

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

ВСТУП ДО ФАХУ З МЕТРОЛОГІЇ

Лекція 6

Тема: Одиниці фізичних величин



Лекція 6

Тема: Одиниці фізичних величин

1. Кратні та дольні величини.
2. Відносні та логарифмічні величини та одиниці.
3. Одиниці фізичних величин системи СГС.
4. Позасистемні одиниці.
5. Найменування і позначення одиниць.

1. Кратні та дольні величини

Розміри метричних одиниць, в тому числі і одиниць Міжнародної системи (СИ), для багатьох випадків практики незручні: або занадто великі або дуже малі. Тому користуються кратними і частковими одиницями, тобто одиницями, в яких відповідне ціле число в рази більше або менше одиниці даної системи. *Широко застосовуються десяткові кратні і часткові одиниці, які виходять множенням вихідних одиниць на число 10, зведене в степінь.*

Для утворення найменувань десяткових кратних і часткових одиниць використовують відповідні приставки. Велика частина цих приставок добре відома, але список їх час від часу розширюється. У табл. 1 та 2 наведено список вживаних в даний час десяткових множників і відповідних їм префіксів.

КРАТНІ І ДОЛЬНІ ОДИНИЦІ		
Множник		Префікс
	Назва	Символ
$1\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{15}$	пета	П
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	тера	Т
$1\,000\,000\,000 = 10^9$	гіга	Г
$1\,000\,000 = 10^6$	мега	М
$1\,000 = 10^3$	кіло	к
$100 = 10^2$	гекто	г
$10 = 10^1$	дека	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	д
$0,01 = 10^{-2}$	санти	с
$0,001 = 10^{-3}$	мілі	м
$0,000\,001 = 10^{-6}$	мікро	мк
$0,000\,000\,001 = 10^{-9}$	нано	н
$0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	піко	п
$0,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-15}$	фемто	ф

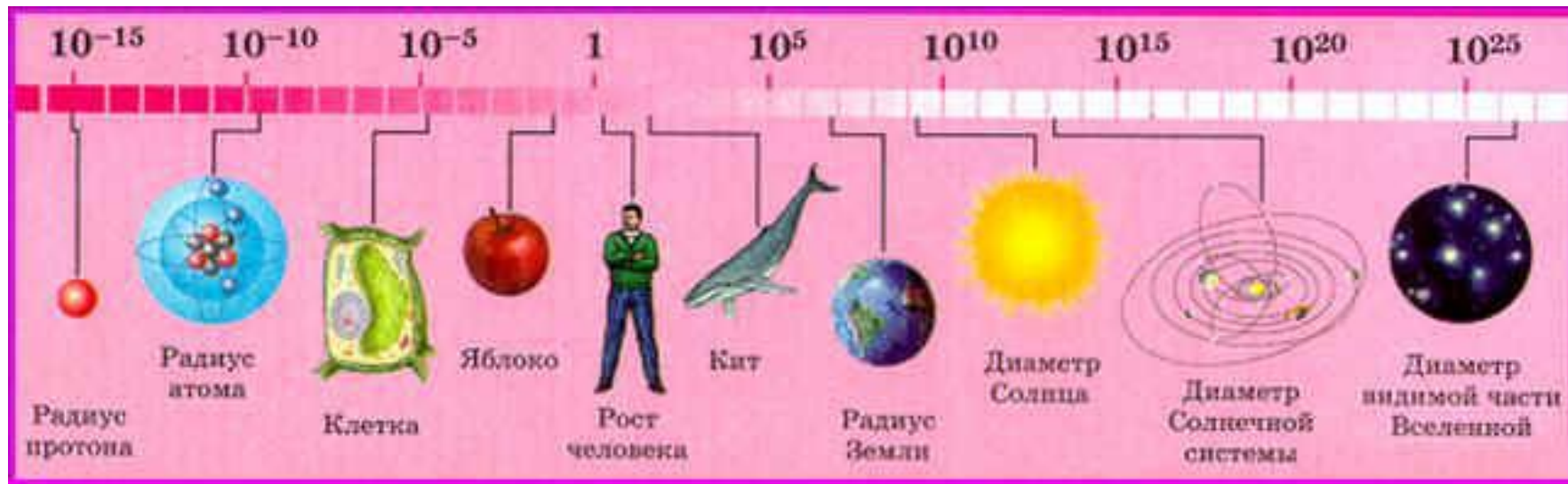
Позначення префікса пишеться разом з позначенням одиниці, до якої вона приєднується.

