см	Без чети
Локоть	62 см				

Рис. 1.1. Меры длины, ранее применяемые в России

тепловых и др.), все средства измерений, виды и методы измерений, т. е. все то, что необходимо для обеспечения единства измерений и организации метрологического обеспечения на всех этапах жизненного цикла любых изделий и научных исследований, а также учет любых ресурсов.

Современная метрология как наука, опирающаяся на достижения других наук, их методы и средства измерений, в свою очередь способствует их развитию. Метрология проникла во все области человеческой деятельности, во все науки и дисциплины и является для всех них единой наукой. Нет ни одной области человеческой деятельности, где можно было бы обойтись без количественных оценок, получаемых в результате измерений.

Например, относительная погрешность определения влажности, равная 1 %, в 1982 г. привела к неточности определения годовой стоимости угля в 73 млн руб., а зерна — 60 млн руб. Чтобы было более наглядно, метрологи обычно приводят такой пример:

«На складе было 100 кг огурцов. Проведенные измерения показали, что их влажность составляет 99 %, т. е. в 100 кг огурцов содержится 99 кг воды и 1 кг сухого вещества. Через какое-то время хранения вновь была измерена влажность этой же партии огурцов. Результаты измерения, занесенные в соответствующий протокол, показали, что влажность уменьшилась до 98 %. Поскольку влажность изменилась всего на 1 %, то ни у кого не возникло мысли, а какова же масса оставшихся огурцов? А оказывается, что если влажность стала 98 %, то огурцов осталось ровно половина, т. е. 50 кг. И вот почему. Количество сухого вещества в огурцах не зависит от влажности, следовательно, оно не изменилось и как было 1 кг, так и осталось 1 кг, но если раньше это составляло 1 %, то после хранения стало 2 %. Составив пропорцию, легко определить, что огурцов стало 50 кг».

В промышленности значительная часть измерений состава вещества все еще производится с помощью качественного анализа. Погрешности этих анализов иногда бывают в несколько раз выше, чем разница между количествами отдельных компонентов, на которые должны отличаться друг от друга металлы различных марок, химических материалов и др. В результате таких измерений невозможно достичь необходимого качества продукции.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое метрология и почему ей уделяется столько внимания?
2. Какие объекты метрологии вы знаете?
3. Зачем нужны измерения?
4. Возможны ли измерения без погрешностей?

## 1.2. Физическая величина. Системы единиц физических величин

*Физическая величина (ФВ)* — свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Например, длина различных объектов (стола, шариковой ручки, автомобиля и т. п.) может оцениваться в метрах или долях метра, а каждого из них — в конкретных величинах длины: 0,9 м; 15 см; 3,3 мм. Примеры можно привести не только для любых свойств физических объектов, но и для физических систем, их состояний и происходящих в них процессов.

Термин «величина» обычно применяется в отношении тех свойств или характеристик, которые могут быть оценены количественно физическими методами, т. е. могут быть измерены. Существуют такие свойства или характеристики, которые в настоящее время наука и техника еще не позволяют оценивать количественно, например запах, вкус, цвет. Поэтому такие характеристики обычно избегают называть «величинами», а называют «свойствами».

В широком смысле «величина» — понятие многовидовое. Это можно продемонстрировать на примере трех величин.

Первый пример — это цена, стоимость товаров, выраженная в денежных единицах. Раньше системы денежных единиц были составной частью метрологии. В настоящее время это самостоятельная область.

Вторым примером разновидности величин можно назвать биологическую активность лекарственных веществ. Биологическая активность ряда витаминов, антибиотиков, гормональных препаратов выражается в Международных единицах биологической активности, обозначаемых И. Е. (например, в рецептах пишут «количество пенициллина — 300 тыс. И. Е.»).

Третий пример — физические величины, т. е. свойства, присущие физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам). Именно этими величинами, главным образом, и занимается современная метрология.