Префікси можна приєднувати тільки до простих найменувань одиниць, що не містить приставок. Приєднання двох і більше префіксів поспіль не допускається. Наприклад, замість найменування одиниці «мікромікрофарада» слід застосовувати найменування «пікофарад».

При утворенні найменування десяткової кратною або часткової одиниці від одиниці маси - кілограма, новий префікс приєднують до найменування «грам» (мегаграмм $1 \text{ Мг} = 10^3 \text{ кг} = 10^6 \text{ г}$, миллиграмм $1 \text{ мг} = 10^{-6} \text{ кг} = 10^{-3} \text{ г}$).

У кратних і часткових одиницях площі та об'єму, а також інших величин, утворених зведенням до степеня, показник ступеня відноситься до всієї одиниці, взятої разом з приставкою, наприклад:

- $1 \text{ км}^2 = (10^3 \text{ м})^2 = 10^6 \text{ м}^2$
- $1 \text{ см}^3 = (10^{-2} \text{ м})^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$



Таблиця вживаних в даний час десяткових множників і відповідних їм префіксів

табл. 6.1

Множник	Префікс		
	Найменування	Позначення	
		українське	міжнародне
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	тера	Т	T
$1\,000\,000\,000 = 10^9$	гига	Г	G
$1\,000\,000 = 10^6$	мега	М	M
$1000 = 10^3$	кіло	к	k
$100 = 10^2$	гекто	г	h
$10 = 10^1$	дека	да	da
$0,1 = 10^{-1}$	деци	д	d
$0,01 = 10^{-2}$	санти	с	c
$0,001 = 10^{-3}$	міллі	м	m
$0,000\,001 = 10^{-6}$	мікро	мк	μ
$0,000\,000\,001 = 10^{-9}$	нано	н	n
$0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	піко	п	p
$0,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-15}$	фемто	ф	f
$0,000\,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-18}$	атто	а	a

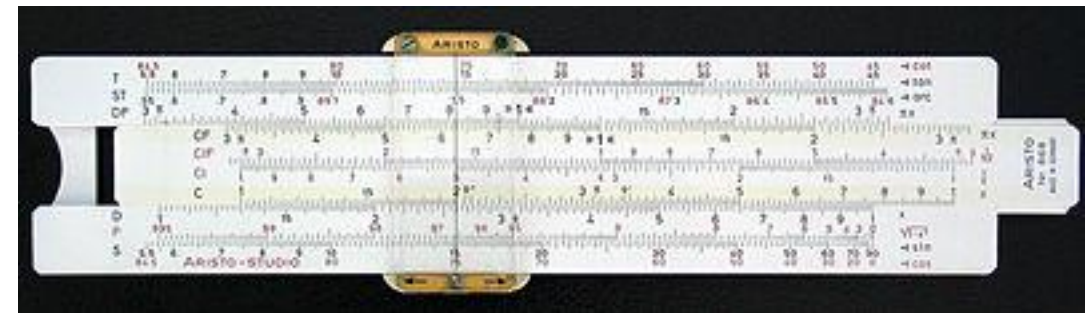
2.Відносні та логарифмічні величини та одиниці

Широке поширення в науці і техніці мають відносні та логарифмічні величини та їх одиниці, якими характеризують склад і властивості матеріалів, відносини енергетичних і силових величин та ін.

Такими характеристиками є, наприклад, відносне подовження, відносна щільність, відносні діелектрична і магнітна проникності, посилення і ослаблення потужностей і т. п.

Відносна величина являє собою безрозмірне відношення фізичної величини до однойменної фізичної величиною, прийнятої за вихідну.

У число відносних величин входять і відносні атомні або молекулярні маси хімічних елементів, що виражаються по відношенню до однієї дванадцятої ($1/12$) маси вуглецю-12.



Відносні величини можуть виражатися або в **безрозмірних одиницях** (коли відношення двох однойменних величин дорівнює 1), **або у відсотках** (коли відношення дорівнює 10^{-2}), або проміле (відношення дорівнює 10^{-3}), або в мільйонних частках (відношення дорівнює 10^{-6}).