*Размер ФВ (размер величины)* — количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина» (например, размер длины, массы, силы тока и т. д.).

Термин «размер» следует употреблять в тех случаях, когда необходимо подчеркнуть, что речь идет о количественном содержании свойства в данном объекте физической величины.

*Размерность ФВ (размерность величины)* — выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице. Размер-

ность величины представляет собой произведение основных величин, возведенных в соответствующие степени.

Количественная оценка конкретной физической величины, выраженная в виде некоторого числа единиц данной величины, называется *значением физической величины*. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется *числовым значением*, например 1 м, 5 г, 10 А и т. п. Между значением и размером величины есть принципиальная разница. Размер величины существует реально, независимо от того, знаем ли мы его, или нет. Выразить размер величины можно при помощи любой единицы.

*Истинное значение ФВ (истинное значение величины)* — значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта. Например, скорость света в вакууме, плотность дистиллированной воды при температуре +4 °С имеют вполне определенное значение — идеальное, которое мы не знаем.

Экспериментальным путем может быть получено действительное значение физической величины.

*Действительное значение ФВ (действительное значение величины)* — значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть, использовано вместо него.

Размер ФВ, обозначаемый  $Q$ , не зависит от выбора единицы, однако числовое значение целиком зависит от выбранной единицы. Если размер величины  $Q$  в системе единиц ФВ «1» определится как

$$Q = n_1[Q_1],$$

где  $n_1$  — числовое значение размера ФВ в системе «1»;  $[Q_1]$  — единица ФВ в этой же системе, то в другой системе единиц ФВ «2», в которой  $[Q_2]$  не равно  $[Q_1]$ , не изменившийся размер  $Q$  будет выражен другим значением:

$$Q = n_2[Q_2],$$

но при этом  $n_2 \neq n_1$ .

Так, например, масса одного и того же батона хлеба может быть 1 кг или 2,5 фунта или диаметр трубы равен 20' или 50,8 см.

Поскольку размерность ФВ представляет собой выражение, отражающее связь с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен 1, то размерность равна произведению основных ФВ, возведенных в соответствующую степень.

В общем случае формула размерности для единиц ФВ имеет вид

$$[Q] = K[A]^\alpha[B]^\beta[C]^\gamma,$$

где  $[Q]$  — размерность производной единицы;  $K$  — некоторое постоянное число;  $[A]$ ,  $[B]$  и  $[C]$  — размерность основных единиц;



$\alpha, \beta, \gamma$  — целые положительные или отрицательные числа, включая и 0.

При  $K = 1$  производные единицы определяются следующим образом:

$$[Q] = [A]^\alpha [B]^\beta [C]^\gamma.$$

Если в системе в качестве основных единиц приняты длина  $L$ , масса  $M$  и время  $T$ , она обозначается  $L, M, T$ . В этой системе размерность производной единицы  $Q$  имеет следующий вид:

$$Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma.$$

Системы единиц, производные единицы которых образуются по приведенной выше формуле, называются *согласованными*, или *когерентными*.

Понятие размерности широко используется в физике, технике и метрологической практике при проверке правильности сложных расчетных формул и выяснении зависимости между ФВ.

На практике часто бывает необходимо использовать безразмерные величины.

*Безразмерная ФВ* — это величина, в размерность которой основные величины входят в степени, равной 0. Однако следует понимать, что величины, безразмерные в одной системе единиц, могут иметь размерность в другой системе. Например, абсолютная диэлектрическая проницаемость в электростатической системе является безразмерной, в то время как в электромагнитной системе ее размерность равна  $L^{-2}T^2$ , а в системе  $LMTI$  ее размерность —  $L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$ .

Единицы той или иной физической величины, как правило, связаны с мерами. Размер единицы измеряемой физической величины принимается равным размеру величины, воспроизводимому мерой. Однако на практике одна единица оказывается неудобной для измерения больших и малых размеров данной величины. Поэтому применяется несколько единиц, находящихся в кратных и дольных соотношениях между собой.