Логарифмічна величина являє собою **логарифм** (десятковий, натуральний або при підставі 2) безрозмірного відношення двох однойменних фізичних величин. У вигляді логарифмічних величин виражаються рівні звукового тиску, посилення, ослаблення, частотний інтервал і т. п.

Одиницею логарифмічною величини є бел (Б), який визначається наступним співвідношенням:

$$1 \text{ Б} = \log \frac{P_2}{P_1} \text{ при } P_2 = 10P_1,$$

де $P_{1,2}$ — однойменні енергетичні величини (потужності, енергії, щільності енергії ит. п.)

У разі якщо береться логарифмічна величина для відношення двох однойменних «силових» величин (напруги, сили струму, тиску, напруженості поля і т. п.) Бел визначається за формулою:

$$1 \text{ Б} = 2 \log \frac{F_1}{F_2} \text{ при } F_2 = \sqrt{10}F_1.$$

Частковою одиницею від білого є децибел, що дорівнює 0,1Б.

Так, в разі характеристики посилення електричних потужностей при відносно отриманої потужності P^2 до вихідної P^1 , що дорівнює 10, посилення дорівнюватиме 1Б або 10 дБ; при зміні потужності в 1000 разів посилення дорівнюватиме 3Б або 30 дБ і т. д.

3. Одиниці фізичних величин системи СГС

Система одиниць СГС (сантиметр - грам - секунда) поки зберігає в теоретичній фізиці самостійне значення як система одиниць фізичних величин.

Одна основна одиниця цієї системи - **секунда** - збігається з основною одиницею часу Міжнародної системи (як, втім, і у всіх інших системах одиниць), а дві інші основні одиниці СГС - **сантиметр і грам** - є часткою по відношенню до одиниць Міжнародної системи.

Однак розглядати систему СГС як якусь похідну або частку Міжнародної системи не можна.

По-перше, відношення частковості основних одиниць не однакові (0,01; 0.001; 1). **По-друге**, при утворенні одиниць СГС для електричних і магнітних велич, як правило, використані рівняння електромагнетизму в нераціональній формі.

У зв'язку з цим змінилися розміри одиниць, а в тих випадках, коли одиниці СГС мали спеціальні назви, змінилися і найменування. Так, одиниця магніторушійної сили СГС - Гільберт - в одиницях СІ дорівнює $10 / 4\pi$ ампера, а одиниця напруженості магнітного поля СГС - Ерстед - в одиницях СІ дорівнює $10^3 / 4\pi$ ампера на метр.

Деякі інші одиниці СГС мають особливі найменування, але вони є десятковими частками по відношенню до одиниць СІ і тому перехід від одиниць однієї системи до одиниць іншої не становить труднощів. До таких одиницям СГС відносяться одиниці, наведені в табл. 2.

Табл. 6.2

Величини	Найменування одиниці СІ	Найменування одиниці СГС	Значення в одиницях СІ
Сила	ньютон	діна	10^{-5}Н
Робота,енергія	джоуль	ерг	10^{-7}Дж
Динамічна в'язкість	паскаль-секунда	пуаз	$0,1\text{Па}\cdot\text{с}$
Кінематична в'язкість	квадратний метр на секунду	стокс	$10^{-4}\text{м}^2/\text{с}$
Магнітний потік	вебер	максвелл	10^{-8}Вб
Магнітна індукція	тесла	гаусс	10^{-4}Т

4. Позасистемні одиниці

Позасистемними називають ті одиниці фізичних величин, які не входять до застосовувану в кожному конкретному випадку систему одиниць, ні як основні, ні як похідні. Кратні і частинні також розглядаються як позасистемні.

Позасистемні одиниці в тій або іншій мірі завжди є деякою перешкодою до впровадження системи одиниць. При проведенні розрахунків з теоретичних формулами необхідно всі позасистемні одиниці приводити до відповідних одиницям системи. У деяких випадках це буває нескладно, як, наприклад, при десяткової кратності або частковості. В інших випадках переклад одиниць складний і копіткий і нерідко буває джерелом помилок. З іншого боку, окремі позасистемні одиниці за своїми розмірами виявляються дуже зручними для деяких галузей науки, техніки або для застосування в побуті і відмова від них пов'язаний з рядом незручностей.

У всякому разі всі позасистемні одиниці можна згрупувати за ознакою більшою чи меншою доцільністю відмови від їх застосування.

Перша група - позасистемні одиниці, відмова від застосування яких, безумовно, є недоцільною. До таких одиниць відносяться десяткові кратні і частинні одиниці, найменування яких утворені з найменувань одиниць СІ за допомогою префіксів, а також, наприклад, одиниці, що характеризують відношення двох однойменних фізичних величин: відсоток (%), бел (Б), децибел (дБ).

Друга група - позасистемні одиниці різного походження, що знаходяться в десятковому ставленні до одиницям СІ. Відмова від застосування їх недоцільний принаймні в даний час. Ці одиниці наведені в табл.6.3.

Таблиця 6.3 - Позасистемні одиниці різного походження, що знаходяться в десятковому ставленні до одиницям СІ

Величина	Одиниця			Значення в одиницях СІ
	Найменування	Позначення		
		українське	міжнародне	
Маса	тонна, центнер	т , ц	t , q	10 ³ кг
Площа	гектар	га	ha	100 кг , 10 м ²
Об'єм, місткість	літр	л	l	10 ⁻³ м ³
Тиск	бар	бар	bar	10 ⁵ Н/м ²

Третя група - позасистемні одиниці, пов'язані з кратним, але недесяткових одиницями часу: хвилина, година, доба. З цими одиницями тісно пов'язані застосовуються в практиці одиниці швидкостей протікання різних процесів і т. п. З числа яких в якості прикладу вкажемо на такі одиниці:

- Одиниця швидкості — кілометр за годину (км/год) = $1000/3600 \text{ м/с} = 0,277778 \text{ м/с}$;
- Одиниця енергії — кіловатт*годин (кВт*год) = $3.6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$;
- Одиниця кількості електрики — ампер*год (А*год) = 3600 Кл .

В навігації застосовуються такі позасистемні одиниці, як одиниця довжини - морська миля (м. Миля) = 1852 м (точно); одиниця швидкості - вузол (уз) = $\text{Гм. миля на годину} = 0,514444 \text{ м/с}$.

Якщо при обчисленні і складанні формул застосування одиниці - радіана - створює істотні переваги, то вимірювання в радіанах досить складно. Тому доцільно зберегти вимірювання кутів в градусних одиницях.

Повний кут становить $360^\circ = 2\pi \text{ рад} = 6,283185 \text{ рад}$;

$1^\circ = 60' \text{ (хвилини)}; = 1' = 60'' \text{ (секунди)}$.

Ряд специфічних для тієї чи іншої області науки позасистемних одиниць залишаються в застосуванні в спеціальних областях. До них, наприклад, відносяться одиниці, що застосовуються в астрономії. Вони наведені з табл.6.4.

Табл.6.4

Найменування одиниці	Позначення		Значення в одиницях СІ
	українське	міжнародне	
Астрономічна одиниця довжини	а.о.д	UA	$1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Світловий рік	св.р.	1.у.	$9,4605 \cdot 10^{15} \text{ м}$
Парсек	пк	ps	$3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$

Четверта група - позасистемні одиниці, які тимчасово допускаються до застосування (термін вилучення намічений за проектом стандарту «Одиниці фізичних величин» 1/1 1975 г.). Частина з них наведена в табл.6.5. табл. 6.5

Фізична величина	Найменування одиниць	Позначення		Значення в одиницях СІ
		українське	міжнародне	
Тиск	Міліметр ртутного стовпчика , міліметр водяного стовпчика	мм рт.ст. , мм вод.ст.	mm Hg , mm H ₂ O	133,322 Па ; 9,30665 Па
Кількість теплоти (внутрішня енергія)	калорія	кал	cal	4,1868 Дж
Доза випромінювання (поглинена доза випромінювання)	рад	рад	rad	0,01 Дж/кг
Еквівалентна доза випромінювання	бер	бер	rem	0,01 Дж/кг
Експозиційна доза рентгенівського і гамма-випромінювання	рентген	R	R	2,58*10 ⁻⁴ Кл/кг
Активність нукліда в радіоактивному середовищі (активність ізотопу)	кюрі	Ki	Ci	3,7*10 ¹⁰ с ⁻¹

До п'ятої групи належать позасистемні одиниці, від яких слід відмовитися в першу чергу одиниці були встановлені на основі тих чи інших явищ, свого часу здавалися легко і точно відтвореними.

З розвитком наук з'ясувалося, що відтворювати їх з тією точністю, яка була потрібна, не легко, а іноді й неможливо. Деякі з цих одиниць не вписувалися ні в яку систему одиниць тоді, коли виникла необхідність об'єднати одиниці в системи. Так, в першу чергу слід вилучати зі сфери застосування одиницю потужності - кінську силу. Цю одиницю можна віднести до архаїзмів. По-перше, це не сила, а потужність, а, по-друге, потужності коня вона не відповідає («кінська сила» приблизно в 2 рази більше дійсної потужності «середнього» коня). Але як не дивно, ця одиниця досі застосовується досить широко в усьому світі. Нерідко потужність двигуна вказують в кінських силах, а потужність електричного генератора, встановленого на одному валу з цим двигуном, - в кіловатах: $1 \text{ к.с.} = 0.735499 \text{ кВт}$.

В іноземній літературі можна зустріти позначення кінської сили НР (англ.) Н РЗ (нім.). Однак вилучення цієї одиниці з застосування потребують деякого часу.

Причини, які змушують ставити питання про вилучення зі сфери застосування одиниці кілограм-сили лежать по суті в її фізичну природу. Спочатку кілограм-силу визначали як силу, яка повідомляє спочиває масі 1 кг прискорення вільного падіння в умовах земного тяжіння:

$$F = mg$$

Але так як g - прискорення вільного падіння в різних точках земної кулі не однакове, то одиниця сили вийшла непостійною. Для усунення цієї незручності було прийнято за «нормальне» прискорення вільного падіння 9.80665 м / с^2 . Кілограм-сила стала визначатися так: кілограм-сила - це сила, яка дорівнює масі спокою 1 кг прискорення 9.80665 м / с . Одиниця маси в системі МКГСС стала рівною 9.80665 кг. Таким чином виявилось, що принцип десяткових відносин порушений.

Вибір 1 кгс як одиниця сили виявився досить невдалим, особливо для ери космічних польотів, пов'язаних з явищем «невагомості». Це ускладнювалося ще невдалим вибором найменування одиниці. У багатьох статтях, підручниках і навіть наукових працях замість кілограм-сила пишуть кілограм, тобто опускають слово сила, а в позначенні букву «с» (кг замість кгс). В результаті виникають плутанина і непорозуміння.

Дуже велике поширення отримала одиниця тиску кілограм-сила на квадратний сантиметр *, що має також найменування технічна атмосфера

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,8065 * 10^4 \text{ Па}.$$

При вимірах щодо невисокої точності кілограм-силу на квадратний сантиметр (технічну атмосферу) можна замінити, хоча б тимчасово, баром, який приблизно на 2% більше (див. Табл. 3)

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} \approx 1.02 \text{ кгс/см}^2$$

Одиниця бар і була запропонована для заміни кгс / см^2 близькою одиницею, пов'язаної з Міжнародною системою

5. Найменування і позначення одиниць

У найменуваннях одиниць можна виділити кілька типів. В першу чергу це найменування, в тій чи іншій мірі лаконічно відображають фізичну сутність величини. До числа таких найменувань відносяться: метр (міра), кандела (свічка), діна (сила), калорія (від слова *теплота*) і т. п. Слід визнати, що такі найменування найбільш зручні. Далі йдуть найменування похідних одиниць, утворених в точній відповідності з фізичними законами. При всій логічності і строгості їх утворення в більшості випадків ці найменування громіздкі і незручні в написанні і в ще більшому ступені в вимові.

Наприклад, джоуль на кілограм-кельвін [Дж / (кг * К)] - одиниця питомої теплоємності; кілограм-метр в квадраті в секунду (кг * м² / с) - одиниця моменту кількості руху і т. п. Так як зазвичай такі одиниці записуються у вигляді скорочених позначень, важливо вміти правильно «читати» ці позначення. Нижче будуть приведені відповідні вказівки.

В-друге, громіздкість найменування похідних одиниць, а в деяких випадках труднощі пошуку для найменування одиниці, що відображає фізичну сутність величини, привели до присвоєння багатьом одиницям коротких і зручних для вимови найменувань. *Було прийнято рішення привласнювати таким одиницям найменування за прізвищами видатних вчених.*

Вибір обумовлювався тим, що вчений зробив великий внесок у вивчення даної фізичної величини. Як приклади можна вказати на такі найменування, як коливань, ампер, вольт, ват, герц і ін. Хоча сама по собі ідея увічнення імені вчених в найменуваннях одиниць красива і благородна, з точки зору практики вона не дуже вдала. Асоціативний зв'язок імені вченого з фізичною величиною дуже слабка, тому що кожен великий вчений, як правило, багато зробив для вивчення ряду фізичних величин. В кінцевому підсумку все зводиться до запам'ятовування формули одиниці, що носить ім'я вченого.

Найменування деяких одиниць пов'язані з градуванням шкали. До таких одиниць відносяться: температурний градус, кутовий градус (хвилина, секунда), міліметр ртутного стовпа, міліметр водяного стовпа.

Найменування деяких одиниць є аббревіатурою, тобто скороченнями за початковими літерами. Наприклад, одиниця реактивної потужності називається вар від перших літер слів вольт-ампер реактивний. Одиниця еквівалентної дози випромінювання називається бер від перших літер слів біологічний еквівалент рада.

Зупинимось на способах позначення, розклади цих позначень і їх прочитання.

Як правило, для позначення одиниць після числового виразу застосовують скорочені позначення одиниць. Ці скорочення позначення складаються з однієї, двох або трьох перших букв назви одиниці. Позначення похідних одиниць, які не мають особливого найменування, складаються з позначень одиниць за формулою їх утворення (не обов'язково з позначень основних одиниць). Слід запам'ятати і дотримуватися наступного правила: скорочені позначення застосовуються тільки після числових значень. Користуватися скороченими позначеннями в тексті не можна.

Скорочені позначення одиниць встановлюються стандартами і відступати від встановлених позначень можна. Тому при виборі позначень необхідно користуватися чинними стандартами, **Скорочене позначення одиниць, найменування яких утворено на прізвище вченого, пишуть з великої (великий) літери. Наприклад: ампер - А; ньютон - Н; кулон - Кл; джоуль - Дж і т. д.**

У позначеннях одиниць точка як знак скорочення не застосовується, за винятком випадків скорочення слів, які входять в найменування одиниці, але самі не є найменуваннями одиниць, наприклад мм рт. ст. (Міліметр ртутного стовпа), к.с. (кінська сила).

При наявності десяткового дробу в числовому значенні величини позначення одиниці слід записувати після всіх цифр, наприклад: 423,06 м — 182.97° С; 43.25 с; 5,758° (5°45.48'; 5°45'28,8").

При вказівці значень величин з допусками або при перерахуванні кількох значень для скорочення призводять позначення одиниці не після кожного значення, а один раз і без застосування дужок, наприклад: 20±5°С замість 20°С±5°С або (20±5)°С; 2,3 і 4 кг замість 2 кг, 3кг і 4 кг.

У розрахунках при повторенні знака рівності призводять позначення одиниці тільки в остаточному результаті, наприклад:

$$1\text{ ккал/г} = \frac{4,1863 \cdot 10^3}{3600} = 1,163 \text{ Вт}$$

При найменуванні, відповідному відношенню одиниць, префікс також рекомендується приєднувати до найменування першої одиниці, що входить в чисельник. Вийняток з цього правила становить основна одиниця СІ - кілограм, яка може входити в знаменник похідною одиниці без обмеження.

Для утворення найменування кратних і часткових одиниць від одиниці, що представляє собою ступінь деякої вихідної одиниці, приставку приєднують до найменування вихідної одиниці. Наприклад, квадратний метр (м^2), квадратний кілометр (км^2), квадратний сантиметр (см^2) і т. д.

Найменування одиниць, що складаються із знаменників, пишуться і читаються з приводом «на», наприклад, метр на секунду, в квадраті (одиниця прискорення). Виняток становлять одиниці величин, що залежать від часу в першому ступені; в цьому випадку найменування одиниці, що стоїть в знаменнику, пишеться і читається з приводом «в», наприклад метр в секунду (одиниця лінійної швидкості), кубічний метр в секунду (одиниця об'ємної витрати і об'ємної швидкості).