*Кратная единица ФВ* — единица, которая в целое число раз больше, чем основная или производная единица.

*Дольная единица ФВ* — единица, которая в целое число раз меньше основной или производной единицы.

Кратные и дольные единицы ФВ образуются благодаря соответствующим приставкам к основным единицам. Эти приставки приведены в табл. 1.1.

Единицы величин начали появляться с того момента, когда у человека возникла необходимость выражать что-либо количественно. Первоначально единицы физических величин выбирались произвольно, без какой-либо связи друг с другом, что создавало значительные трудности.

**Приставки СИ и множители для образования десятичных кратных  
и дольных единиц и их наименования**

Множитель	Обозначение приставки		
	Приставка	русское	международное
$10^{15}$	пета	П	P
$10^{12}$	тера	Т	T
$10^9$	гига	Г	G
$10^6$	мега	М	M
$10^3$	кило	к	k
$10^2$	гекто	г	h
$10^1$	дека	да	da
$10^{-1}$	деци	д	d
$10^{-2}$	санти	с	c
$10^{-3}$	мили	м	m
$10^{-6}$	микро	мк	$\mu$
$10^{-9}$	нано	н	n
$10^{-12}$	пико	п	p
$10^{-15}$	фемто	ф	f

В связи с этим был введен термин «единица физической величины».

*Единица основной ФВ (единица величины)* — физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1. Единицы одной и той же ФВ могут в различных системах различаться по своему размеру. Например, метр, фут и дюйм, являясь единицами длины, имеют различный размер:

$$1 \text{ фут} = 0,3038 \text{ м}; 1 \text{ дюйм} = 0,0254 \text{ м}.$$

По мере развития техники и международных связей, трудности использования результатов измерений, выраженных в различных единицах, возрастали и тормозили дальнейший научно-технический прогресс. Возникла необходимость в создании единой системы единиц физических величин. Под *системой единиц ФВ* понимается совокупность основных единиц ФВ, выби-

раемых независимо друг от друга и производных единиц ФВ, которые получаются из основных на основании физических зависимостей.

Если система единиц физических величин не имеет своего наименования, она обычно обозначается по своим основным единицам, например *LMT*.

*Производная ФВ (производная величина)* — ФВ, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям. Например, скорость в системе величин *LMT* определяется в общем случае уравнением

$$v = l/t,$$

где  $v$  — скорость;  $l$  — расстояние;  $t$  — время.

Впервые понятие системы единиц ввел немецкий ученый К. Гаусс, который предложил принцип ее построения. По этому принципу вначале устанавливаются основные физические величины и их единицы. Единицы этих физических величин называются *основными*, потому что они являются основой для построения всей системы единиц других величин.

Первоначально была создана система единиц, основанная на трех единицах: длина — масса — время (сантиметр — грамм — секунда (СГС)).

Рассмотрим наиболее распространенную во всем мире и принятую в нашей стране Международную систему единиц СИ, содержащую семь основных единиц и две дополнительных. Основные единицы ФВ этой системы приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

### Основные единицы СИ

Физическая величина	Размерность	Наименование	Обозначение
Длина	$L$	метр	м
Масса	$M$	килограмм	кг
Время	$T$	секунда	с
Сила электрического тока	$I$	ампер	А
Термодинамическая температура	$\Theta$	кельвин	К
Количество вещества	$N$	моль	моль
Сила света	$J$	кандела	кд

Дополнительными ФВ являются:

- *плоский угол*, выражаемый в радианах; радиан (рад, *rad*), равный углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;

- *телесный угол*, выражаемый в стерadianах, стерadian (ср, *sr*), равный телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные единицы системы СИ образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами и без какого-либо коэффициента, поскольку эта система когерентна и  $K=1$ . В этой системе размерность производной ФВ  $[Q]$  в общем виде определится следующим образом:

$$[Q] = [L]^\alpha [M]^\gamma [T]^\beta [I]^\delta [Q]^\varepsilon [J]^\omega [N]^\lambda,$$

где  $[L]$  — единица длины, м;  $[M]$  — единица массы, кг;  $[T]$  — единица времени, с;  $[I]$  — единица силы тока, А;  $[Q]$  — единица термодинамической температуры, К;  $[J]$  — единица силы света, кд;  $[N]$  — единица количества вещества, моль;  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \omega, \lambda$  — целые положительные или отрицательные числа, включая и 0.

Например, размерность единицы скорости в системе СИ будет выглядеть следующим образом:

$$[V] = [L]^1 [M]^0 [T]^{-1} [I]^0 [Q]^0 [J]^0 [N]^0 = [L]^1 [T]^{-1}.$$

Так как написанное выражение для размерности производной ФВ в системе СИ совпадает с уравнением связи между производной ФВ и единицами основных ФВ, то удобнее пользоваться выражением для размерностей, т.е.

$$V = LT^{-1}.$$

Аналогично частота периодического процесса  $F = T^{-1}$  (Гц); сила —  $MT^{-2}$ ; плотность —  $L^{-3}M$ ; энергия —  $L^2MT^{-2}$ .

Подобным образом можно получить любую производную ФВ системы СИ.

Эта система была введена в нашей стране 1 января 1982 г. В настоящее время действует ГОСТ 8.417 — 2002, который определяет основные единицы системы СИ.

*Метр* равен 1650763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$  атома криптона-86.

*Килограмм* равен массе международного прототипа килограмма.

*Секунда* равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

*Ампер* равен силе не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам

бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

*Кельвин* равен  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды. (Температура тройной точки воды — это температура точки равновесия воды в твердой (лед), жидкой и газообразной (пар) фазах на 0,01 К или 0,01 °С выше точки таяния льда).

Допускается применение шкалы Цельсия (С). Температура в °С обозначается символом  $t$ :

$$t = T - T_0,$$

где  $T_0 = 273,15$  К.

Тогда  $t = 0$  при  $T = 273,15$ .

*Моль* равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

*Кандела* равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет  $1/683$  Вт/ср.

Кроме системных единиц системы СИ в нашей стране узаконено применение некоторых *внесистемных единиц*, удобных для практики и традиционно применяющихся для измерения:

давления — атмосфера ( $9,8$  Н/см<sup>2</sup>), бар, мм ртутного столба;

длины — дюйм (25,4 мм), ангстрем ( $10^{-10}$  м);

мощности — киловатт-час;

времени — час (3 600 с) и др.

Кроме того, применяются *логарифмические ФВ* — логарифм (десятичный или натуральный) безразмерного отношения одноименных ФВ. Логарифмические ФВ применяют для выражения звукового давления, усиления, ослабления. Единица логарифмической ФВ — бел (Б) — определяется по формуле

$$1 \text{ Б} = \lg(P_2/P_1) \text{ при } P_2 = 10P_1,$$

где  $P_2$  и  $P_1$  — одноименные энергетические величины: мощность, энергия.

Для «силовых» величин (напряжения, сила тока, давления, напряженности поля) бел определяется по формуле

$$1 \text{ Б} = 2 \lg F_2/F_1 \text{ при } F_2 = \sqrt{10F_1}.$$

Дольная единица от бела — децибел (дБ):

$$1 \text{ дБ} = 0,1 \text{ Б}.$$

Широкое применение получили *относительные ФВ* — безразмерные отношения двух одноименных ФВ. Они выражаются в процентах (%), безразмерных единицах.

В табл. 1.3 и 1.4 приведены примеры производных единиц СИ, наименование которых образованы из наименований основных и дополнительных единиц и имеют специальные наименования.

Существуют определенные правила написания обозначений единиц. При написании обозначений производных единиц обо-

Таблица 1.3

**Примеры производных единиц СИ, наименования которых образованы из наименований основных и дополнительных единиц**

Величина	Единица			
	Размерность	Наименование	Обозначение	
			международное	русское
Площадь	$L^2$	квадратный метр	$m^2$	м <sup>2</sup>
Объем, вместимость	$L^3$	кубический метр	$m^3$	м <sup>3</sup>
Скорость	$LT^{-1}$	метр в секунду	$m/s$	м/с
Угловая скорость	$T^{-1}$	радиан в секунду	$rad/s$	рад/с
Ускорение	$LT^{-2}$	метр на секунду в квадрате	$m/s^2$	м/с <sup>2</sup>
Угловое ускорение	$T^{-2}$	радиан на секунду в квадрате	$rad/s^2$	рад/с <sup>2</sup>
Плотность	$L^{-3}M$	килограмм на кубический метр	$kg/m^3$	кг/м <sup>3</sup>
Удельный объем	$L^3M^{-1}$	кубический метр на килограмм	$m^3/kg$	м <sup>3</sup> /кг
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	$A/m$	А/м
Яркость	$L^{-2}J$	кандела на квадратный метр	$cd/m^2$	кд/м <sup>2</sup>

## Производные единицы СИ, имеющие специальные наименования

Величина	Единица				Выражение через основные и производные единицы СИ
	Размерность	Наименование	Обозначение		
			международное	русское	
Частота	$T^{-1}$	герц	$Hz$	Гц	$s^{-1}$
Сила, вес	$LMT^{-2}$	ньютон	$N$	Н	$mkg s^{-2}$
Давление, механическое напряжение, модуль упругости	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	$Pa$	Па	$m^{-1}kg s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2MT^{-2}$	джоуль	$J$	Дж	$m^2kg s^{-2}$
Мощность, поток энергии	$L^2MT^{-3}$	ватт	$W$	Вт	$m^2kg s^{-3}$
Количество электричества (электрический заряд)	$TI$	кулон	$C$	л	$sA$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	$V$	В	$m^2kg s^{-3}A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	$F$	Ф	$m^{-2}kg^{-1}s^4A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	$\Omega$	Ом	$m^2kg s^{-3}A^{-2}$

Величина	Единица				Выражение через основные и производные единицы СИ	
	Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		
				международное		русское
Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	<i>Wb</i>	Вб	$m^2kgs^{-2}A^{-1}$	
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	<i>H</i>	Гн	$m^2kgs^{-2}A^{-2}$	
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	<i>lx</i>	лк	$m^{-2}cdsr$	

значения единиц, входящих в производные, разделяются точками, стоящими на средней линии как знак умножения «...». Например: Н · м (читается «ньютон-метр»), А · м<sup>2</sup> (ампер-квадратный метр), Н · с/м<sup>2</sup> (ньютон-секунда на квадратный метр). Наиболее употребительно выражение в виде произведения обозначений единиц, возведенных в соответствующую степень, например м<sup>2</sup> · с<sup>-1</sup>.

При наименовании, соответствующем произведению единиц с кратными или дольными приставками, рекомендуется приставку присоединять к наименованию первой единицы, входящей в произведение. Например, 10<sup>3</sup> единиц момента силы — ньютон-метров следует именовать «килоньютон-метр», а не «ньютон-километр». Записывается это следующим образом: кН · м, а не Н · км.

### Контрольные вопросы

1. Что такое физическая величина?
2. Почему величины называются физическими?
3. Что понимается под размером ФВ?
4. Что означает истинное и действительное значения ФВ?
5. Что означает безразмерная ФВ?
6. Чем отличается кратная единица ФВ величины от дольной?
7. Укажите правильный ответ на следующие вопросы:
  - единицей объема, принятой в СИ, является:
    - 1) литр; 2) галлон; 3) баррель; 4) кубический метр; 5) унция;
  - единицей температуры, принятой в СИ, является: