Г. Д. БУРДУН

# ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Г. Д. БУРДУН

# ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Издание второе переработанное и дополненное*

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
Москва — 1962

*Данная работа является обзором исторического развития и современного состояния вопроса о единицах измерений физических величин и системах единиц. В ней освещаются международные рекомендации по этому вопросу и стандартизация единиц измерений в СССР, а также приведен справочный материал ко единицам измерений.*

*Книга предназначена для работников измерительной техники, преподавателей и студентов.*

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Непрерывно усиливающееся взаимодействие различных отраслей науки, техники и производства, расширение международных экономических и научных связей требует единообразия в измерениях физических величин. Вопросам унификации единиц измерений уделялось большое внимание как в международных организациях по метрологии, стандартизации, физике и электротехнике, так и в национальных метрологических учреждениях.

Большой вклад в дело унификации единиц внесли русские ученые (Б. С. Якоби, Э. Х. Ленц, А. Г. Столетов, Д. И. Менделеев и др.). Российская Академия Наук во второй половине прошлого века выступила с предложением о создании международных прототипов мер. В результате работы Международной комиссии, организованной в соответствии с этим предложением, были созданы прототипы метра и килограмма. Тогда же была подписана Метрическая конвенция и организовано Международное бюро мер и весов.

Советские метрологи (М. А. Шателен, А. Н. Доброхотов, Л. В. Залуцкий, М. Ф. Маликов, М. Ф. Романова, П. М. Тиходеев, Е. Г. Шрамков, Б. М. Яновский, А. К. Колосов, А. И. Карташов и др.) внесли значительный вклад в развитие международных работ в области единиц измерений и эталонов, служащих для их воспроизведения.

В 1956 г. Международным комитетом мер и весов была принята Международная система единиц, утвержденная в 1960 г. Одиннадцатой Генеральной конференцией по мерам и весам, что явилось новым важным этапом в развитии международной унификации единиц.

В Советском Союзе за период 1955—1961 гг. были пересмотрены стандарты на единицы измерений физических величин.

В них принята, как предпочтительная, Международная система единиц.

Однако в научно-технической и учебной литературе еще применяются различные, не рекомендованные системы единиц и отдельные внесистемные единицы, а в ряде случаев даются устаревшие определения единиц.

В настоящей книге рассматриваются международные работы по унификации единиц измерений и Международная система еди-

ниц, освещается вопрос о стандартизации единиц измерений в СССР и дается анализ новых государственных стандартов на единицы измерений.

В первом издании книги рассматривались государственные стандарты, утвержденные до 1959 г.

Второе издание переработано в соответствии с новыми государственными стандартами на единицы (ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», ГОСТ 7664—61 «Механические единицы», ГОСТ 8550—61 «Тепловые единицы»), в которых отражены решения Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам 1960 г., относящиеся к единицам измерений и эталонам.

В книге расширен материал о системах единиц, особенно о Международной системе, и приведены переводные таблицы единиц измерений.

---

*ГЛАВА I*

# СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

## 1. СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ И ИХ ПОСТРОЕНИЕ

Измерение какой-либо величины—это совокупность действий, которые дают возможность найти числовое значение измеряемой величины, выраженной в принятых единицах.

В связи с развитием теории информации, применением автоматических устройств, вычислительных и управляющих машин, вносятся предложения об изменении понятия измерения. Определение понятия измерения, в широком смысле его современного понимания, связывается с получением информации, заключающимся в сравнении опытным путем измеряемых и известных величин или сигналов и представлением информации в числовой форме.

Единица измерения представляет собой значение физической величины, принятое за основание для сравнения с ним значений величин того же рода, при их количественной оценке.

Единицы измерений могут быть независимыми и производными. Размер независимой единицы выбирается независимо от размеров других единиц. Размер производной единицы той или иной величины определяется физической зависимостью между этой величиной и величинами, для которых установлены независимые или другие производные единицы.

Система единиц — совокупность независимых и производных единиц, охватывающих все или некоторые области измерений, образованная так, что соотношения между единицами (за исключением соотношений между единицами, выбранными независимо) определяются уравнениями связи, в которых значения величин приняты равными единице.

Независимые единицы, на которых строится система, являются основными единицами данной системы.

Кроме того, могут быть:

а) внесистемные единицы, не входящие в какую-либо систему единиц;

б) кратные единицы, равные целому числу независимых или производных единиц;

в) дольные единицы, составляющие определенную долю независимой или производной единицы.

Система единиц называется когерентной (согласованной), если при выборе производных единиц измерений безразмерные коэффициенты пропорциональности в формулах принимаются равными числовой единице. В когерентных системах все производные едини-

цы выражаются в виде произведений степеней основных единиц без числовых коэффициентов.

Метрическая система мер была первой системой связанных между собой единиц для измерения длины, площади, объема и массы, построенная на двух основных единицах: метре и килограмме. Однако она не представляет собой системы единиц в современном понимании, так как в метрической системе величина может быть представлена рядом единиц, построенных по принципу десятичной кратности.

Впервые понятие о системе единиц физических величин было введено К. Гауссом.

В работе «Напряжение земной магнитной силы, приведенное к абсолютной мере», содержащей метод определения напряженности поля земного магнетизма в различных точках земного шара, Гаусс установил методику построения системы единиц, т. е. совокупности основных и производных единиц, служащих для измерения разного рода величин.

Гаусс показал, что для физических измерений достаточно принять три независимые друг от друга единицы, а именно: единицу длины, единицу массы и единицу времени, все же остальные единицы можно определить при помощи этих трех основных. Так, например, за единицу площади можно принять площадь квадрата, сторона которого равна единице длины; за единицу объема — объем такого куба, сторона которого равна единице длины; за единицу скорости принять скорость такого равномерного движения, в котором единица длины проходится в единицу времени; за единицу ускорения принять ускорение такого равномерно-переменного движения, в котором изменение скорости в течение единицы времени равно единице скорости; за единицу силы принять такую силу, которая, действуя на массу, равную единице, сообщает ей ускорение, равное единице ускорения, и т. д.

Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными единицами — длины, массы и времени — Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

Единицу напряженности поля земного магнетизма в абсолютной мере Гаусс установил, исходя из закона Кулона о взаимодействии магнитных полюсов.

Гауссом была выведена формула напряженности земного магнетизма, в которой эта величина выражается через массу, длину и время.

В 1851 г. Вебер опубликовал способ измерения электрического сопротивления в абсолютной мере, причем за единицу сопротивления предложил принять сопротивление замкнутого проводника, в котором единица электродвижущей силы вызывает силу тока в одну единицу. Единицы электродвижущей силы и силы тока Вебер выразил в абсолютной мере, т. е. через основные единицы, предложенные Гауссом.

Системы единиц, которые впоследствии были построены по предложенному Гауссом методу и в которых основными единицами являются единицы массы, длины и времени, получили название абсолютных систем единиц. Следует отметить, что это наименование нельзя считать ни удачным, ни отражающим характерный признак системы. Абсолютными, в указанном смысле, являются не только системы, основанные на трех упомянутых единицах. Поэтому наименование «абсолютная» система единиц следует считать устаревшим. (Далее в настоящей книге наименование «абсолютная» применяется в тех случаях, когда необходимо отличить описываемую систему единиц от другой, построенной не по указанному принципу, а также, когда название «абсолютная система единиц» входит в международные и официальные документы).

Вопрос о системах единиц, принципах их построения, выборе наиболее рациональной системы единиц, неоднократно обсуждался физиками, метрологами, техниками и в международных организациях, на совещаниях и съездах.

Единица измерения может быть установлена независимо от других и размер выбран совершенно произвольно. Однако, несмотря на такую теоретическую возможность, выбор единиц физических величин должен быть ограничен некоторыми практическими требованиями.

Важнейшим требованием является единообразие всех измерений, т. е. где бы и кем бы измерения ни производились, результаты их должны выражаться всегда в одних и тех же единицах.

Второе требование состоит в минимальном числе независимо выбранных единиц, через которые могли бы выражаться все остальные. Согласно этому требованию в уравнениях, связывающих различные величины, необходимо принять коэффициенты пропорциональности, зависящие от выбора единиц, равными единице, т. е. система должна быть когерентной.

Третьим требованием является рациональный выбор размера независимых, т. е. основных, единиц, так, чтобы не только эти основные, но и производные, выражаемые через основные, имели размеры, удобные для практики.

Принципиально возможное установление единиц физических величин, совершенно независимо друг от друга, без какой-либо системы, нельзя считать целесообразным ни с метрологической, ни с технической точки зрения. Воспроизведение этих единиц с помощью независимых эталонов отличалось бы крайней технической сложностью. Точность воспроизведения единиц оказалась бы существенно различной, а физические уравнения содержали бы большое число дополнительных коэффициентов.

Способ установления единиц физических величин в виде системы единиц является единственно приемлемым при современном развитии науки и техники.

Построение рациональной системы единиц включает в себя решение следующих частных задач:

а) составление системы уравнений, выражающих зависимость между всеми величинами, для которых необходимо установить единицы измерения;

б) выбор основных единиц на основании анализа системы уравнений;

в) образование производных единиц;

г) составление кратных и дольных единиц.

Система физических уравнений, необходимая для образования системы единиц, должна удовлетворять следующим условиям:

1) уравнения системы должны быть независимыми и совместными;

2) каждое уравнение должно содержать не менее двух физических величин;

3) все уравнения системы должны содержать коэффициенты, численное значение и размерность которых определяют выбор системы единиц;

4) система физических уравнений должна допускать выбор такой системы единиц, при которой все коэффициенты безразмерны;

5) все уравнения системы должны отражать простейшие частные случаи физических процессов, для описания которых достаточны алгебраические действия и не требуется дифференцирование или интегрирование.

Основными параметрами системы единиц, определяющими ее построение, являются: основные независимые друг от друга единицы и коэффициенты пропорциональности физических уравнений.

Число таких параметров равно числу всех необходимых единиц.

Если обозначить число физических величин, входящих в уравнения, через $n$, число уравнений и соответственно число коэффициентов через $m$, то число основных параметров системы будет равно $n$, а минимальное число независимых единиц, являющихся основными единицами системы, равно $n-m$. Наименьшее число основных единиц системы не может быть меньше двух, за исключением случая, когда все входящие в уравнения физические величины являются функцией одной из них.

При построении рациональной системы единиц и выборе основных единиц системы необходимо соблюдать следующие условия:

1) коэффициенты, входящие во все $m$ уравнений системы, следует принимать равными единице;

2) в число основных единиц должны войти те, воспроизведение которых возможно с максимальной точностью;

3) основные единицы, а также их число, следует выбирать так, чтобы воспроизведение производных единиц было наиболее точным;

4) размер единицы должен быть удобным для практики измерений.

Если рассмотреть вопрос о построении системы механических

единиц, основанных на системе физических уравнений, связывающих механические величины, можно придти к выводу о возможности выбора ряда систем единиц, в основе которых лежат две или три основные единицы в разных сочетаниях. В связи с этим были предложены системы единиц типа LT (в которых основными являются единицы длины и времени), типа LMT (длина, масса, время), типа LFT (длина, сила, время) и др.

Анализ этих систем, с учетом изложенных выше условий, приводит, как к наиболее совершенной, системе типа LMT. Имеющая в настоящее время распространение система единиц типа LFT является значительно менее совершенной, так как воспроизведение единицы силы во много раз менее точно, чем единицы массы, кроме того, единица массы в этой системе является производной, что создает ряд неудобств.

Для практических целей наиболее удобными основными единицами системы LMT являются метр, килограмм, секунда, поэтому была выбрана система МКС как самая рациональная система механических единиц.

Международный союз чистой и прикладной физики рекомендовал физикам также применять систему типа LMT с основными единицами сантиметр, грамм, секунда (система СГС), размеры единиц которой удобны для измерений и вычислений в теоретической и экспериментальной физике.

Системой механических единиц типа LMT является также система МТС с основными единицами метр, тонна, секунда, не получившая, однако, практического распространения.

В технике находит применение система единиц типа LFT с основными единицами метр, килограмм-сила, секунда.

Для тепловых измерений недостаточно трех основных единиц. Для построения системы единиц необходима еще четвертая основная единица, специфичная для данной области явлений. За такую величину может быть принята температура Θ, тогда система тепловых единиц будет типа LMTΘ.

Наиболее удобной и рациональной по размерам основных единиц является система метр—килограмм—секунда—градус Кельвина (система МКСГ).

Для световых измерений достаточно трех основных единиц: двух механических — длины и времени и одной специфической для световых измерений — силы света. Поэтому для световых измерений может быть применена система типа LTJ, где J — сила света. Практически наиболее удобной является система с основными единицами: метр, секунда, свеча, хотя долгое время в фотометрии применялась и система: сантиметр—секунда—свеча.

Для электрических и магнитных измерений можно построить систему единиц, принимая за исходные единицу длины, массы, времени и единицу какой-либо электрической или магнитной величины. Системы электрических и магнитных единиц можно также построить на основе трех исходных единиц: длины, массы и времени.

Однако в практике более удобной является система из четырех единиц типа LMTI, где I — сила электрического тока. В связи с этим международными метрологическими и электротехническими организациями принята система МКСА (метр—килограмм—секунда—ампер).

Для акустических измерений не требуется дополнительных основных единиц, поэтому применяются системы МКС и СГС.

Для измерений в области ионизирующих излучений (рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности) также не требуется дополнительных основных единиц и для них применяются системы МКСА и СГС.

Международная комиссия по радиологическим единицам (МКРЕ) установила наименования и размеры специальных (внесистемных) единиц для измерения дозы излучения (рентген), поглощенной дозы (рад) и активности (кюри).

Для измерения дозы излучения в системе МКСА производной единицей является кулон на килограмм (*к/кг*), для измерения поглощенной дозы — джоуль на килограмм (*дж/кг*). Рентген равен $2{,}57976 \cdot 10^{-4}$ *к/кг;* рад=0,01 *дж/кг*. Единицей активности в системе МКСА является 1/*сек*; принятая МКРЕ единица кюри равна $3{,}7 \cdot 10^{10}$ 1/*сек*.

Следует упомянуть о принципе построения системы единиц на двух основных единицах — длины и времени, предложенном в конце прошлого века В. Томсоном. В этой системе, названной автором «гравитационной абсолютной системой», в основу вывода производной единицы массы положены закон всемирного тяготения и второй закон Ньютона. Принимая в этих законах коэффициенты пропорциональности равными единице, можно получить следующее соотношение:

$$m = ar^2.$$

За единицу массы принимают массу, которая, притягивая некоторое тело, находящееся от нее на расстоянии, равном единице длины, вызывает в этом теле ускорение, равное единице. Если принять за единицу длины сантиметр и за единицу времени секунду, то эта единица массы будет приблизительно равна 15 *т*.

Эта система обладает кажущимся преимуществом, так как в ней имеются только две независимые основные единицы, но практически она не пригодна для измерений, так как важнейшие для практики единицы — масса и сила — имеют неудобные размеры и могут быть осуществлены в данной системе лишь с грубым приближением.

В заключение нужно сказать, что в литературе рассматривались и в отдельных случаях находили применение естественные системы единиц, основанные на универсальных физических постоянных — мировых константах. Если эти постоянные принять за единицы, то тем самым определятся единицы различных физических величин. Практическое значение таких систем заключается также и в том,

что при пользовании ими вид отдельных уравнений физики значительно упрощается.

Так, в системе единиц, предложенной Планком, основанием системы являются четыре единицы: гравитационная постоянная, скорость света, постоянная Планка и постоянная Больцмана.

Преимуществом этой системы является неизменность ее основания, но по размерам единиц эта система мало удобна для практики. Так, например, единица длины в ней равна $4{,}02 \cdot 10^{-33}$ *см*, единица массы $5{,}43 \cdot 10^{-5}$ *г* и единица времени $1{,}34 \cdot 10^{-43}$ *сек*. Кроме того, еще не достигнута точность измерений универсальных постоянных, необходимая для установления всех производных единиц, что также не позволяет переходить на такую систему.

В атомной физике в отдельных случаях применяется система атомных единиц Хартри. В качестве основных единиц приняты: заряд электрона, масса электрона, радиус первой боровской орбиты атома водорода и постоянная Планка. В этой системе единица энергии равна $4{,}359 \cdot 10^{-11}$ *эрг*, единица времени $2{,}419 \cdot 10^{-17}$ *сек*.

При рассмотрении атомных объектов в такой системе единиц уравнения освобождаются от лишних числовых коэффициентов, благодаря чему математические выражения законов физики приобретают более простой вид.

В релятивистской квантовой механике пользуются системой, в которой единицами являются: постоянная Планка, скорость света и масса какой-либо элементарной частицы (электрона или протона), в зависимости от того, какие процессы рассматриваются. За четвертую единицу при этом берут постоянную Больцмана. В такой системе единицей длины является комптоновская длина волны электрона $3{,}85 \cdot 10^{-11}$ *см*, единица времени $\approx 1{,}28 \cdot 10^{-21}$ *сек*, а единица энергии равна энергии покоя электрона $\approx 0{,}82 \cdot 10^{-12}$ *эрг* и т. д.

## Размерность единиц

При построении и анализе систем единиц, а также при вычислениях и расчетах применяется размерность.

Размерностью называют символическое (буквенное) обозначение зависимости производных единиц от основных.

Если производная единица какой-нибудь физической величины $A$ выражается через три основные единицы системы LMT, то она будет изменяться пропорционально какой-либо степени $p$ единицы длины $L$, степени $q$ единицы массы $M$ и степени $r$ единицы времени $T$. Это можно записать в виде следующей формулы:

$$[A] = L^p M^q T^r.$$

Данная формула, показывающая как производная единица связана с основными единицами, называется формулой размерности. Обозначение величины, для единицы которой устанавливается размерность, принято заключать в квадратные скобки.

В практике формулы размерности выражают или через символы величин или через символы единиц.

В первом случае в левой части уравнения помещают символы той величины, для единицы которой устанавливается размерность, а в правой части уравнения записывается произведение основных величин в соответствующих степенях. Так, размерность работы в системе типа LMT:

$$[A] = L^2MT^{-2}.$$

Во втором случае в левой части уравнения помещают название производной единицы, а в правой части уравнения — сокращенные обозначения основных единиц в соответствующих степенях. Например, размерность единицы работы в системе МКС — джоуля:

$$[\text{джоуль}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-2}.$$

Применение размерности оказывает существенную практическую пользу и, кроме сказанного выше, является весьма важным при преподавании.

Кроме единиц измерения, приведенных в системах единиц, в практике встречается еще значительное число внесистемных единиц, не входящих в какую-либо систему ни в качестве основных, ни в качестве производных.

Большинство внесистемных единиц — это исторически возникшие единицы, удобные при измерении тех или иных величин. Так, например, появилась внесистемная единица давления — атмосфера $= кгс/см^2$, приближенно равная давлению атмосферного воздуха и удобная для выражения давления при технических измерениях. В спектроскопии удобно было измерять длины волн во внесистемных единицах длины — ангстремах, равных $10^{-10}$ *см*. Внесистемные единицы встречаются почти во всех областях измерений.

В связи с проведением унификации единиц измерения и, особенно в связи с утверждением единой Международной системы единиц, роль внесистемных единиц уменьшается, они должны уступить место соответствующим единицам Международной системы. Это настоятельно вызывается требованиями единообразия измерений, особенно необходимыми в связи с развитием средств автоматического измерения и регулирования, вычислительно-управляющей техники, для которых унификация параметров информации играет исключительно важную роль.

## 2. СИСТЕМА СГС

Система единиц сантиметр—грамм—секунда (сокращенно называемая системой СГС) впервые была разработана Комитетом по электрическим эталонам Британской Ассоциации для развития наук в 1861—1870 гг.

Комитет был составлен из выдающихся физиков того времени. В состав его входили В. Томсон (Кельвин), Максвелл, Сименс, Джоуль, Уитстон и др.

Комитет рассмотрел систему единиц, разработанную Гауссом и Вебером, и принял в качестве основы абсолютной системы единиц три единицы: сантиметр, грамм, секунда.

После выбора основных единиц уже не трудно было установить единицы поверхности, объема, силы и работы. Для последних двух Комитет предложил наименования: для единицы силы — дина, для единицы работы — эрг.

Значительные трудности появились при разработке системы электрических и магнитных единиц. Тут не было таких простых соотношений между основными и производными, какие существуют в системе механических единиц. Необходимо было выбрать какие-либо определенные явления, которые связывают электрические и магнитные величины с механическими величинами, измеряемыми установленными основными или производными единицами.

Комитет остановился на двух уравнениях, отражающих:

а) взаимодействие друг с другом двух равных количеств электричества;

б) взаимодействие между током и магнитным полюсом.

Применение этих двух различных физических законов привело к двум разным системам единиц.

В первой из них все электрические единицы определяются по единице количества электричества. За эту единицу принято такое количество электричества, которое действует на равное ему количество, находящееся от первого на расстоянии, равном единице, с силой, равной единице; при этом все входящие сюда величины должны быть выражены в единицах системы СГС. Построенная на этой основе система электрических единиц получила название абсолютной электростатической системы единиц.

Во втором случае за основание электрических единиц была выбрана единица силы тока, который, проходя через проводник длиною в единицу, действует на единицу количества магнетизма, находящегося на расстоянии, равном единице, с силой, равной единице. Понятие о единице количества магнетизма, которое тогда применялось по аналогии с единицей количества электричества, устанавливалось по закону взаимодействия магнитных полюсов. Эта система единиц получила название абсолютной электромагнитной системы.

Теоретически обе системы были обоснованы одинаково, ни одна из них не имела преимуществ перед другой и обе были впоследствии приняты Первым Международным конгрессом электриков.

## Механические и акустические единицы системы СГС

Механические и акустические единицы системы СГС выводятся из основных единиц — сантиметра, грамма и секунды, с помощью уравнений, устанавливающих зависимость между механическими величинами.

Единицей скорости в системе СГС является *см/сек* (сантиметр

в секунду), равный скорости такого равномерного движения, при котором за время в 1 *сек* проходится расстояние в 1 *см*.

Единицей ускорения является *см/сек*$^2$ (сантиметр на секунду в квадрате), т. е. ускорение такого равнопеременного движения, при котором за 1 *сек* скорость изменяется на 1 *см/сек*. Единице ускорения в системе СГС было дано название «гал», не получившее, однако, широкого распространения. Лишь в области гравиметрических измерений часто применяют миллигал — дольную единицу ускорения, равную 0,001 *см/сек*$^2$.

Единицей силы в системе СГС служит дина — сила, которая массе в 1 *г* сообщает ускорение в 1 *см/сек*$^2$. Размерность единицы силы в системе СГС:

$$[\text{дина}] = см \cdot г \cdot сек^{-2}.$$

Единицей давления, звукового давления и механического напряжения является *дин/см*$^2$, равная давлению, при котором сила в 1 *дин* равномерно распределена по площади в 1 *см*$^2$. Эта единица в прошлом имела наименование «бар». Однако, в связи с присвоением наименования «бар» единице давления, равной $10^5$ ньютонов на квадратный метр, единице давления в системе СГС сохранено наименование «дина на квадратный сантиметр». В последнее время для этой единицы начинает получать распространение наименование «бария». Одновременно для нее же применяют наименование «микробар», так как она равна одной миллионной нового бара.

Единица работы — эрг — работа, которую совершает сила в 1 *дин* на пути в 1 *см*. Размерность этой единицы:

$$[\text{эрг}] = см^2 \cdot г \cdot сек^{-2}.$$

Единица мощности в системе СГС — *эрг/сек* — определяется как мощность, при которой работа в 1 *эрг* выполняется за 1 *сек*.

Единица динамической вязкости — пуаз, равный *дин · сек/см*$^2$ — вязкость такого вещества, в котором на 1 *см*$^2$ площади движущегося слоя действует сила трения, равная 1 *дин*, при условии, что изменение скорости движения между этим слоем и слоем, находящимся от него на расстоянии в 1 *см*, равно 1 *см/сек*. Размерность единицы динамической вязкости в системе СГС:

$$[\text{пуаз}] = см^{-1} \cdot г \cdot сек^{-1}.$$

Кинематическая вязкость, определяемая как отношение динамической вязкости к плотности, в системе СГС измеряется стоксами. Стокс, равный *см*$^2$*/сек*, можно определить как вязкость жидкости (плотностью 1 *г/см*$^3$), которая оказывает взаимному перемещению двух слоев жидкости площадью 1 *см*$^2$, находящихся на расстоянии 1 *см* друг от друга и перемещающихся со скоростью 1 *см/сек*, силу сопротивления в 1 *дин*.

Размерность единицы кинематической вязкости:

$$[\text{стокс}] = см^2 \cdot сек^{-1}.$$

Единицей плотности звуковой энергии в системе СГС служит *эрг/см*$^3$, т. е. такая плотность энергии звуковых волн, при которой в объеме 1 *см*$^3$ сосредоточена энергия в 1 *эрг*.

Единица интенсивности звука *эрг/сек·см*$^2$ — такая интенсивность звука, при которой в среднем за один период через 1 *см*$^2$ поверхности, перпендикулярной к направлению распространения звука, проходит в 1 *сек* энергия в 1 *эрг*.

Единица акустического сопротивления в системе СГС — *дин·сек/см*$^5$. Ее называют иногда акустическим омом.

Размерность этой единицы:

$$[\text{акустический ом}] = см^{-4} \cdot г \cdot сек^{-1}.$$

Как уже указывалось, система СГС, в силу малых размеров основных единиц длины и массы, не имеет широкого практического распространения и применяется, главным образом, в физике.

Этого нельзя сказать об отдельных единицах системы СГС и, в частности, о такой единице, как пуаз, которая нашла широкое практическое применение при технических измерениях и характеристиках вязкости различных материалов. Точно так же, не только в теоретической, но и в практической акустике, акустические единицы системы СГС получили широкое распространение.

## Электрические и магнитные единицы системы СГС

Как указывалось выше, основные положения построения системы СГС для электрических и магнитных величин были установлены Комитетом по электрическим эталонам Британской Ассоциации для развития наук, принявшей за основу принципы, на которых Гауссом была построена система магнитных единиц и Вебером система электрических единиц.

В настоящее время для электрических и магнитных величин существуют семь различных видов систем, построенных на основе системы СГС: СГСЭ, СГСМ, СГС (симметричная) СГС$\varepsilon_0$ и СГС$\mu_0$, СГСФ и СГСБ.

### *Система СГСЭ*

Система сантиметр—грамм—секунда электростатическая (сокращенно СГСЭ) строится на трех основных единицах. Диэлектрическая проницаемость вакуума принимается равной безразмерной единице. Эту систему называют также абсолютной электростатической системой единиц.

Применяя уравнения электричества и магнетизма, можно вывести в качестве производных единиц системы СГСЭ единицы всех электрических и магнитных величин.

Единицей количества электричества или заряда в системе СГСЭ является электростатическая единица количества электричества, за которую принимают такое количество электричества, которое

действует в вакууме на равное ему количество, находящееся на расстоянии 1 *см*, с силой в 1 *дин*. Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. заряда СГСЭ}] = см^{3/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1}.$$

За единицу напряженности электрического поля принята напряженность такого однородного поля, в котором на заряд, равный одной электростатической единице количества электричества, действует сила, равная 1 *дин*.

Единицей потенциала электростатического поля в системе СГСЭ является потенциал такой точки электростатического поля, при удалении из которой в бесконечность заряда в одну электростатическую единицу количества электричества совершается работа в 1 *эрг*.

Размерность единицы потенциала в системе СГСЭ:

$$[\text{ед. потенциала СГСЭ}] = см^{1/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1}.$$

Электрическая емкость в системе СГСЭ выражается в сантиметрах. Сантиметр — емкость проводника, у которого при увеличении заряда на одну электростатическую единицу количества электричества потенциал возрастает на одну электростатическую единицу потенциала.

Электростатическая единица силы электрического тока равна такой силе тока, при которой через поперечное сечение проводника в 1 *сек* проходит одна электростатическая единица количества электричества.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. силы тока СГСЭ}] = см^{3/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-2}.$$

За единицу сопротивления в системе СГСЭ принимается сопротивление такого проводника, по которому течет ток в одну электростатическую единицу силы тока, при разности потенциалов на концах проводника в одну электростатическую единицу потенциала.

В качестве производных в системе СГСЭ можно выразить и единицы магнитных величин. Так, например, из формулы напряженности поля прямолинейного бесконечного тока $H = \frac{2I}{r}$ можно вывести единицу напряженности магнитного поля в системе СГСЭ. Ее размерность будет:

$$[\text{ед. напряженности магнитного поля СГСЭ}] = см^{1/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-2}.$$

Подобным образом можно вывести электростатические единицы и других магнитных и электромагнитных величин (магнитного потока, магнитной индукции, индуктивности и т. д.). Однако практически единицами системы СГСЭ для измерения или вычислений магнитных величин не пользуются.

## *Система СГСМ*

Система единиц сантиметр—грамм—секунда электромагнитная (СГСМ) строится, аналогично системе СГСЭ, на трех основных единицах системы СГС. Магнитная проницаемость вакуума $\mu_0$ принимается равной безразмерной единице. Эту систему называют также абсолютной электромагнитной системой единиц.

За исходное уравнение для построения системы магнитных единиц можно принять или закон Кулона для взаимодействия магнитных полюсов (откуда выводят единицу магнитной массы), или закон взаимодействия двух бесконечно длинных параллельных проводников с током (откуда выводят единицу силы тока).

Единицей магнитной массы является электромагнитная единица количества магнетизма, за которое принимается количество магнетизма, взаимодействующее с равным количеством магнетизма в вакууме на расстоянии 1 *см* с силой в 1 *дин*.

Размерность этой условной единицы магнитной массы:

$$[\text{ед. количества магнетизма СГСМ}] = см^{3/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1}.$$

Напряженность магнитного поля в системе СГСМ измеряется в эрстедах. За 1 *э* принята напряженность в такой точке поля, в которой на 1 электромагнитную единицу количества магнетизма действует сила в 1 *дин*.

Размерность электромагнитной единицы напряженности магнитного поля:

$$[\text{эрстед}] = см^{-1/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1}.$$

Магнитная индукция в системе СГСМ измеряется в гауссах. Гаусс — магнитная индукция магнитного поля в вакууме при напряженности в 1 *э*. Размерность гаусса та же, что и эрстеда.

Единицей потока магнитной индукции является максвелл, равный магнитному потоку, проходящему сквозь площадку в 1 $см^2$, расположенную перпендикулярно к линиям индукции магнитного поля, при индукции, равной 1 *гс*. Размерность максвелла:

$$[\text{максвелл}] = см^{3/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1}.$$

За единицу силы электрического тока в системе СГСМ принята такая сила тока, при которой ток, протекая по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 2 *см* один от другого, вызывал бы между этими проводниками силу в 1 *дин* на 1 *см* проводника.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. силы тока СГСМ}] = см^{1/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1}.$$

Единицей индуктивности в системе СГСМ является сантиметр. Электромагнитная единица индуктивности — сантиметр — это индуктивность такого контура, в котором сила тока, равная одной

электромагнитной единице силы тока, создает магнитный поток, равный одному максвеллу.

Единица магнитодвижущей силы — гильберт — определяется как магнитодвижущая сила, возникающая при одном обходе проводника с током, равным $\frac{1}{4\pi}$ электромагнитных единиц силы тока. Размерность гильберта та же, что единицы силы тока в системе СГСМ.

В электромагнитной системе единиц СГСМ можно получить производные единицы электростатических величин.

Так, например, пользуясь уравнением связи между количеством электричества, временем его прохождения и силой электрического тока $q=It$, можно вывести единицу количества электричества в системе СГСМ. За электромагнитную единицу количества электричества принимается такое количество электричества, которое проходит через поперечное сечение проводника за 1 *сек* при силе тока в одну электромагнитную единицу силы тока.

Подобным же образом можно вывести в системе СГСМ единицы электрического потенциала, электроемкости и др. Однако электростатические величины практически очень редко выражают в единицах СГСМ.

### *Система СГС (симметричная)*

Система электрических и магнитных единиц СГС (симметричная), называемая также системой Гаусса, объединяет две системы — СГСЭ и СГСМ.

Электрические единицы в ней совпадают с электрическими единицами СГСЭ, а магнитные единицы — с магнитными единицами СГСМ. Следовательно, единицы и размерности электрического заряда, напряженности электрического поля, электрического потенциала и электродвижущей силы, емкости, сопротивления, диэлектрической проницаемости в системе СГС (симметричной) такие же, как в электростатической системе единиц СГСЭ. Магнитные же единицы системы СГС (симметричной) для напряженности магнитного поля, магнитной индукции, магнитного потока, магнитодвижущей силы, индуктивности, магнитной проницаемости и др. совпадают с одноименными единицами электромагнитной системы СГСМ и имеют одинаковую с ними размерность.

При построении системы СГС (симметричной) для установления электрических единиц диэлектрическая проницаемость вакуума принимается равной безразмерной единице, для установления магнитных единиц — безразмерной единице приравнивается магнитная проницаемость вакуума.

Система СГС (симметричная) имеет наибольшее практическое применение в работах по физике и теоретических трудах по электричеству. Эта система (наряду с практической системой электрических единиц МКСА) допущена к применению государственными стандартами СССР на единицы.

## *Системы единиц СГС$\varepsilon_0$ и СГС$\mu_0$*

При построении системы единиц СГСЭ диэлектрическая проницаемость считается числом отвлеченным и для вакуума принимается равной единице. Подобным же образом поступают при построении системы единиц СГСМ, принимая в ней магнитную проницаемость за отвлеченное число и приравнивая единице магнитную проницаемость вакуума.

Можно построить системы единиц для измерения электрических и магнитных величин на основе сантиметра, грамма, секунды, принимая в качестве четвертой основной единицы или диэлектрическую проницаемость вакуума $\varepsilon_0$ или магнитную проницаемость вакуума $\mu_0$.

Систему единиц с четырьмя основными единицами сантиметр—грамм—секунда—диэлектрическая проницаемость вакуума сокращенно обозначают символом СГС$\varepsilon_0$. Единицы системы СГС$\varepsilon_0$ определяют так же, как и в системе СГСЭ, но размерности некоторых однородных единиц отличаются друг от друга. Так, например, размерность единицы электрического потенциала в системе СГС$\varepsilon_0$ выражается следующей формулой:

$$[\text{ед. потенциала СГС}\varepsilon_0] = см^{1/2} \cdot г^{1/2} \cdot сек^{-1} \varepsilon_0^{-1/2}.$$

Подобным же образом можно построить и вторую систему единиц, называемую системой СГС$\mu_0$. В ней в качестве четвертой основной единицы принимают магнитную проницаемость вакуума $\mu_0$. Однородные единицы в системах СГСМ и СГС$\mu_0$ определяются одинаково, но размерности единиц отличаются тем, что в размерностях единиц системы СГС$\mu_0$ входит в той или иной степени четвертая основная единица $\mu_0$ — магнитная проницаемость вакуума.

## *Системы единиц СГСФ и СГСБ*

Физиками обсуждался вопрос о построении четырехразмерной системы единиц для электрических и магнитных измерений на основе сантиметра, грамма, секунды и единицы одной из электрических величин. Такое построение системы единиц наряду с преимуществами дидактического характера дает возможность четко разграничить области электричества и магнетизма. Новый вид системы СГС с четырьмя основными единицами рассматривали как обобщение системы СГС. Четырехразмерная система СГС должна была составляться таким образом, чтобы любой единице системы СГС (с тремя основными единицами) соответствовала одна определенная единица этой «обобщенной системы СГС» и так, чтобы числовые значения физических величин были постоянными в области электричества. Преимуществом четырехразмерной системы СГС считали также и то, что связь между единицами этой «обобщенной системы СГС» и единицами системы МКСА может выражаться

обычными переводными коэффициентами и можно легко переходить от одной системы единиц к другой.

В результате обсуждения на Генеральной ассамблее Международного союза чистой и прикладной физики, состоявшейся в Копенгагене в 1951 г., была принята резолюция, утверждавшая введение следующих двух «обобщенных систем СГС», базирующихся на четырех основных единицах:

а) система сантиметр—грамм—секунда—электростатическая единица электрического заряда;

б) система сантиметр — грамм — секунда — электромагнитная единица силы тока.

При этом основная электрическая единица каждой из этих двух систем должна была иметь название и символ.

Для электростатической единицы электрического заряда, принятой за основную единицу первой системы, в 1941 г. было предложено название «франклин». Франклин (*фр*) — это такой заряд, который действует на равный заряд на расстоянии 1 *см* в вакууме с силой в 1 *дин*.

Электромагнитная единица силы электрического тока, являющаяся основной единицей второй системы, получила название «био» (*би*). Био — это постоянная сила тока, которая при поддержании ее в двух параллельных прямолинейных проводниках бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, помещенных на расстоянии 1 *см* друг от друга в вакууме, образует между этими проводниками силу в 2 *дин* на 1 *см* длины.

Данные две системы получили сокращенные названия систем СГСФ (сантиметр—грамм—секунда—франклин) и СГСБ (сантиметр—грамм—секунда—био).

Так как определения франклина в системе СГСФ и единицы био в системе СГСБ соответствуют определениям электростатической единицы заряда в системе СГСЭ и электромагнитной единицы силы тока в системе СГСМ, величины в уравнениях, выражаемых в единицах четырехразмерной системы, имеют те же числовые значения, какие имеют эти величины в единицах трехразмерной системы СГС.

Четырехразмерные системы единиц СГСФ и СГСБ являются системами нигде практически не применявшимися, и пользование ими вызвало бы дальнейшее увеличение и так чрезмерно возросшего количества систем электрических единиц.

## Система СГС для измерений в области излучения и света

В системе единиц СГС могут быть выражены энергетические характеристики электромагнитного излучения.

Единицей потока лучистой энергии, т. е. количества энергии, падающей в единицу времени на данную поверхность, является единица мощности (эрг в секунду).

Интенсивность потока лучистой энергии, т. е. поток, приходящийся на единицу поверхности, измеряют в *эрг/сек · см*$^2$.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. интенсивности потока лучистой энергии СГС}] = г \cdot сек^{-3}.$$

Объемная плотность лучистой энергии, определяемая энергией, заключенной в единице объема, выражается в *эрг/см*$^3$. Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. объемной плотности лучистой энергии СГС}] = см^{-1} \cdot г \cdot сек^{-2}.$$

Спектральная плотность лучистой энергии, отнесенная к определенной частоте, выражается в *эрг/см*$^3 \cdot$ *сек*$^{-1}$.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. спектральной плотности лучистой энергии СГС}] = см^{-1} \cdot г \cdot сек^{-1}.$$

Переход от единиц электромагнитного излучения к светотехническим единицам осуществляется с помощью величины видности — $V$, равной отношению светового потока к потоку лучистой энергии и являющейся характеристикой восприятия лучистой энергии человеческим глазом. В системе СГС видность выражается в люменах на эрг в секунду $\left(\frac{лм}{эрг/сек}\right)$.

Световой поток измеряется люменами. Люмен определяется по эталонным установкам силы света и светового потока в виде полного излучателя. Размерность люмена может быть представлена в единицах системы СГС с введением видности:

$$[\text{люмен}] = см^2 \cdot г \cdot сек^{-3} \cdot V.$$

Единицей силы света служит свеча, определяемая по эталону силы света. Свеча численно равна световому потоку в 1 *лм*, приходящемуся на единицу телесного угла.

Освещенность поверхности в системе СГС измеряется фотами. Фот — освещенность поверхности, создаваемая световым потоком в 1 *лм* при равномерном распределении его на площади 1 *см*$^2$.

Единицей яркости в системе СГС служит стильб. Стильб — яркость поверхности, квадратный сантиметр которой дает в направлении, перпендикулярном к этой поверхности, силу света, равную 1 *св*.

### 3. СИСТЕМА МТС

Система единиц измерения механических величин с основными единицами метр, тонна, секунда появилась впервые во Франции в 1919 г. и была узаконена правительственным декретом о единицах измерения.

Эта система строится подобно системе СГС для измерения механических величин, отличаясь только размерами двух основных единиц. Преимуществом этой системы считали выбор удобных для практики размеров единиц длины и массы; соответствие единиц массы и длины (тонна соответствует массе 1 *м*$^3$ воды), в связи с чем значения плотности материалов сохраняются в системе МТС

такими же, как и в системе СГС; простая связь между механическими и электрическими единицами (килоджоуль — единица работы в системе МТС — равен 1000 джоулей работы и энергии в электричестве).

Система МТС была рекомендована первым советским стандартом на механические единицы, принятым в 1927 г., и введена в стандарт на механические единицы, действовавший с 1933 до 1955 гг.

Важнейшими производными механическими единицами системы МТС являлись:

Стен — единица силы — сила, сообщающая массе в 1 *т* ускорение в 1 *м/сек*$^2$. Размерность стена:

$$[\text{стен}] = м \cdot т \cdot сек^{-2}.$$

Стенметр, или килоджоуль, — единица работы и энергии — работа, производимая силой в 1 *сн* при перемещении точки ее приложения на 1 *м* по направлению этой силы.

Размерность килоджоуля:

$$[\text{килоджоуль}] = м^2 \cdot т \cdot сек^{-2}.$$

Стенметр в секунду, килоджоуль в секунду или киловатт — единица мощности — мощность, при которой в течение секунды равномерно производится работа в 1 *кдж*.

Размерность киловатта:

$$[\text{киловатт}] = м^2 \cdot т \cdot сек^{-3}.$$

Пьеза — единица давления и механического напряжения — давление, которое испытывает плоская поверхность в 1 *м*$^2$ под действием равномерно разделенной нагрузки в 1 *сн*.

Размерность пьезы:

$$[\text{пьеза}] = м^{-1} \cdot т \cdot сек^{-2}.$$

Следует отметить, что система единиц МТС не получила практического распространения и отменена с 1955 г. в СССР и с 1961 г. во Франции.

## 4. СИСТЕМА МКГСС

Система механических единиц с основными единицами метр, килограмм-сила, секунда получила распространение в технике с конца прошлого века и в настоящее время широко применяется для измерений в механике, теплотехнике и родственных с ними областях, поэтому ее иногда называют технической системой единиц.

Некоторые авторы, в частности, бельгийские, считают началом установления системы МКГСС конец XVIII века — период установления метрической системы мер, так как первоначально килограмм определялся не как единица массы, а как единица веса. Вследствие этого в бельгийской литературе систему МКГСС называют часто метрической системой единиц.

В связи с этим интересно отметить, что, когда в 1956 г. Международный комитет мер и весов установил Международную систему единиц, начальник службы метрологии Бельгии проф. Жакоб выступил в журнале «Бельгийский бюллетень метрологии» со статьей «Конец метрической системы и замена ее международной системой единиц».

С другой стороны во Франции, являющейся родиной метрической системы, некоторые авторы считали официальное разрешение пользоваться в стране системой МКГСС отклонением от метрической системы, так как единица массы в этой системе, равная 9,8 *кг*, нарушает метрический принцип десятичности мер. В списке единиц измерения, установленных в правительственном декрете от 3 мая 1961 г. о единицах измерений во Франции отсутствуют единицы системы МКГСС, в том числе и килограмм-сила.

За основную единицу силы в системе МКГСС принимают килограмм-силу, равную силе веса тела, имеющего массу в 1 *кг* при нормальном ускорении силы тяжести 9,80665 *м/сек*$^2$.

За единицу массы в системе МКГСС принята масса тела, получающего ускорение в 1 *м/сек*$^2$ под действием приложенной к ней силы в 1 *кгс*. Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. массы МКГСС}] = м^{-1} \cdot кгс \cdot сек^2.$$

Давление и механическое напряжение измеряется единицей — килограмм-сила на квадратный метр, равной давлению, равномерно распределенному по плоской поверхности в 1 *м*$^2$ при действии силы в 1 *кгс*.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. давления МКГСС}] = м^{-2} \cdot кгс.$$

Единица работы и энергии — килограмм-сила-метр — работа, производимая силой в 1 *кгс* при перемещении точки приложения этой силы на 1 *м* по ее направлению.

Размерность этой единицы:

$$[\text{килограмм-сила-метр}] = м.\ кгс.$$

Единица мощности — килограмм-сила-метр в секунду — мощность, при которой в течение 1 *сек* равномерно производится работа в 1 *кгс·м*.

Размерность этой единицы:

$$[\text{килограмм-сила-метр в секунду}] = м \cdot кгс \cdot сек^{-1}.$$

## 5. ПРАКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ

Учитывая малые размеры электрических единиц системы СГС, неудобные для практических измерений, Первый Международный конгресс электриков в 1881 г. установил практическую систему

электрических единиц, которые были образованы из соответствующих единиц электромагнитной системы СГСМ умножением на соответствующие степени числа 10. Ом был принят равным $10^9$ единиц сопротивления СГСМ, вольт — $10^8$ единиц э.д.с. СГСМ. Из этих двух единиц выводились другие практические электрические единицы.

Множитель $10^9$ для практической единицы сопротивления был выбран для того, чтобы единица сопротивления была близка по размеру к большинству существовавших в то время единиц сопротивления и в особенности к ртутной единице Сименса (сопротивление столба ртути длиной в 100 *см*, поперечным сечением 1 *мм*$^2$), получившей в то время большое распространение.

Множитель $10^8$ для практической единицы электродвижущей силы был выбран для того, чтобы практическая единица была возможно ближе к электродвижущей силе элемента Даниэля, наиболее распространенного в то время и имевшего э.д.с., близкую к 1 *в*.

Практическая система электрических единиц, принятая конгрессом, явилась, по существу, новой системой с новыми основными единицами. Но так как в решении конгресса это не было подчеркнуто, практическая система электрических единиц была представлена как некогерентная производная от основной системы СГСМ.

В 1893 г. на Международном конгрессе электриков в Чикаго была принята система международных электрических единиц, отличающаяся от практических единиц тем, что они определялись по эталонам, служащим для их воспроизведения, в соответствии с установленной спецификацией.

Подробное изложение практической системы электрических единиц и системы международных электрических единиц дано в разд. 2, гл. II.

## 6. СИСТЕМЫ МКС, МКСГ, МКСА, МСС И СИСТЕМА СИ

В настоящее время наибольшее практическое распространение получают системы единиц, основанные на трех основных единицах — метр, килограмм (масса), секунда — с добавлением для отдельных видов измерения четвертой основной единицы. Система такого типа была предложена в 1901 г. итальянским физиком Джорджи, впервые обратившим внимание на возможность построения когерентной системы как механических, так и электрических единиц, на основе системы МКС с добавлением четвертой основной единицы из практической системы электрических единиц.

На этом же принципе построена и Международная система единиц (система СИ), в основу которой положено шесть основных единиц.

### *Система МКС*

Для построения всех производных единиц механических и акустических величин достаточно трех основных единиц: метра, килограмма и секунды.

Важнейшие производные единицы системы МКС

Единицей силы в системе МКС служит ньютон—сила, сообщающая массе в 1 *кг* ускорение в 1 *м/сек*$^2$.

Размерность ньютона:

$$[\text{ньютон}] = м \cdot кг \cdot сек^{-2}.$$

Производной единицей работы и энергии в системе МКС служит джоуль — работа, произведенная силой в 1 *н* при перемещении точки приложения этой силы на 1 *м* по ее направлению.

Размерность джоуля:

$$[\text{джоуль}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-2}.$$

За единицу мощности принят ватт, равный мощности, при которой за 1 *сек* выполняется работа в 1 *дж*.

Размерность ватта:

$$[\text{ватт}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-3}.$$

Единица давления, звукового давления и механического напряжения — ньютон на квадратный метр — давление, равномерно распределенное по плоской поверхности в 1 *м*$^2$ при действии силы в 1 *н*.

Динамическая вязкость выражается в килограммах на метр-секунду. 1 *кг/м·сек* — динамическая вязкость такой жидкости, в которой при изменении скорости жидкости в 1 *м·сек* на расстоянии 1 *м* касательное напряжение равно 1 *н/м*$^2$.

Кинематическая вязкость выражается в квадратных метрах на секунду. 1 *м*$^2$*/сек* — кинематическая вязкость жидкости, динамическая вязкость которой равна 1 *кг/м·сек,* а плотность равна 1 *кг/м*$^3$.

Единица интенсивности звука — ватт на квадратный метр — сила звука в плоской звуковой волне, при которой сквозь поверхность в 1 *м*$^2$, расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны, передается звуковая мощность в 1 *вт*.

## *Система МКСГ*

Для измерения тепловых величин установлена система метр—килограмм—секунда—градус (сокращенно МКСГ). Четвертая основная единица отражает специфику тепловых измерений, связанных с температурой.

Важнейшие производные единицы системы МКСГ.

Джоуль — для количества теплоты. Джоуль — количество теплоты, эквивалентное механической работе в 1 *дж*.

Джоуль на градус — единица теплоемкости тела. 1 *дж/град* равен теплоемкости тела, температура которого повышается на 1 *град* при сообщении ему количества теплоты в 1 *дж*.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. теплоемкости МКСГ}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-2} \cdot град^{-1}.$$

Джоуль на килограмм-градус — единица удельной теплоемкости. 1 *дж/кг · град* — удельная теплоемкость вещества, температура которого повышается на 1 *град* при сообщении ему количества теплоты, равного 1 *дж* на килограмм массы.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. удельной теплоемкости МКСГ}] = м^2 \cdot сек^{-2} \cdot град^{-1}.$$

Джоуль на килограмм —единица удельной теплоты фазового превращения или химической реакции.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. удельной теплоты МКСГ}] = м^2 \cdot сек^{-2}.$$

Ватт — единица теплового потока — соответствует единице мощности МКС.

Ватт на квадратный метр-градус — единица коэффициента теплообмена и коэффициента теплопередачи.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. теплопередачи МКСГ}] = кг \cdot сек^{-3} \cdot град^{-1}.$$

Ватт на метр-градус — единица коэффициента теплопроводности. 1 *вт/м · град* — теплопроводность вещества, для которого при градиенте температуры в 1 *град/м*, сквозь поверхность через 1 $м^2$, перпендикулярно направлению этого градиента, в 1 *сек* проходит количество теплоты, равное 1 *дж*.

Размерность этой единицы:

$$[\text{ед. теплопроводности МКСГ}] = м \cdot кг \cdot сек^{-3} \cdot град^{-1}.$$

Квадратный метр на секунду — единица коэффициента температуропроводности. 1 $м^2/сек$ — температуропроводность вещества, для которого отношение теплопроводности к произведению удельной теплоемкости на плотность равно единице.

## *Система МКСА*

Система электрических и магнитных единиц метр—килограмм—секунда—ампер имеет уже сейчас преимущественное распространение в электротехнике и радиотехнике.

Эта система применяется только для рационализированной формы уравнений электромагнитного поля с исключением множителя $4\pi$ из наиболее важных и часто применяемых уравнений.

В этой системе применяются две постоянных: электрическая, равная диэлектрической проницаемости вакуума:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi c^2} \cdot 10^7 \; ф/м,$$

(где $c$ — численное значение скорости света в вакууме, выраженное в метрах в секунду), и магнитная, равная магнитной проницаемости вакуума

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ гн/м.$$

Единицей количества электричества (электрического заряда) в системе МКСА является кулон, равный количеству электричества, протекающему сквозь поперечное сечение проводника в течение 1 *сек* при неизменяющемся токе в 1 *а*.

Размерность кулона:

$$[\text{кулон}] = сек \cdot а.$$

Единицей электрического потенциала является вольт, равный разности электрических потенциалов между двумя точками электрического поля, при перемещении между которыми заряда в 1 *к* совершается работа в 1 *дж*.

Размерность вольта:

$$[\text{вольт}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-3} \cdot а^{-1}.$$

Напряженность электрического поля измеряется в вольтах на метр. 1 *в/м* — напряженность электрического поля в той точке поля, где на количество электричества в 1 *к* действует сила в 1 *н*.

Размерность этой единицы:

$$[\text{вольт на метр}] = м \cdot кг \cdot сек^{-3} \cdot а^{-1}.$$

Электрическая емкость измеряется в фарадах. 1 *ф* — емкость проводника, потенциал которого повышается на 1 *в* при передаче ему заряда в 1 *к*.

Размерность фарады:

$$[\text{фарада}] = м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot сек^4 \cdot а^2.$$

Электрическое сопротивление измеряется в омах. 1 *ом* — сопротивление проводника, по которому при разности потенциалов на его концах в один вольт течет ток в 1 *а*.

Размерность ома:

$$[\text{ом}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-3} \cdot а^{-2}.$$

Единица магнитного потока — вебер — такой магнитный поток, при убывании которого до нуля за 1 *сек* в контуре, сцепленном с этим потоком, возникает э.д.с. индукции в 1 *в*.

Размерность вебера:

$$[\text{вебер}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-2} \cdot а^{-1}.$$

Единицей магнитной индукции является вебер на квадратный метр. 1 *вб/м*$^2$ — индукция такого однородного магнитного поля, в котором магнитный поток через площадку 1 *м*$^2$, перпендику-

лярную направлению поля, равен 1 *вб*. Вебер на квадратный метр получил наименование «тесла».

$$[\text{тесла}] = кг \cdot сек^{-2} \cdot a^{-1}.$$

Единица индуктивности и взаимной индуктивности — генри. 1 *гн* равен индуктивности такого проводника, в котором при изменении силы тока на 1 *а* в 1 *сек* возникает электродвижущая сила в 1 *в*.

Размерность генри:

$$[\text{генри}] = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-2} \cdot a^{-2}.$$

Напряженность магнитного поля измеряется в амперах на метр. 1 *а/м* — напряженность магнитного поля, создаваемого прямолинейным бесконечно длинным проводником с током силой тока в 1 *а* на расстоянии 2 *м* от проводника. Советскими представителями в Международной электротехнической комиссии внесено предложение о присвоении наименования «ленц» единице напряженности магнитного поля.

Размерность единицы напряженности магнитного поля в системе МКСА:

$$[\text{ампер на метр}] = м^{-1} \cdot a.$$

### *Световые единицы системы МСС (метр—секунда—свеча)*

Для установления системы единиц световых величин, соответствующих системе МКС, могут быть применены два способа:

1) Исходить из энергетических величин характеристик лучистой энергии и, вводя функцию видности $V$, перейти к световым величинам. Этот переход можно осуществить, получив формулу размерности единицы светового потока, через размерность единицы потока лучистой энергии в системе МКС (ватт), умноженной на функцию видности. Тогда для люмена — единицы светового потока — получаем размерность:

$$[\text{люмен}] = вт \cdot V = м^2 \cdot кг \cdot сек^{-3} \cdot V.$$

Исходя из люмена и его размерности, можно получить производные единицы и их размерности для других световых величин в системе МКС.

2) Исходить из единицы силы света — свечи — как основной единицы системы для построения световых единиц. Для этого построения необходимы еще две основные единицы: метр и секунда.

В этом случае производными единицами системы единиц для измерения важнейших световых величин являются:

люмен — единица светового потока. 1 *лм* равен световому потоку точечного источника света в 1 *св* внутри телесного угла в 1 *стер*.

Размерность люмена совпадает с размерностью свечи, так как телесный угол принимается за безразмерную величину.

Люкс — единица освещенности поверхности. 1 *лк* — освещенность поверхности, создаваемая световым потоком в 1 *лм*, равномерно распределенным на площади в 1 $м^2$.

Размерность люкса:

$$[\text{люкс}] = м^{-2} \cdot св.$$

Нит — единица яркости. 1 *нт* — яркость поверхности, квадратный метр которой дает в направлении, перпендикулярном к этой поверхности, силу света в 1 *св*.

Размерность нита:

$$[\text{нит}] = м^{-2} \cdot св.$$

### *Система СИ*

Одиннадцатой Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г. принята Международная система единиц (сокращенно обозначаемая СИ), в основу которой положено шесть единиц: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча.

Система СИ явилась обобщением для всех областей измерений, наиболее удобных для практического применения единиц. Она исходит из необходимого для построения когерентной системы количества основных единиц.

Как нетрудно видеть, рассмотренные системы единиц являются частями Международной системы СИ, применяемыми для определенных областей измерений: система МКС, применяемая для измерений механических величин, система МКСГ — для измерения тепловых величин; система МКСА — для измерения электрических и магнитных величин и т. д.

## 7. ВНЕСИСТЕМНЫЕ ЕДИНИЦЫ

Наряду с построением систем единиц, в которых независимо выбираемыми являются только основные единицы системы, исторически возник ряд единиц, не входящих ни в одну из систем, — так называемых внесистемных единиц.

Число внесистемных единиц довольно значительно и возникновение большинства из них объясняется тем, что они удобны при измерении тех или иных физических величин.

Важнейшие внесистемные единицы:

для измерения длины

Ангстрем — единица, равная $10^{-10}$ *м*. Применяется, главным образом, при измерении длин волн в спектроскопии.

Х-единица, равная $10^{-13}$ *м*. Используется для измерения малых размеров в атомной физике.

Световой год—расстояние, проходимое светом в течение одного года. Один световой год $= 9{,}46 \cdot 10^{15}$ *м*. Эта единица применяется в астрономии для характеристики космических расстояний.

для измерения площади

Ар — единица, равная 100 $м^2$. Применяется для измерения площадей на поверхности земли.

для измерения объема

Литр — равен объему 1 *кг* чистой воды при температуре ее наибольшей плотности (4°С). 1 *л* = 1,000028 $дм^3$.

для измерения массы

Карат — единица, равная 0,2 *г*. Применяется при определении массы драгоценных камней.

для измерения давления

Атмосфера или *кгс/см*$^2$, равная $9{,}80665 \cdot 10^4$ *н/м*$^2$. Применяется для измерения давления в технике. В тех случаях, когда эту единицу нужно отличить от физической атмосферы (равной нормальному давлению атмосферного воздуха), к ее наименованию добавляют слово техническая.

Бар — единица, равная $10^5$ *н/м*$^2$. Бар можно рассматривать как кратную единицу давления в системе МКС, в 100 000 раз большую чем *н/м*$^2$. Бар заменяет атмосферу в технических измерениях давления (1 *бар* = 1,02 *ат*) и получает в настоящее время все большее распространение. В метеорологии широко применяют единицу для измерения атмосферного давления — миллибар, равный $10^{-3}$ бара.

Миллиметр ртутного столба — гидростатическое давление столба ртути высотой 1 *мм*. 1 *мм рт. ст.* равен 133,322 *н/м*$^2$. Эта единица применяется для измерения давления в барометрах, ртутных манометрах и др.

Миллиметр водяного столба — гидростатическое давление столба воды высотой в 1 *мм*. 1 *мм вод. ст.* равен 9,80665 *н/м*$^2$. Данная единица применяется в напоромерах и тягонапоромерах для измерения давления (тяги) в топочных устройствах.

для измерения количества теплоты

Калория — количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 *г* воды на 1 *град*. В ОСТ ВКС 6954 «Тепловые единицы», действовавшем с 1934 по 1956 г., в СССР была принята 20° килокалория, определяемая (с погрешностью 0,02%) как количество теплоты, необходимое для нагревания массы воды в 1 *кг* от 19,5 до 20,5°С. В ГОСТ 8550—57 «Тепловые единицы» в СССР принято значение калории 1 *кал* = 4,1868 *дж*, соответствующее установленным международным рекомендациям. На калории основан ряд единиц для тепловых измерений (*кал/град* — для теплоемкости, *кал/г · град* — для удельной теплоемкости, *кал/сек* — для теплового потока и др.), допущенных к применению в СССР. Следует признать, что, несмотря на распространенность калории, преимущество одной единицы для измерения всех видов энергии (механической, тепловой, электрической, лучистой и др.) — джоуля — настолько очевидно, что калория полностью будет заменена в тепловых измерениях джоулем.

для измерения электрической энергии

Электронвольт — единица, равная энергии, приобретаемой

электроном, проходящим разность потенциалов в 1 *в*. 1 *эв* = $= 1{,}60207 \cdot 10^{-19}$ *дж*. Эту единицу обычно применяют при измерении энергии атомарных частиц.

для измерений в акустике

Децибел — единица измерения уровня звукового давления, равная такому уровню звукового давления, двадцать десятичных логарифмов отношения которого к условному порогу давления, равному 0,00002 $н/м^2$, принимаемому за нулевой уровень, равно единице.

Фон — единица уровня громкости. 1 фон равен уровню громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частоты 1000 *гц* равен 1 *дб*.

Октава — единица частотного интервала, равная интервалу между двумя частотами, логарифм отношения которых при основании два равен единице.

для измерения ионизирующих излучений

Рентген — единица дозы рентгеновского и гамма-излучений, определяемая по его ионизирующему действию в воздухе. За исходный размер принята доза, образующая ионы в 1 ед. заряда системы СГСЭ на 1 $см^3$ воздуха при нормальном атмосферном давлении и 0°С. Рентген равен 2,57976 *к/кг*. Эта единица широко применяется в дозиметрии ионизирующих излучений.

Рад — единица поглощенной дозы излучения. 1 рад равен поглощенной дозе излучения, соответствующей 0,01 *дж* на килограмм облученного вещества.

Кюри — единица активности радиоактивного изотопа. 1 кюри равен активности такого изотопа, в котором в секунду происходит $3{,}700 \cdot 10^{10}$ актов распада.

К числу внесистемных единиц относятся также такие распространенные единицы времени, как минута и час, а также некоторые собственные наименования кратных и дольных единиц измерения (например, единица длины — микрон равен $10^{-6}$ *м*; в соответствии с правилами образования дольных единиц, она должна именоваться микрометр; единица массы — тонна равна 1000 *кг*, как кратная единица она должна именоваться мегаграмм, и т. д.).

В связи с унификацией единиц измерений и принятием единой системы единиц, число и применение внесистемных единиц будет сведено к минимуму, необходимому для практических целей. Отдельные же распространенные собственные наименования некоторых кратных и дольных единиц — микрон, тонна, бар и т. д. — будут сохранены при практических измерениях.

*ГЛАВА II*

# ОБЗОР МЕЖДУНАРОДНЫХ РАБОТ ПО ЕДИНИЦАМ ИЗМЕРЕНИЙ

## 1. МЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МЕР

Метрическая система мер, имеющая в настоящее время международное распространение, возникла во Франции в конце XVIII века, в период Великой Французской революции.

К моменту установления метрической системы во Франции, как и в других государствах, существовало большое количество разнообразных мер. Единица длины, принятая в тот период во Франции, — туаз, имела различные размеры в разных частях страны. Существовали «парижский» туаз, «тулузский» туаз и т. д. В Европе насчитывалось до сотни различной длины футов, около полусотни различных миль, свыше 120 различных фунтов. Эти меры отличались друг от друга различными подразделениями. Каждая из применяемых мер имела местный характер и была совершенно произвольной, так что при утрате подлинника той или иной меры фактически было невозможно установить ее размеры.

Уже с XVII века возникли попытки установить такую меру, которая, будучи взята непосредственно из природы, оставалась бы при всех условиях неизменной и всегда могла бы быть восстановлена или проверена новыми, повторными измерениями.

Из ряда предложений выделялись два. В 1670 г. астроном Мутон предложил принять за основную единицу длины длину дуги земного меридиана в 1 *мин,* с дальнейшим десятичным подразделением этой меры на более мелкие единицы. Второе предложение принадлежит физику Гюйгенсу, который в 1673 г. указал, что $^1/_3$ длины секундного маятника весьма близко подходит к величинам существовавших тогда футов и как естественная неизменяемая мера могла бы заменить их.

В 1789 г. крупные торговые центры Франции обратились к правительству с петицией об установлении единых для всей страны мер. Национальное собрание Франции, рассматривая этот вопрос 8 мая 1790 г., намечало по предложению правительства узаконить длину секундного маятника как основную единицу длины. Для окончательного решения этого вопроса Национальное собрание поручило рассмотреть его специальной комиссии, в состав которой вошли такие крупные ученые, как Лагранж, Борда, Лаплас, Монж. Эта комиссия отклонила правительственный проект, указав, что длина секундного маятника не может считаться постоянной,

так как зависит от ускорения силы тяжести, а последнее различно в разных частях земного шара.

Со своей стороны комиссия выработала основные положения нынешней метрической системы и внесла их на утверждение в Национальное собрание, которое в заседании от 30 марта 1791 г. постановило: а) принять за основную единицу длины одну десятимиллионную часть четверти земного меридиана и б) назначить две экспедиции (во главе с учеными Мешеном и Деламбром) для проведения необходимых измерений дуги меридиана.

С 1792 г. по 1799 г. были произведены геодезические измерения дуги парижского меридиана от города Дюнкерка на севере Франции до Барселоны в Испании и затем далее до острова Форментеры (одного из группы Балеарских островов в Средиземном море).

В период 1791—1793 гг. были произведены также точные измерения веса известного объема воды путем последовательного взвешивания в воде и воздухе пустого бронзового цилиндра, размеры которого были тщательно определены. Эти измерения дали вес кубического дециметра дистиллированной воды, взятой при наибольшей плотности ($+4°$ С) и взвешенной в вакууме.

Ввиду того, что необходимые для установления новой единицы длины точные работы и вычисления требовали продолжительного времени, а правительство не хотело откладывать намеченную реформу мер и весов, 7 апреля 1795 г. было объявлено о введении новой метрической системы мер, установленной по решениям 1791 г. Временно введенный размер метра был основан на градусных измерениях Лакайля 1790 г., а килограмма — на взвешивании 1 $дм^3$ воды.

В августе 1799 г. были окончены работы и вычисления по градусному измерению парижского меридиана и по изготовлению платиновых прототипов метра и килограмма. Оба прототипа были представлены Лапласом в Национальное собрание, которое утвердило их декретом от 10 декабря 1799 г.

При введении метрической системы была установлена не только основная единица длины, взятая из природы, но были приняты такие положения, по которым единицы длины, поверхности, объема и веса, находились в простой математической связи с основной мерой. Поэтому все производные единицы и их подразделения были согласованы с десятичным числовым счетом, т. е. внутри метрической системы была строго проведена та же десятичная зависимость между большими и меньшими единицами, какая существует в нашей системе счета. Десятичность метрической системы является одним из важнейших ее преимуществ.

Метрическая десятичная система должна была, по мысли ее создателей, служить «на все времена, для всех народов».

Однако только во второй половине XIX века метрическая система получила признание в качестве международной. В этом направлении большую роль сыграла Российская Академия Наук.

В 1867 г. в Париже при Международной выставке был образо-

ван комитет весов, мер и монет. Председателем комиссии этого комитета по введению единообразия в измерениях длин и весов был русский физик акад. Якоби.

В 1870 г. в Париже по предложению Российской Академии Наук было вновь созвано совещание, которое должно было «принять меры для привлечения внимания правительств разных стран к необходимости установления прототипов мер». Российская Академия предложила организовать Международную комиссию, которой было бы поручено изготовить прототипы мер длины и массы.

Такая комиссия была организована и в 1872 г. приняла решение о создании платино-иридиевых прототипов метра и килограмма, которые должны были представлять основные единицы метрической системы.

## Метрическая конвенция

20 мая 1875 г. семнадцать государств, в том числе и Россия, на Международной дипломатической конференции по метру «для обеспечения международного единства и усовершенствования метрической системы» подписали Метрическую конвенцию.

В соответствии с этой конвенцией:

1) устанавливались международные прототипы метра и килограмма;

2) создавалось научное учреждение — Международное бюро мер и весов, содержащееся на средства всех стран, присоединившихся к Метрической конвенции;

3) учреждался Международный комитет мер и весов в составе ученых разных стран, осуществляющий руководство деятельностью Международного бюро мер и весов;

4) устанавливался созыв один раз в шесть лет генеральных конференций по мерам и весам для «обсуждения и принятия необходимых мер по распространению и усовершенствованию метрической системы».

В 1889 г. были закончены изготовление и сличение серий эталонов метра и килограмма из сплава платины с иридием. В этом же году Первая Генеральная конференция по мерам и весам установила международные прототипы метра и килограмма и передала их на хранение в Международное бюро мер и весов. Остальные эталоны были распределены по жребию между странами, подписавшими Метрическую конвенцию.

За восемьдесят семь лет, прошедшие после подписания Метрической конвенции, метрическая система получила большое развитие и распространение. Значительных успехов в своей работе достигли и международные метрологические организации.

В настоящее время к Метрической конвенции присоединилось 38 стран с общим населением около 1,5 миллиарда человек.

За этот период состоялось 11 генеральных конференций по мерам и весам, принявших важные решения по единицам измерений, эталонам и другим метрологическим вопросам.

В 1921 г. на Шестой Генеральной конференции по мерам и весам была пересмотрена Метрическая конвенция 1875 г. и деятельность международной организации по мерам и весам была значительно расширена.

Международный комитет мер и весов состоит из 18 членов — представителей научных и метрологических организаций разных стран, собирающихся на сессии, как правило, один раз в два года. За весь период своего существования он имел 50 сессий. На сессиях Комитета рассматриваются отчеты о деятельности Международного бюро мер и весов и его лабораторий, а также решаются другие метрологические вопросы, имеющие международный характер.

Для подготовки предложений создано шесть консультативных комитетов: а) по электричеству, б) по термометрии, в) по фотометрии, г) по определению метра, д) по определению секунды и е) по эталонам для измерения ионизирующих излучений. Членами консультативных комитетов являются крупнейшие метрологические учреждения разных стран, а также отдельные ученые по выбору Международного комитета мер и весов.

При Международном комитете мер и весов с 1954 г. существует постоянная комиссия по системе единиц.

Важными событиями в дальнейшем распространении метрической системы за последние годы являются:

принятие метрической системы в 1956 г. Индией и присоединение ее к Метрической конвенции;

закон о введении метрической системы мер в Китайской Народной Республике, принятый в июне 1959 г.

В 1960 г. к Метрической конвенции присоединились Индонезия и Венесуэла.

Большую роль в дальнейшем развитии деятельности международной организации мер и весов сыграла Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам, состоявшаяся в Париже в октябре 1960 г.

Наряду с принятием решений по метрологическим вопросам, из которых особенно важным является утверждение Международной системы единиц и нового определения метра, конференция решила и ряд организационных вопросов.

Принято решение о распространении деятельности Международного бюро мер и весов на область единиц и эталонов ионизирующих излучений, для чего запланировано строительство специального лабораторного корпуса. Международному бюро мер и весов передан международный эталон радия.

В связи с расширением деятельности Международного бюро мер и весов по всем отраслям измерений принято решение об увеличении ассигнований на содержание бюро. Конференция обратилась с призывом к вновь образовавшимся государствам, получившим в последние годы независимость, присоединиться к Метрической конвенции.

Наряду с работой по международным сличениям национальных эталонов, в международной организации мер и весов большое значение приобрела работа консультативных комитетов по отдельным областям измерений.

## 2. РАБОТА ПО ЕДИНИЦАМ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОНГРЕССОВ И МЕЖДУНАРОДНОЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ КОМИССИИ

Международные электротехнические конгрессы явились той формой международного научно-технического сотрудничества, с которой связано принятие важнейших рекомендаций по единицам измерений физических величин, особенно электрических и магнитных.

### Установление системы СГС и абсолютной практической системы электрических единиц

Первый Международный конгресс электриков, состоявшийся в 1881 г. в Париже, был приурочен к Международной выставке по электричеству.

В работе конгресса приняли участие выдающиеся ученые того времени: Гельмгольц, Томсон (Кельвин), Столетов, Кирхгоф, Роуланд и др.

После длительной дискуссии на конгрессе было решено принять для электрических и магнитных измерений обе системы единиц СГС, разработанные комитетом Британской Ассоциации: электростатическую и электромагнитную.

Для практических нужд была принята абсолютная практическая система единиц, построенная на основе электромагнитной системы единиц СГС.

Для практических единиц ома и вольта было решено сохранить их современные определения: для ома $10^9$ и для вольта $10^8$ единиц СГС. Было также решено, что единица сопротивления (*ом*) будет воспроизведена ртутным столбом сечением 1 *мм*$^2$ при температуре 0° С. Международной комиссии поручалось определить на основе новых опытов длину ртутного столба сечением 1 *мм*$^2$ при температуре 0° С, которая воспроизведет ом.

Конгресс предложил наименования для единицы силы тока и единицы количества электричества в абсолютной практической системе единиц, дав следующие определения этих единиц.

Амперо м называется ток, производимый напряжением в 1 *в* в цепи, имеющей сопротивление в 1 *ом*.

Кулоном называется количество электричества, определяемое тем условием, что ампер равен кулону в секунду.

Было также сформулировано определение единицы емкости в этой системе.

Фарадой называется емкость, определяемая тем условием, что кулон в 1 *ф* создает напряжение в 1 *в*.

Решения конгресса по вопросам электрических единиц и эталонов сыграли исключительно важную роль, внеся определенность в электрические и магнитные измерения. До этих решений измерения производились в самых разнообразных единицах, выбиравшихся совершенно произвольно. К 1880 г., например, было распространено 15 единиц сопротивления, 8 единиц электродвижущей силы, 5 единиц силы тока.

Второй Международный конгресс электриков, собравшийся в Париже в 1889 г., дополнительно включил в список практических единиц следующие три единицы:

а) джоуль — единицу энергии, равную $10^7$ единиц энергии СГС;

б) ватт — равный $10^7$ единиц мощности СГС;

в) квадрант — единицу индуктивности, равную $10^9$ единиц индуктивности СГС (наименование «квадрант» было впоследствии заменено на «генри»).

Постановлением конгресса в 1889 г. была завершена разработка абсолютной практической системы электрических единиц.

## Принятие системы международных электрических единиц

В 1893 г. в Чикаго состоялся Международный конгресс электриков, на котором были обсуждены вопросы, связанные с конкретным осуществлением практических электрических единиц.

Конгресс принял новую практическую систему международных электрических единиц, отличающуюся от «абсолютной» практической системы единиц, тем, что она базируется не на теоретически определенных электрических единицах, а на их эталонах.

Это объяснялось трудностями в изготовлении эталонов, точно воспроизводящих теоретически установленные практические электрические единицы. Взамен их были установлены практические электрические единицы, базирующиеся на соответствующих абсолютных единицах, но определяемые по эталонам, служащим для их воспроизведения. Этим электрическим единицам, в отличие от абсолютных, определяемых теоретически через единицы длины, массы и времени, было присвоено наименование «международных электрических единиц».

Конгресс установил три основные международные электрические единицы: международный ом, определяемый по ртутному эталону, международный ампер, определяемый с помощью серебряного вольтаметра, и международный вольт, определяемый по элементу Клерка.

Остальные электрические единицы (международный кулон, международная фарада, джоуль, ватт и генри) были определены как производные от международных ома, ампера и вольта.

Завершением работы по установлению системы международных электрических единиц и четкому разграничению между абсолютными практическими единицами и международными явились решения Международной Лондонской конференции электриков 1908 г.

В области электрических единиц конференцией были приняты следующие решения.

1. Основные электрические единицы в практической системе мер должны определяться по электромагнитной системе, в которой за единицу длины принят сантиметр, за единицу массы — грамм и за единицу времени — секунда. Эти основные единицы следующие:

а) ом — единица электрического сопротивления, равная $10^9$ единиц СГС;

б) ампер — единица силы тока, равная $10^{-1}$ единиц СГС;

в) вольт — единица электродвижущей силы, равная $10^8$ единиц СГС;

г) ватт — единица мощности, равная $10^7$ единиц СГС.

2. В качестве системы единиц, которая с достаточным приближением для электрических измерений и законодательных целей воспроизводит вышеназванные единицы, конференция рекомендует принятие международного ома, международного ампера, международного вольта и международного ватта.

3. Ом — первая основная единица.

4. Международный ом определяется как сопротивление некоторого определенного столба ртути.

5. Международный ом — сопротивление, которым обладает столб ртути длиной 106,300 *см* и массой 14,4521 *г* постоянного поперечного сечения при прохождении неизменяющегося тока при температуре тающего льда. Для получения сопротивления ртутного столба, равного международному ому, необходимо пользоваться способом, указанным в прилагаемой спецификации.

6. Ампер — вторая основная единица.

7. Международный ампер — неизменяющийся ток, который, проходя через водный раствор азотнокислого серебра, при соблюдении приложенной спецификации, выделяет 0,00111800 *г* серебра в 1 *сек*.

8. Международный вольт — напряжение, которое в проводнике с сопротивлением в один международный ом производит ток в один международный ампер.

9. Международный ватт — мощность, которую расходует постоянный электрический ток в один международный ампер при напряжении в один международный вольт.

Система международных электрических единиц, установленная решениями Чикагского конгресса 1893 г. и Лондонской конференции 1908 г., начала вводиться законодательными актами в разных странах и была широко распространена до отмены ее решением Международного комитета мер и весов с 1 января 1948 г., когда был совершен переход на абсолютные практические электрические единицы.

Международные электрические единицы были узаконены в нашей стране постановлением Высшего Совета Народного хозяйства РСФСР от 7 февраля 1919 г. «Об электрических единицах» и общесоюзным стандартом ОСТ 515 «Международные электриче-

ские единицы», утвержденным в 1929 г. Они отменены с 1 мая 1948 г. в связи с переходом на абсолютные практические электрические единицы.

### Решения по магнитным единицам

На Международном конгрессе электриков 1900 г. в Париже было принято решение о присвоении наименований абсолютным магнитным единицам: единице напряженности магнитного поля — гаусс, единице магнитного потока — максвелл.

### Работы по единицам Международной электротехнической комиссии

На Международном конгрессе электриков 1904 г. в Сен-Луи было принято решение о создании Международной электротехнической комиссии (МЭК). Практически она начала свою деятельность с 1911 г. Работы МЭК, особенно с 1927 г., сыграли большую роль в установлении системы электрических и магнитных единиц.

Вначале единицами занимался Комитет № 1 МЭК по номенклатуре, разрабатывающей терминологию, относящуюся к электротехнике. После 1927 г. в Комитете № 1 была создана секция В по электрическим и магнитным единицам.

На сессии 1930 г. в Стокгольме Международной электротехнической комиссией было принято подготовленное Комитетом № 1 решение об установлении отдельных наименований для единиц напряженности магнитного поля и магнитной индукции в системе СГС, которые выражались одной единицей — гаусс.

МЭК принял следующие наименования для четырех основных магнитных единиц электромагнитной системы СГС:

эрстед — единица напряженности магнитного поля;

гаусс — единица магнитной индукции;

максвелл — единица магнитного потока;

гильберт — единица магнитодвижущей силы.

В период 1930—1935 гг. секция электрических и магнитных единиц Комитета № 1 МЭК на своих заседаниях обсуждала вопрос о практической системе электрических единиц. Секция рассмотрела представленный в 1934 г. МЭК доклад итальянского ученого Джорджи о предложенной им еще в 1901 г. системе единиц МКС, основными единицами которой являются метр, килограмм, секунда и которая должна быть дополнена четвертой основной электрической единицей. Эта система получила положительную оценку секции, так как включала все абсолютные практические электрические единицы (ампер, вольт, ом, джоуль и т. д.) и была хорошо связана с механическими единицами через основные единицы: метр, килограмм, секунда. Система, предложенная Джорджи, сохраняя преимущества практической системы электрических единиц

в отношении размеров единиц, является логически значительно более обоснованной.

В 1935 г. Комитет № 1 МЭК, по предложению секции электрических и магнитных единиц, решил:

«Принять под названием системы Джорджи систему с четырьмя основными единицами, содержащую три единицы: метр, килограмм, секунда, и четвертую, выбор которой резервируется».

На этой же сессии Комитет принял решение о присвоении наименования «вебер» практической единице магнитного потока. Кроме того, Комитет установил в качестве примера образования производных единиц три следующие производные единицы новой системы:

а) вольт на метр — единица электрического поля;

б) вебер на квадратный метр — единица магнитной индукции;

в) джоуль на кубический метр — единица объемной плотности энергии.

По решению 1935 г. взамен секции В Комитета № 1 МЭК был создан специальный Комитет № 24 МЭК по электрическим и магнитным величинам и единицам, имевший свою первую сессию в 1938 г.

В период до второй мировой войны и после окончания ее Комитет № 24 рассматривал вопрос о выборе четвертой основной единицы в системе Джорджи, в качестве которой предлагались: ом, ампер, единица магнитной проницаемости пустоты и др.

В 1950 г. состоялась первая послевоенная сессия, на которой Комитет № 24 принял окончательное решение, выраженное в следующей резолюции:

«Комитет № 24 считает, что в системе Джорджи для электрических величин следует положить в основу четыре основные единицы и рекомендует, чтобы при установлении единиц четвертой основной единицей был ампер, с тем определением, какое было ему дано на Генеральной конференции по мерам и весам».

В 1954 г. Международной электротехнической комиссией принята рекомендация о применении системы метр — килограмм — секунда — ампер во всех документах МЭК, с допущением в отдельных случаях, где это вызывается необходимостью, некоторых единиц системы СГС.

Следует отметить, что хотя имеется рекомендация Комитета № 24 о присвоении системе единиц, основанной на метре, килограмме, секунде, ампере, наименования «система Джорджи», практически для этой системы принято название «система МКСА», по начальным буквам наименований основных единиц.

В период 1950—1956 гг. Комитетом № 24 МЭК были приняты еще две важные рекомендации:

а) о форме, в которой следует записывать основные уравнения электромагнитного поля в рационализированном виде;

б) о присвоении наименования «тесла» единице магнитной индукции в системе МКСА.

## 3. РЕШЕНИЯ ГЕНЕРАЛЬНЫХ КОНФЕРЕНЦИЙ И МЕЖДУНАРОДНОГО КОМИТЕТА МЕР И ВЕСОВ ПО ЕДИНИЦАМ ИЗМЕРЕНИЙ

На состоявшихся в период с 1889 по 1960 гг. одиннадцати генеральных конференциях по мерам и весам был принят ряд важных решений по единицам измерений и эталонам для их воспроизведения.

В промежутках между конференциями, по поручению последних, отдельные решения по единицам принимались Международным комитетом мер и весов.

Ниже кратко излагаются выборки из решений генеральных конференций и Международного комитета мер и весов, относящиеся к единицам измерений, их определениям, а также системам единиц.

На Первой Генеральной конференции по мерам и весам 1889 г. были санкционированы:

а) выбранный Международным комитетом прототип метра, который с этого времени, представлял основную единицу длины;

б) принятый Международным комитетом прототип килограмма, который с этого времени представлял основную единицу массы;

в) стоградусная водородная термометрическая шкала.

Вторая Генеральная конференция 1895 г. заслушала сообщение о работах Майкельсона и Бенуа, выполненных в Международном бюро мер и весов, по определению значения метра в длинах световых волн.

На Третьей Генеральной конференции была принята следующая резолюция об единице массы и единице веса:

«1. Килограмм является единицей массы и равен массе международного прототипа килограмма.

2. Термин «вес» обозначает величину того же характера, как и сила; вес тела равен произведению его массы на ускорение силы тяжести; в частности, нормальный вес тела равен произведению массы этого тела на нормальное ускорение силы тяжести.

3. Международная служба мер и весов принимает для нормального ускорения силы тяжести значения 980,665 *см/сек*$^2$».

На Четвертой Генеральной конференции 1907 г. была установлена единица для измерения драгоценных камней — метрический карат, равный 200 *мг*.

5-я Генеральная конференция 1913 г. значительное внимание уделила законодательству в области единиц измерений.

Директор Международного бюро мер и весов Гильом сделал доклад о системах единиц. В докладе отмечалось, что аналогично системе СГС была разработана система МКС, единицей силы в которой является сила, сообщающая 1 *кг* ускорение в 1 *м/сек*$^2$. Согласно предложению Комиссии при Международном объединении холода, эта единица силы называется ньютон. При перемещении точки приложения этой силы на расстояние в 1 *м* выполняется работа в 1 *дж;* 1 *дж* в 1 *сек* дает мощность в 1 *вт*. Таким образом,

по счастливому совпадению основные единицы работы и мощности в системе МКС являются точно такими же, как и в абсолютной практической системе электрических единиц.

Практически ньютон соответствует весу гири массой приблизительно 102 *г;* следовательно, эта сила имеет удобный размер. Система «килограмм-сила» становится вторичной системой, каждая единица которой имеет значение, выраженное по отношению к единицам того же рода системы МКС.

На основании этого доклада Генеральная конференция приняла решение об изучении Международным комитетом мер и весов вопроса о системе единиц.

На Седьмой Генеральной конференции 1927 г. были приняты важные решения относительно определения метра посредством международного прототипа, уточняющие решения Первой Генеральной конференции по этому вопросу, и об установлении соотношения между метром и длиной волны красной линии кадмия.

На этой же конференции была принята временная международная температурная шкала.

Восьмая Генеральная конференция 1933 г. рассмотрела доклад Консультативного комитета по электричеству и Международного комитета мер и весов по вопросу перехода от международных электрических единиц к «абсолютным» и единодушно приняла следующее решение:

«В соответствии с пожеланием в отношении электрических единиц, выраженным Консультативным комитетом и одобренным Международным комитетом мер и весов, Генеральная конференция санкционирует принцип замены международной системы абсолютной системой электрических единиц. Принимая во внимание, с другой стороны, что некоторые национальные лаборатории еще не закончили необходимых измерений для установления соотношений международных единиц с абсолютными единицами, решает отложить до 1935 г. временное установление соотношений между каждой международной единицей и соответствующей абсолютной единицей. С этой целью конференция уполномачивает Международный комитет установить тогда, не ожидая другой конференции, эти соотношения, а также дату введения новых единиц».

Консультативным комитетом по электричеству Международного комитета мер и весов был подготовлен проект решения о переходе на абсолютные электрические единицы с 1 января 1940 г. Однако вторая мировая война помешала этому. Собравшийся после окончания войны в 1946 г. в Париже Международный комитет мер и весов рассмотрел вопрос о сроке перехода от международных электрических единиц к абсолютным, установив для этого дату 1 января 1948 г. Переводные соотношения между средними международными единицами и абсолютными единицами были установлены следующие: 1 средний международный ом = 1,00049 абсолютного ома; 1 средний международный вольт = 1,00034 абсолютного вольта.

Девятая Генеральная конференция по мерам и весам 1948 г. приняла следующие решения по единицам измерений:

а) новое определение единицы силы света — свечи — через свечение полного излучателя (черного тела), при температуре затвердевания платины;

б) о принятии джоуля как единицы количества теплоты;

в) об установлении международной шкалы температур;

г) о присвоении наименования «градус Цельсия» градусу стоградусной шкалы температур;

д) перечень символов единиц.

Кроме того, конференция единодушно приняла предложенную Международным комитетом мер и весов резолюцию № 6 о международной системе единиц. В этой резолюции Международному комитету поручается опросить все страны по этому вопросу и выработать рекомендации, касающиеся установления единой практической системы единиц измерений, которая могла бы быть принята всеми странами, подписавшими Метрическую конвенцию.

Десятая Генеральная конференция по мерам и весам 1954 г. рассмотрела следующие вопросы, относящиеся к единицам измерений, и приняла по ним решения:

1) О новом определении метра. Учитывая, что еще нет возможности остановить свой выбор на какой-либо спектральной линии, на которой основывалось бы новое определение метра через длину световой волны, Генеральная конференция постановила до Одиннадцатой Генеральной конференции (1960 г.) сохранить прежнее определение метра.

2) О новом определении секунды. В связи с необходимостью уточнения формулировки нового определения секунды с Международным астрономическим союзом, Генеральная конференция поручила Международному комитету провести это уточнение и принять решение по данному вопросу.

3) Об установлении термодинамической шкалы температур с одной реперной точкой. Генеральная конференция приняла предложение Консультативного комитета по термометрии об установлении термодинамической шкалы с одной реперной точкой — тройной точкой воды.

4) О международной системе единиц. Генеральная конференция приняла решение об установлении шести основных единиц практической системы единиц для международных сношений.

В 1956 г. Международный комитет мер и весов в соответствии с поручениями генеральных конференций по мерам и весам принял новое определение единицы времени — секунды и установил Международную систему единиц.

В октябре 1960 г. состоялась Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам. Конференция приняла ряд принципиально важных решений по единицам измерений и эталонам, служащим для их воспроизведения:

1) утвердила Международную систему единиц;

2) приняла новый эталон метра;

3) утвердила новое определение секунды;

4) уточнила редакцию Положения о Международной практической температурной шкале;

5) включила в сферу деятельности Международного бюро мер и весов единицы и эталоны ионизирующих излучений.

## 4. РЕКОМЕНДАЦИЯ ПО СИСТЕМАМ ЕДИНИЦ МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА ЧИСТОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ

Международный союз чистой и прикладной физики и особенно комиссия CET (SUN) этого союза (по символам, единицам и терминологии) выполнили большую работу по международной унификации обозначений, ряда определений и по единицам измерений и системам единиц физических величин.

В период перед второй мировой войной рекомендации комиссии CET сыграли важную роль в подготовке к принятию международными организациями системы МКС с четвертой основной электрической единицей.

В 1948 г. Девятой Генеральной конференции по мерам и весам была представлена резолюция Международного союза чистой и прикладной физики по вопросу установления международной практической системы единиц, принятая на Генеральной ассамблее союза в Амстердаме в 1948 г.

За время своей работы комиссия CET приняла ряд рекомендаций по вопросам, входящим в круг ее деятельности.

Эти рекомендации в систематизированном виде включены в документ, подготовленный комиссией CET к Генеральной ассамблее Международного союза чистой и прикладной физики.

Рекомендации состоят из следующих разделов:

1. Физические величины. 2. Список символов для обозначения физических величин. 3. Единицы. 4. Системы единиц. 5. Числа и цифры. 6. Математические символы. 7. Химические элементы, изотопы и частицы. 8. Квантовые состояния. 9. Терминология и другие пункты. 10. Величины и единицы, применяемые в электромагнетизме.

Ниже приведен текст, включенный в раздел 4 — Системы единиц. Как указывается во вступлении к этому разделу, в тексте представлены уже принятые комиссией CET рекомендации, но они снабжены объяснительной запиской, что дало возможность сгруппировать обозначения для единиц, указанных в предыдущих предложениях, по различным системам единиц.

### Рекомендация комиссии по символам, единицам и терминологии Международного союза чистой и прикладной физики по системам единиц

1. Когерентной системой единиц является система, основанная на определенном ряде «основных единиц». Все «производные еди-

ницы» от этих единиц получаются путем умножения или деления без введения числовых коэффициентов.

2. Системой СГС или системой сантиметр — грамм — секунда является когерентная система единиц, основанная на трех основных единицах для трех основных величин — длина, масса и время:

| | |
|---|---|
| сантиметр | cm |
| грамм | g |
| секунда | s |

В области механики нижеуказанные производные единицы этой системы имеют особые названия и символы, которые были утверждены Генеральной конференцией по мерам и весам:

| | | | |
|---|---|---|---|
| длина | сантиметр | | cm |
| масса | грамм | | g |
| время | секунда | | s |
| частота | герц | $(=s^{-1})$ | Hz |
| сила | дина | $(=g\cdot cm\cdot s^{-2})$ | dyn |
| энергия, работа | эрг | $(=g\cdot cm^2\cdot s^{-2})$ | erg |
| вязкость | пуаз | $(=g\cdot cm^{-1}\cdot s^{-1})$ | P |
| давление | микробар | $(=g\cdot cm^{-1}\cdot s^{-2})$ | μbar |

В области электричества и магнетизма были разработаны два варианта системы единиц СГС, которые обычно называют электростатической системой единиц СГС и электромагнитной системой единиц СГС. Только некоторые единицы электромагнитной системы СГС имеют специальные названия и символы:

| | | | |
|---|---|---|---|
| напряженность магнитного поля | эрстед | $(=cm^{1/2}\cdot g^{1/2}\cdot s^{-1})$ | Oe |
| магнитная индукция | гаусс | $(=cm^{1/2}\cdot g^{1/2}\cdot s^{-1})$ | G* |
| магнитный поток | максвелл | $(=cm\cdot g^{1/2}\cdot s^{-1})$ | Mx |
| «магнитодвижущая сила» | гильберт | $(=cm\cdot g^{1/2}\cdot s^{-1})$ | Gi |

3. Системой МКСА или системой метр — килограмм—секунда—ампер является когерентная система единиц, применяемая в механике, электричестве и магнетизме, основанная на четырех основных единицах для четырех основных величин — длина, масса, время и сила электрического тока:

| | |
|---|---|
| метр | m |
| килограмм | kg |
| секунда | s |
| ампер | A |

Примечание. Данная система, основанная на этих четырех единицах, была названа Международной электротехнической комиссией в 1958 г. системой Джорджи.

---

* В электротехнике очень часто применяется символ Gs.

Механическая система, которая основана только на первых трех единицах, называется системой МКС.

Нижеуказанные производные единицы системы МКСА имеют специальные названия и символы, которые были приняты Генеральной конференцией по мерам и весам:

| | | | |
|---|---|---|---|
| длина | метр | | m |
| масса | килограмм | | kg |
| время | секунда | | s |
| частота | герц | $(=s^{-1})$ | Hz |
| сила | ньютон | $(=kg \cdot m \cdot s^{-2})$ | N |
| энергия, работа | джоуль | $(=kg \cdot m^2 \cdot s^{-2})$ | J |
| мощность | ватт | $(=kg \cdot m^2 \cdot s^{-3})$ | W |
| сила тока | ампер | | A |
| заряд | кулон | $(=A \cdot s)$ | C |
| потенциал | вольт | $(=J \cdot A^{-1} \cdot s^{-1})$ | V |
| емкость | фарада | $(=A^2 \cdot s^2 \cdot J^{-1})$ | F |
| сопротивление | ом | $(=J \cdot A^{-2} \cdot s^{-1})$ | Ω |
| индуктивность | генри | $(=J \cdot A^{-2} \cdot s^{-2})$ | H |
| магнитный поток | вебер | $(=J \cdot A^{-1})$ | Wb |

4. В области термодинамики вводится дополнительная основная единица, соответствующая основной величине — термодинамическая температура, единица которой равна градусу Кельвина; символ: °K.

В молекулярном описании макроскопических систем рекомендуется вводить новую величину — сумма вещества или количество вещества, в качестве основной величины; соответствующая основная единица этой величины будет моль; символ: mole.

5. В области фотометрии введена дополнительная основная единица, соответствующая основной величине — сила света, единица которой равна свече; символ: cd.

Для световых единиц в системе СГС существуют специальные символы:

| | | | |
|---|---|---|---|
| сила света | свеча | | cd |
| световой поток | люмен | $(=cd \cdot sr)$ | lm |
| яркость | стильб | $(=cd \cdot cm^{-2})$ | sb |
| освещенность | фот | $(=lm \cdot cm^{-2})$ | phot |

Для световых единиц в системе МКСА существуют специальные символы, указанные ниже:

| | | | |
|---|---|---|---|
| сила света | свеча | | cd |
| световой поток | люмен | $(=cd \cdot sr)$ | lm |
| яркость | нит | $(=cd \cdot m^{-2})$ | nt |
| освещенность | люкс | $(=lm \cdot m^{-2})$ | lx |

6. Международная система единиц. Данная система основана на шести основных единицах:

| | | | |
|---|---|---|---|
| метр | m | ампер | A |
| килограмм | kg | градус Кельвина | °K |
| секунда | s | свеча | cd |

Изложенные выше рекомендации комиссии СЕТ были представлены Генеральной ассамблее Международного союза чистой и прикладной физики 1960 г.

Кроме общей рекомендации по системам единиц, комиссией СЕТ Международного союза чистой и прикладной физики разработаны рекомендации по системам электрических и магнитных единиц.

На Генеральной ассамблее Международного союза чистой и прикладной физики приняты две новые приставки для обозначения дольных единиц: фемто = $10^{-15}$ и атто = $10^{-18}$.

## 5. РАБОТЫ ПО ЕДИНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКОГО КОМИТЕТА № 12 МЕЖДУНАРОДНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ

Секретариат Технического комитета № 12 «Величины, единицы, обозначения, переводные коэффициенты и переводные таблицы» Международной организации по стандартизации (ИСО) ведет Датская организация по стандартизации. В задачи комитета входит установление международных соглашений и принятие соответствующих рекомендаций по единицам и обозначениям для величин и единиц и переводным коэффициентам.

Активными членами ИСО/ТК 12 являются: Австрия, Англия, Бельгия, Бразилия, Венгрия, Германия*, Голландия, Дания, Индия, Италия, Норвегия, Польша, Португалия, Румыния, Советский Союз, Соединенные Штаты Америки, Швеция и Швейцария. Комитет сотрудничает с другими организациями — Международным комитетом мер и весов, Международным комитетом законодательной метрологии, Международным союзом чистой и прикладной физики, Международной электротехнической комиссией, Международной комиссией по освещению и др.

В своей работе Комитет основывается на решениях по единицам, принятых генеральными конференциями по мерам и весам.

В области величин и единиц измерений в первоочередном плане ИСО/ТК 12 предусмотрено составление документа, включающего следующие таблицы: 0. Основные величины и единицы системы МКСА. 1. Величины и единицы пространства и времени. 2. Периодические и апериодические явления. 3. Механика. 4. Теплота. 5. Электричество и магнетизм. 6. Свет. 7. Звук. 8. Химия и атомная физика. Разрабатываемый документ должен явиться рекомендацией для стандартизации, а также информацией, например, о переводе применяемых, но не всегда рекомендуемых единиц в рекомендуемые.

---

* Организации по стандартизации ГДР и ФРГ представлены в ИСО как единая общегерманская организация по стандартизации.

На состоявшихся в течение 1952—1960 гг. пяти сессиях Технического комитета № 12 были обсуждены почти все разделы намеченного плана работ, включая величины и единицы в области атомной физики. Комитет принял окончательную редакцию первых шести разделов документа: «Основные величины и единицы системы МКСА» и «Величины и единицы пространства и времени» и др. Вносилось предложение ввести в основной текст документа лишь метрические единицы, а неметрические поместить в приложении. Но это предложение не было принято, и в основной текст были включены единицы не только метрические, но и системы фут—фунт—секунда, распространенные в Англии и США. Комитет принял предложение делегации СССР о том, чтобы во введении к таблицам было сказано об особой рекомендации метрических единиц.

В 1956 г. первая международная рекомендация по единицам измерений — R 31, часть 1 — была принята Советом ИСО.

Первым разделом этой рекомендации является введение, в котором изложены основные принципы построения таблиц, обозначений величин и сокращенных обозначений единиц.

Таблица 0 содержит основные величины и единицы системы МКСА и соответствующие международные сокращенные обозначения последних.

Название «система МКСА», как указано в примечании, применено для международной практической системы, основными единицами которой являются метр, килограмм, секунда, градус Кельвина, ампер и свеча, но не является окончательным. Решение Международного комитета мер и весов от 6 октября 1956 г. о наименовании этой системы «Международная система единиц» еще не нашло отражения в рекомендации R 31, часть 1.

Таблица 1, в которую входят величины и единицы пространства и времени, разделена на левую и правую стороны. Слева расположены наиболее важные величины пространства и времени вместе с их обозначениями и в некоторых случаях с определениями. Для величин, идентичных элементарным понятиям повседневной жизни (длина, время и т. п.), определения не даются. Всего приведено 11 величин: угол, телесный угол, длина, площадь, объем, время, скорость вращения, угловая скорость, угловое ускорение, скорость, ускорение.

Правая сторона содержит единицы этих величин, их международные сокращенные обозначения и определения, а в некоторых случаях и сокращенные названия. Если для одной величины указано несколько единиц, то они располагаются в следующем порядке: 1) единицы МКСА, 2) единицы СГС, 3) единицы МТС, 4) метрические технические единицы (МКГСС), 5) другие единицы, принадлежащие к метрической системе, 6) единицы системы фут—фунт—секунда, 7) британские технические единицы, 8) прочие единицы. Названия основных единиц системы МКСА напечатаны жирным и

крупным шрифтом, единиц других систем — меньшим, прочих — еще меньшим шрифтом. Прочие единицы включены для информации и не являются рекомендуемыми. Десятичные дольные и кратные единицы не приведены, за исключением случаев, когда они имеют особые названия (например, ар, тонна, микрон и др.). Для всех единиц измерений имеются сокращенные обозначения. Международные сокращенные обозначения приводятся в соответствующей графе, при их отсутствии сокращенное название единицы дается в той же графе, где и полное.

Важным разделом рекомендации R 31 являются переводные коэффициенты для единиц измерений. В графе «Переводные коэффициенты» даны числа двух типов: «основные коэффициенты» и «обычные коэффициенты».

Числа первого типа являются набором коэффициентов, содержащих данные, необходимые для подсчета всех других коэффициентов. Они напечатаны жирным шрифтом. Основные коэффициенты, выведенные из точных определений, указаны нормально до седьмой значащей цифры; если они заканчиваются семью или менее знаками, добавляется слово «точно», а если могут быть закончены более чем семью знаками, то даются полностью. Основные коэффициенты, выведенные из экспериментов, даны с точностью, подтверждаемой современной точностью экспериментов. Обычно это означает, что сомнительна только последняя цифра. Однако, если эксперимент оправдывает более семи знаков, то коэффициент обычно округляется до седьмого знака. Примерами основных переводных коэффициентов являются 1 ∟ (прямой угол) = 1,570796 *рад*; 1 дюйм = 25,4 *мм* (точно); 1 литр = 1,000028 *дм*$^3$.

Обычные переводные коэффициенты напечатаны простым шрифтом и указываются не более чем с шестью значащими цифрами. Они даются с точностью, зависящей от точности соответствующих основных коэффициентов. Если они заканчиваются шестью или менее знаками, то добавляется слово «точно». Примером может служить переводной коэффициент: 1 *миля/ч* = = 0,44704 *м/сек* (точно).

В приложении к таблицам рекомендации R 31 приведены определения основных единиц метрической системы — метра, килограмма, секунды, ампера, градуса Кельвина и свечи, установленные генеральными конференциями по мерам и весам. Там же более мелким шрифтом даны определения основных единиц Британской имперской системы — ярда и фунта.

Первая утвержденная ИСО рекомендация по единицам измерений охватывает только единицы пространства и времени. Она основывается на принятой Международным комитетом мер и весов системе единиц и является существенным вкладом в дело международной стандартизации.

В 1958 г. Советом ИСО была утверждена вторая рекомендация по единицам измерений — R 31, часть 2 «Величины и единицы периодических и связанных с ними явлений».

В этой рекомендации есть ссылка на решение Международного комитета мер и весов от 6 октября 1956 г. о присвоении наименования системе, основанной на шести единицах, Международной системы единиц.

В 1960 г. Советом ИСО были утверждены еще две рекомендации по единицам измерения — R 31, часть 3 «Механика» и R 31, часть 4 «Теплота».

Обе рекомендации построены по тому же принципу, что и рекомендация R 31, часть 1. Для измерений в механике и теплоте в левой половине таблиц приведены наименования и символы, а в отдельных случаях и определения величин; в правой половине таблиц — наименования, сокращенные обозначения, определения или размер единиц измерений, а также переводные коэффициенты.

В таблицах на первом месте крупным шрифтом даны единицы Международной системы единиц (условно еще называемые единицами системы МКСА), затем более мелким шрифтом другие метрические единицы, затем отдельные неметрические единицы, применяемые в Англии и США.

Рекомендации R 31, части 3 и 4 широко охватывают круг величин и единиц в механике и теплоте.

В 1960 г. на Пятой сессии Технического комитета № 12 рассматривались проекты рекомендации ИСО по разделам «Звук», «Электричество и магнетизм», «Атомная физика» и «Химия».

Принятые техническим комитетом проекты рекомендаций по разделам «Звук» и «Электричество и магнетизм» разосланы на голосование членам Совета ИСО.

В проект рекомендаций по электрическим и магнитным единицам включены наряду с системами СГС и МКСА две четырехразмерные системы СГС с франклином и био в качестве четвертой основной единицы. Советские представители выступали против включения этих систем в рекомендацию, так как считали, что это нарушает работу по унификации единиц измерения.

Секретариат Технического комитета № 12 подготовил второе издание рекомендации ИСО R 31, часть 1, в котором в соответствии с решением Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам установлено название основной системы единиц в рекомендации — Международная система единиц, а также исключено двойное представление угла, имевшее место в первом издании этой рекомендации, — в виде угла аналитического и угла геометрического.

В настоящее время на рассмотрении стран — членов Технического комитета № 12 ИСО находятся проекты рекомендаций по единицам «Свет», «Химия», «Атомная физика». Последняя состоит из трех частей «Величины и единицы атомной и ядерной физики», «Величины и единицы ядерных реакций и ионизирующих излучений», «Теория реакторов и радиобиология».

---

## ГЛАВА III

# МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

### 1. ПОДГОТОВКА И УСТАНОВЛЕНИЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ

Наличие ряда систем единиц измерения физических величин, а также значительного числа внесистемных единиц, неудобства, которые в связи с этим возникают на практике, вызывали необходимость унификации единиц измерений, создания единой системы единиц, которая могла бы быть принята в международном масштабе.

Нужна была система, удовлетворяющая требованиям практического удобства пользования основными и производными единицами и охватывающая различные области измерений. При этом она должна была сохранять принцип когерентности (согласованности) системы.

Система единиц МКГСС не отвечала этим требованиям, так как не имела никакой согласованности с практическими электрическими единицами. Единицы системы СГС, широко применяемые физиками, были слишком неудобны для использования в технике.

Накануне первой мировой войны, как это доложил в 1913 г. на Пятой Генеральной конференции по мерам и весам, директор Международного бюро мер и весов Гильом, в Международном бюро и метрологических кругах Франции разрабатывалась система единиц МКС для законодательных целей, которую предполагалось рекомендовать в международном масштабе.

Поэтому неожиданным было то, что вскоре после окончания первой мировой войны, в 1919 г., во Франции законодательством была принята система МТС, с основными единицами метр, тонна, секунда. Это на определенный период времени задержало международную унификацию единиц измерений.

Развитие научно-технических связей между странами, наличие ряда систем единиц измерений, усложнявшее вопросы измерений физических величин и требовавших пересчетов при переходе от одной системы к другой, настойчиво выдвигали требование установления единой международной системы единиц измерений, которая могла бы служить как для практики, так и для преподавания.

Естественно, что той международной организацией, которой необходимо было принять по этому вопросу авторитетные решения, должна была быть международная организация Метрической конвенции со своими органами — Генеральной конференцией по мерам и весам и Международным комитетом мер и весов.

В 1948 г. на Девятую Генеральную конференцию по мерам и весам была представлена следующая резолюция Международного союза чистой и прикладной физики:

«а) Международный союз чистой и прикладной физики принимает решение просить Международный комитет мер и весов принять для международных сношений международную практическую систему единиц. Он не рекомендует того, чтобы физики отказались от системы СГС.

б) Международный союз по чистой и прикладной физике рекомендует для этого систему: метр, килограмм (масса), секунда и одна единица из абсолютной практической системы (будет установлена позднее).

в) Единица силы этой системы (т. е. сила, которая при действии на массу в один килограмм вызывает ускорение в 1 *м/сек*$^2$) должна называться ньютоном».

Одновременно французское правительство, по предложению Национального научного и постоянного бюро мер и весов, представило Генеральной конференции свой проект, имеющий целью международную унификацию единиц измерения. Основными положениями французского проекта являлись следующие:

«1. Основными единицами длины, массы и времени должны быть метр, килограмм (масса) и секунда среднего солнечного времени.

2. Должны быть сохранены абсолютные единицы практической электрической системы в том виде, как они определены в резолюциях Международного комитета мер и весов в октябре 1946 г. и как они должны теперь перейти в национальные законодательства.

3. Следует исключить всякую систему, имеющую в качестве основной единицу силы или веса. Если признать полезным допущение для практической механики применения единицы веса, то этой единице должно быть дано особое название, не напоминающее по своему выражению и символу название метрической единицы массы».

Во французском проекте сравнивались единицы МТС и МКС и указывались следующие недостатки системы МТС: отсутствие связности — механические единицы приводят к киловатту, а электрические единицы к ватту; трудность выбрать четвертую единицу, взятую среди электрических единиц (если бы этой единицей был, например, ампер, то это вызвало бы в качестве единицы разности потенциалов киловольт, что дало бы в результате килоом, килогенри и т. д.). В отношении же системы МКСА отмечалась ее полная связность — производные электрические единицы являются единицами практической электрической системы.

Проект включал таблицу единиц системы МКСА и проекты законодательного и регламентарного текста о единицах измерений.

Девятая Генеральная конференция, обсудив внесенные предложения, приняла следующую резолюцию:

«Генеральная конференция, принимая во внимание, что в Меж-

дународный комитет мер и весов поступило заявление от Международного союза по чистой и прикладной физике с просьбой о принятии для международных сношений практической международной системы единиц, с рекомендацией системы МКС и одной электрической единицы из абсолютной практической системы и что в то же время не рекомендуется отказываться от применения физиками системы СГС;

принимая во внимание, что сама конференция получила от французского правительства аналогичное заявление с приложением проекта, предназначенного служить основой для обсуждения вопроса об установлении полного законодательства о единицах измерений, поручает Международному комитету:

начать по этому вопросу официальный опрос мнения научных, технических и педагогических кругов всех стран (предложив в качестве основы французский документ) и провести его активно;

централизовать ответы;

высказать рекомендации, касающиеся установления единой практической системы единиц измерений, которая могла бы быть принята всеми странами, подписавшими Метрическую конвенцию».

Изучение странами этого вопроса и направление заключений в Международное бюро мер и весов заняло больше времени, чем предполагалось, и до Десятой Генеральной конференции по мерам и весам 1954 года не была закончена полная обработка всех поступивших материалов.

Обсудив вопрос о международной системе единиц, Десятая Генеральная конференция приняла следующую резолюцию:

«Десятая Генеральная конференция по мерам и весам во исполнение пожелания, выраженного на Девятой Генеральной конференции в резолюции 6, касающейся установления практической системы единиц измерений для международных сношений, решила принять в качестве основных единиц этой системы следующие единицы:

| | |
|---|---|
| длина | метр |
| масса | килограмм |
| время | секунда |
| сила тока | ампер |
| температура термодинамическая | градус Кельвина |
| сила света | свеча». |

Этой резолюцией была заложена твердая основа для международной унификации единиц измерений. Одновременно Международный комитет мер и весов в 1954 г. выделил из своего состава комиссию по системе единиц, в которую вошли семь членов комитета и директор Международного бюро мер и весов.

В течение 1954—1956 гг. были обработаны результаты опроса стран, предпринятого в соответствии с решением Девятой Генеральной конференции.

Поступившие от 21 страны ответы показали, что предложенный проект международной унификации систем единиц измерений

встретил исключительно благоприятный прием и что высказанные замечания относятся лишь к отдельным частным вопросам, главным образом по законодательной части проекта.

В октябре 1956 г., в период очередной сессии Международного комитета мер и весов, состоялось заседание комиссии по системе единиц.

На заседании были обсуждены результаты опроса стран по проекту международной унификации систем единиц измерений. Были рассмотрены также проекты первого списка дополнительных и производных единиц, образованных на основе решения об основных единицах, принятых Десятой Генеральной конференцией, представленные председателем комиссии Г. Д. Бурдуном (СССР) и членом комиссии И. Штула-Гетц (Австрия).

Длительную дискуссию вызвал вопрос о наименовании системы единиц. Из трех обсуждаемых вариантов: «система Джорджи», «система МКСАГС» (составленного из начальных букв наименований шести основных единиц системы) и «Международная система единиц», комиссия единодушно приняла для рекомендации Международному комитету последнее наименование системы.

Комиссией был принят для представления на утверждение Международному комитету первый список дополнительных и производных единиц Международной системы единиц, включивший две дополнительных и двадцать восемь производных единиц.

## 2. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

6 октября 1956 г. Международный комитет мер и весов рассмотрел рекомендацию комиссии по системе единиц и принял следующее важное решение, завершающее работу по установлению Международной системы единиц измерений:

«Международный комитет мер и весов, принимая во внимание задание, полученное от Девятой Генеральной конференции по мерам и весам в ее резолюции 6 относительно установления практической системы единиц измерения, которая могла бы быть принята всеми странами, подписавшими Метрическую конвенцию; принимая во внимание все документы, полученные от 21 страны, ответивших на опрос, предложенный Девятой Генеральной конференцией по мерам и весам; принимая во внимание резолюцию 6 Десятой Генеральной конференции по мерам и весам, устанавливающую выбор основных единиц будущей системы, рекомендует:

1) чтобы называлась «Международной системой единиц» система, основанная на основных единицах, принятых Десятой Генеральной конференцией и являющихся следующими *;

2) чтобы применялись единицы этой системы, перечисленные в следующей таблице, не предопределяя другие единицы, могущие быть добавленными впоследствии» *.

---

* Таблицу основных и производных единиц Международной системы см. на стр. 55—56.

На сессии в 1958 г. Международный комитет мер и весов обсудил и принял решение о символе для сокращенного обозначения наименования «Международная система единиц». Был принят символ, состоящий из двух букв SI (начальные буквы слов System international — международная система).

В октябре 1958 г. Международный комитет законодательной метрологии принял следующую резолюцию по вопросу о Международной системе единиц:

«Международный комитет законодательной метрологии, собравшись на пленарном заседании 7 октября 1958 г. в Париже, объявляет о присоединении к резолюции Международного комитета мер и весов об установлении Международной системы единиц измерения (SI).

Основными единицами этой системы являются:

метр—килограмм—секунда—ампер—градус Кельвина—свеча.

Комитет рекомендует государствам — членам организации принятие этой системы в законодательстве о единицах измерений».

В октябре 1960 г. вопрос о Международной системе единиц был рассмотрен на Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам.

По этому вопросу конференция приняла следующую резолюцию:

«Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам, принимая во внимание резолюцию 6 Десятой Генеральной конференции по мерам и весам, в которой она приняла шесть единиц в качестве базы для установления практической системы измерений для международных сношений

| | | |
|---|---|---|
| длина | метр | m |
| масса | килограмм | kg |
| время | секунда | s |
| сила электрического тока | ампер | A |
| термодинамическая температура | градус Кельвина | °K |
| сила света | свеча | cd |

принимая во внимание резолюцию 3, принятую Международным комитетом мер и весов в 1956 г., и принимая во внимание рекомендации, принятые Международным комитетом мер и весов в 1958 г., относящиеся к сокращенному наименованию системы и к приставкам для образования кратных и дольных единиц, решает:

1. Присвоить системе, основанной на шести основных единицах, наименование «Международная система единиц»;

2. Установить международное сокращенное наименование этой системы «SI»;

3. Образовывать наименования кратных и дольных единиц посредством следующих приставок:

| Множитель, на который умножается единица | Приставка | Сокращенное обозначение |
|---|---|---|
| $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$ | тера | T |
| $1\,000\,000\,000 = 10^{9}$ | гига | G |
| $1\,000\,000 = 10^{6}$ | мега | M |
| $1000 = 10^{3}$ | кило | k |
| $100 = 10^{2}$ | гекто | h |

| | | |
|---|---|---|
| $10 = 10^1$ | дека | da |
| $0,1 = 10^{-1}$ | деци | d |
| $0,01 = 10^{-2}$ | санти | c |
| $0,001 = 10^{-3}$ | милли | m |
| $0,000\,001 = 10^{-6}$ | микро | μ |
| $0,000\,000\,001 = 10^{-9}$ | нано | n |
| $0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$ | пико | p |

4. Применять в этой системе нижеперечисленные единицы, не предрешая, какие другие единицы могут быть добавлены в будущем:

**Дополнительные единицы**

| | | |
|---|---|---|
| Плоский угол | радиан | rad |
| Телесный угол | стерадиан | sr |

**Производные единицы**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Площадь | квадратный метр | $m^2$ | |
| Объем | кубический метр | $m^3$ | |
| Частота | герц | Hz | 1/s |
| Объемная масса (плотность) | килограмм на кубический метр | $kg/m^3$ | |
| Скорость | метр в секунду | m/s | |
| Угловая скорость | радиан в секунду | rad/s | |
| Ускорение | метр на секунду в квадрате | $m/s^2$ | |
| Угловое ускорение | радиан на секунду в квадрате | $rad/s^2$ | |
| Сила | ньютон | N | $kg \cdot m/s^2$ |
| Давление (механическое напряжение) | ньютон на квадратный метр | $N/m^2$ | |
| Динамическая вязкость | ньютон-секунда на квадратный метр | $N \cdot s/m^2$ | |
| Кинематическая вязкость | квадратный метр на секунду | $m^2/s$ | |
| Работа, энергия, количество теплоты | джоуль | J | N·m |
| Мощность | ватт | W | J/s |
| Количество электричества | кулон | C | A·s |
| Электрическое напряжение, разность потенциалов, электродвижущая сила | вольт | V | W/A |
| Напряженность электрического поля | вольт на метр | V/m | |
| Электрическое сопротивление | ом | Ω | V/A |
| Электрическая емкость | фарада | F | A·s/V |
| Поток магнитной индукции | вебер | Wb | V·s |
| Индуктивность | генри | H | V·s/A |
| Магнитная индукция | тесла | T | $Wb/m^2$ |
| Напряженность магнитного поля | ампер на метр | A/m | |
| Магнитодвижущая сила | ампер | A | |
| Световой поток | люмен | lm | cd·sr». |
| Яркость | свеча на квадратный метр | $cd/m^2$ | |
| Освещенность | люкс | lx | $lm/m^2$». |

Принятие Международной системы единиц явилось важным прогрессивным актом, подытожившим большую многолетнюю подготовительную работу в этом направлении и обобщившим опыт научно-технических кругов разных стран и международных организаций по метрологии, стандартизации, физике и электротехнике.

Решения Генеральной конференции и Международного комитета мер и весов по Международной системе единиц учтены в рекомендациях Международной организации по стандартизации (ИСО) по единицам измерений и уже нашли свое отражение в законодательных положениях о единицах и стандартах на единицы некоторых стран.

В 1958 г. в Германской Демократической Республике было утверждено новое Положение о единицах измерений, построенное на основе Международной системы единиц.

В 1960 г. в правительственном законоположении о единицах измерений Венгерской Народной Республики за основу принята Международная система единиц.

Государственные стандарты СССР на единицы 1955—1958 гг. были построены на основе системы единиц, принятой Международным комитетом мер и весов в качестве Международной системы единиц.

В 1961 г. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР утвердил ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», в котором устанавливается предпочтительное применение этой системы во всех областях науки и техники и при преподавании.

В 1961 г. правительственным декретом узаконена Международная система единиц во Франции.

Международная система единиц получила отражение в рекомендациях Международного союза чистой и прикладной физики, принята Международной электротехнической комиссией и рядом других международных организаций.

## 3. ЕДИНИЦА ДЛИНЫ — МЕТР

Единицей длины в Международной системе единиц служит метр, являющийся первой из шести основных единиц системы.

Первое определение метра, как сказано выше, было принято в 1791 г. при установлении метрической системы мер. Метр был определен как одна десятимиллионная часть четверти парижского меридиана. В 1799 г. на основе измерений части дуги меридиана был изготовлен эталон метра в виде платиновой концевой меры, переданной на хранение в Национальный Архив Франции и получившей название «метра Архива». Метр Архива представляет собой платиновую линейку шириной около 25 *мм*, толщиной около 4 *мм* с расстоянием между концами, равным 1 *м*.

Созданная по инициативе Российской Академии Наук Международная комиссия по прототипам метрической системы в 1872 г., учитывая, что при новых, более точных измерениях меридиана может получаться разное значение основной единицы длины, приняла рекомендацию об отказе от «естественного» эталона метра и о принятии в качестве исходной меры длины метра Архива. В соответствии с решением этой комиссии, подтвержденном в 1875 г.

Международной дипломатической конференцией по метру, на которой подписана Метрическая конвенция, были изготовлены из наиболее стойкого в то время сплава платины с иридием 31 шт. штриховых эталонов метра. Из них метр № 6 оказался при 0°С равным метру Архива и был утвержден в 1889 г. Первой Генеральной конференцией по мерам и весам в качестве Международного прототипа метра. Он представляет собой платино-иридиевый брусок длиной 102 *см*, имеющий в поперечном сечении форму X, как бы вписанную в воображаемый квадрат, сторона которого равна 20 *мм*.

В 1927 г. Седьмая Генеральная конференция по мерам и весам приняла следующее определение метра, действовавшее до 1960 г.:

«Единица длины — метр — определяется расстоянием при 0° между осями двух средних штрихов, нанесенных на платино-иридиевом бруске, хранящемся в Международном бюро мер и весов и принятом в качестве прототипа метра Первой Генеральной конференцией по мерам и весам, при условии, что эта линейка находится при нормальном атмосферном давлении и поддерживается двумя роликами диаметром не менее 1 *см*, расположенными симметрично в одной горизонтальной плоскости на расстоянии 571 *мм* один от другого».

Определение метра по международному платино-иридиевому прототипу взамен определения метра как десятимиллионной части четверти земного меридиана, означало потерю значения метра как «естественной» меры, взятой из природы, и переход к условной мере.

Развитие физики с конца XIX века привело опять к естественному эталону длины.

Как известно, возбужденный атом излучает квант света с частотой $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$, где $h$ — постоянная Планка; $E_1$ и $E_2$ — возможные значения энергии в атоме, называемые уровнями энергии. При распространении этого излучения в вакууме со скоростью $c$ длина волны будет равна $\lambda = \frac{ch}{E_2 - E_1}$. Таким образом, теоретически длина волны любого излучения атома, являясь константой, может служить для точного определения единицы длины.

На основании работ, выполненных в Международном бюро мер и весов Майкельсоном и Бенуа, Вторая Генеральная конференция по мерам и весам в 1895 г. приняла решение: «естественным свидетелем прототипа метра считать отношение метра к длинам световых волн». Дальнейшие работы, выполненные в ряде лабораторий разных стран, дали возможность установить естественный эталон длины в виде метра, выраженный в длинах световых волн (светового метра). Было предложено применить в качестве эталонного излучения желтую линию натрия, зеленую линию ртути, затем красную линию кадмия.

В 1927 г. Седьмая Генеральная конференция по мерам и весам узаконила численное соотношение между метром и длиной световой

волны. Метр был принят равным 1553164,13 длины волн красной линии кадмия, излучаемых при определенных условиях.

Однако, даже в идеальном случае, вследствие конечной ширины уровней энергии в атоме, излучаемая спектральная линия представляет собой некоторое симметричное распределение световой энергии — интенсивности линии по шкале частот. Идеальная монохроматическая линия расширена на некоторый интервал частот. Распределение интенсивности спектральной линии по частоте представляется в виде ее контура, ширина которого при спадении интенсивности наполовину называется шириной спектральной линии. Тогда длина волны светового излучения относится к середине максимума естественного контура линии.

Излучение спектра монохроматическим источником добавочно возмущается условиями возбуждения атомов. Наличие электрических и магнитных полей в газовом разряде, нагревание (явление Допплера), соударение излучающих атомов с другими атомами (эффект давления) являются причинами возмущения уровней и, следовательно, расширения линии и смещения максимума контура по шкале частот. Таким образом, действительный контур линии значительно шире естественного и может быть несимметричным.

Исследованиями спектральных линий с помощью интерференции света установлено, что почти все они обладают сложным строением — сверхтонкой структурой. Наличие сверхтонкой структуры линии связано с изотопическим составом элементов и присутствием изотопов в естественных элементах. Четно-четные элементы (с четным атомным весом и четным номером в периодической системе элементов) излучают линии с простым контуром. Такие элементы начали получать в последнее время в результате развития техники разделения изотопов. Чем проще контур, тем точнее можно воспроизвести его максимум, а следовательно, и длину световой волны.

В метрологических учреждениях ряда стран были выполнены новые работы по созданию эталонных источников излучения с применением изотопов, дающих более тонкие, монохроматические линии. В ФРГ проводились работы с изотопами криптона $Kr^{84}$ и $Kr^{86}$; в США — с изотопами ртути $Hg^{198}$; в СССР — с изотопом кадмия $Cd^{114}$.

В 1948 г. Девятая Генеральная конференция по мерам и весам приняла следующую резолюцию: «Генеральная конференция по мерам и весам, ознакомившись с новыми возможностями, представляемыми спектральными линиями элементов с единым изотопом, соединяющих в высшей степени качества, требуемые для создания эталонных длин волны, приветствует ученых, работы которых закончились осуществлением значительных количеств этих элементов; признает, что в этих линиях заключается возможность отыскания естественной основы высокой точности для единицы длины; приглашает крупные лаборатории и Международное бюро продолжить исследования этих линий с целью установления в бу-

дущем нового определения метра, основанного на длине волны избранной линии, испускаемой при специфических условиях».

Международный комитет мер и весов в 1952 г. создал специальный Консультативный комитет по определению метра. Этот Комитет, изучив работы крупных метрологических лабораторий разных стран по световому метру, рассмотрел новое определение метра, основанное на длине световой волны. Однако он признал необходимым продолжить работы по исследованию монохроматических излучений.

На первой сессии Консультативного комитета были приняты следующие шесть предложений:

*Предложение I.* «Консультативный комитет по определению метра, заслушав доклад директора Международного бюро мер и весов

1) о точности, с которой в настоящее время хранится основная единица длины метрической системы посредством платино-иридиевого эталона, и

2) о точности, которую позволяют достигнуть в настоящее время штриховые эталоны,

полагает, что пришло время рассмотреть благоприятно новое определение метра, основанное на длине волны светового излучения с целью придания основной единице длины одновременно более высокой точности и бесспорного характера универсальности и нетленности».

*Предложение II.* «Консультативный комитет считает, что когда придет время, метр должен быть определен посредством длины волны светового излучения, распространяющегося в вакууме, причем излучатель и наблюдатель находятся в относительном покое.

Это излучение должно быть обусловлено двумя спектральными членами атома, спектр которого лишен сверхтонкой структуры и который не подвергается какому-либо возмущающему влиянию».

*Предложение III.* «С целью обеспечения для единицы длины по возможности совершенной преемственности при переходе к предусмотренному определению рекомендуется установить последнее, пользуясь в качестве промежуточного значением $0{,}64384696 \cdot 10^{-6}$ *м* для длины волны красного излучения кадмия, как оно было обусловлено Седьмой Генеральной конференцией по мерам и весам.

Для этого перехода приведение к вакууму измеренных длин волны в воздухе должно производиться посредством формулы рассеивания для нормального воздуха, принятой в Риме в 1952 г. Смешанной комиссией по спектроскопии».

*Предложение IV.* «В отношении выбора эталонного излучения, дающего наилучшие метрологические свойства (ширина линии, симметрия и др.), Консультативный комитет считает, что он еще недостаточно документирован для того, чтобы сделать определенное предложение. Он просит, чтобы крупные лаборатории и Международное бюро продолжили, насколько возможно, активно их работы в этом направлении».

*Предложение V.* «В предположении изменения определения метра Консультативный комитет по определению метра, будучи убежденным, что миссия Международного бюро мер и весов должна, как и прежде, оставаться основной в области измерений длины, рекомендует, чтобы Бюро было оборудовано самыми точными приборами для проведения интерференционных измерений в вакууме, для осуществления при наилучших условиях связи между длинами волны, штриховыми эталонами и концевыми эталонами и тем самым выполнять одну из основных миссий, которые ему поручила Метрическая конвенция».

*Предложение VI.* «Консультативный комитет рекомендует, чтобы Международный комитет обратился с просьбой к Генеральной конференции, которая должна состояться в 1954 г., о предоставлении ему необходимых полномочий для того, чтобы он сам решил о порядке и дате изменения, не ожидая следующей Генеральной конференции».

В октябре 1956 г. на очередной сессии Международного комитета мер и весов было заслушано сообщение вице-директора Бюро Ж. Террьена о работах Международного бюро по исследованию монохроматических источников света для воспроизведения единицы длины через длину световой волны.

В результате выполненных работ было установлено, что оранжевая линия $Kr^{86}$ обладает наименьшей шириной (13 *мк*) и, таким образом, является пока наилучшим претендентом на выбор ее как основной при будущем определении единицы длины.

Международный комитет мер и весов признал необходимым продолжить работы в этой области, в частности, произвести обмен источниками света между различными лабораториями, с тем, чтобы по возможности полно исследовать все метрологические свойства источников света.

23—25 сентября 1957 г. в Международном бюро мер и весов состоялась 2-я сессия Консультативного комитета. На сессии присутствовали представители всех крупнейших метрологических лабораторий мира.

Первым был заслушан доклад директора Международного бюро мер и весов Ш. Воле, который указал, что результаты недавних сличений метров Международного бюро с прототипом метра плохо согласуются с результатами сличений 1938—1939 гг. Отсюда следует, что международный прототип определен с погрешностью не менее 0,1—0,2 *мк*.

На метрах с новыми штрихами получено совпадение лучшее, чем 0,1 *мк*, но по-прежнему трудно даже в настоящее время добиться совершенных штрихов. Поэтому вместо того, чтобы улучшить определение единицы длины посредством новых штриховых эталонов, целесообразнее принять естественный эталон, представленный длиной световой волны.

Но Международное бюро в 1953 г. не скрывало своих опасений относительно принятия светового метра. В настоящее время не

только умеют сличать между собой длины волн весьма удовлетворительным образом, но и умеют непосредственно переходить от длины волны к штриховому эталону; несколько лабораторий уже имеют компараторы, позволяющие осуществлять этот переход, Международное бюро также заказало такой компаратор, который будет установлен через 1—2 года. Ныне Международное бюро не видит каких-либо значительных трудностей для осуществления этого перехода при условии обеспечения преемственности единицы длины.

Были заслушаны доклады Физико-технического института (ФРГ), Национального бюро стандартов (США), Национальной физической лаборатории (Англия), Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии (СССР), Центрального контрольного института мер и весов (Япония) и Национальной лаборатории эталонов (Австралия) о работе с различными источниками монохроматических излучений.

Доклад о работах Международного бюро мер и весов по данному вопросу сделал Террьен. Эти работы шли в двух главных направлениях:

а) более точное измерение длин волн и их изменений;

б) определение спектрального профиля излучений двумя методами: посредством эталона Фабри-Перо и методом наблюдения полос в интерферометре Майкельсона.

По профилю линий сделаны следующие основные заключения:

1. Ширина линии. Измеренная ширина линий, полученных при наилучших условиях, позволяет классифицировать их в порядке достоинств, аналогичном порядку, предусмотренному по теоретическому эффекту Допплера, а именно: излучения $Kr^{86}$ тоньше излучений $Hg^{198}$, которые тоньше излучений $Cd^{114}$. Вследствие этого внимание было обращено на два элемента, линии которых являются наиболее тонкими.

2. Симметрия. В лучшем излучении $Hg^{198}$ (зеленом излучении) вершина профиля асимметрична, когда охлаждающая вода поддерживается при 20°С; эта асимметрия исчезает при 4°С и ниже, но остаются деформации, объясняемые сверхтонкой структурой изотопа $Hg^{199}$, присутствовавшего здесь в количестве 1,5%.

Для наилучших линий $Kr^{86}$ симметрия является совершенной, с точностью наблюдений примерно в 0,01 ширины.

3. Помехи. Было найдено, что лучшие линии $Kr^{86}$ менее нарушаются, чем лучшие линии $Hg^{198}$. Было также совсем недавно констатировано путем простого визуального наблюдения, что видимость еще более улучшается, вероятно, вследствие уменьшения остаточных помех, путем охлаждения криптоновой лампы в жидком воздухе (58—60°К) вместо азота (63°К).

Так как три изученных качества — ширина линии, симметрия, незначительность помех — говорят в пользу $Kr^{86}$, Международное бюро считает, что оранжевое излучение $2p_{10}$—$5d_5$ этого мононукли-

да является со всех точек зрения наилучшим эталоном длины из ныне известных.

Имея возможность выбрать в настоящее время излучение, обеспечивающее погрешность не более $10^{-9}$, что позволяет определять метр значительно точнее платино-иридиевого прототипа, Консультативный комитет единогласно решил передать Международному комитету мер и весов следующую рекомендацию:

«Консультативный комитет по определению метра, заслушав доклад директора Международного бюро мер и весов, подтверждающий то, что международный прототип из платино-иридия не отвечает более требованиям высокой метрологии, и, рассмотрев тщательно доклады крупных лабораторий и Международного бюро относительно метрологических свойств получаемых ныне излучений, заявляет, что он достаточно осведомлен для того, чтобы составить четкую рекомендацию, соответствующую Предложению II, которое он принял в 1953 г.

Вследствие этого Консультативный комитет по определению метра рекомендует определять метр посредством излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона 86.

Он считает на основании совпадающих результатов, полученных по правилам Предложения III, принятого им в 1953 г., что метр должен определяться как равный, по условию, 1650763,73 длин волн в вакууме этого излучения».

В октябре 1958 г. на очередной сессии Международного комитета мер и весов был заслушан доклад Консультативного комитета по определению метра и были приняты два проекта резолюций, которые подлежали утверждению на Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам.

В октябре 1960 г. вопрос о переходе на новое определение метра был рассмотрен на Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам.

Учитывая, что никакое усовершенствование платино-иридиевого прототипа метра не позволяет повысить его точность выше достигнутой в 0,1 *мк*, и имея возможность выбрать длины волны излучения атома в качестве естественного эталона длины, дающего точность воспроизведения большую почти на два порядка (в 100 раз), Генеральная конференция приняла следующие три резолюции (6, 7 и 8-я) о новом определении метра:

### *Резолюция 6*

«Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам, принимая во внимание, что международный прототип не определяет метр с точностью, достаточной для современных потребностей, и, что, с другой стороны, желательно принять естественный и неразрушаемый эталон

решает:

1. Метр есть длина, равная 1650763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона 86.

2. Определение метра, действующее с 1889 г., основанное на международном платино-иридиевом прототипе, отменяется.

3. Международный прототип метра, утвержденный Первой Генеральной конференцией по мерам и весам в 1889 г., будет храниться в Международном бюро мер и весов в таких же условиях, какие были установлены в 1889 г.».

*Резолюция 7*

«Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам приглашает Международный комитет:

1. составить инструкции для введения в практику нового определения метра;

2. выбрать вторичные эталоны длины волны для интерференционного измерения длин и составить инструкции для их применения;

3. продолжать исследования, предпринятые с целью улучшения эталонов длины».

Примечание. Международный комитет мер и весов составил в октябре 1960 г. рекомендацию по первым инструкциям для введения в практику нового определения метра.

*Резолюция 8*

«Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам, принимая во внимание подготовленные Международным комитетом мер и весов первые инструкции для введения в практику нового определения метра, поручает Международному бюро мер и весов определять, как и в прошлом, значения национальных прототипов».

В Международном бюро мер и весов и крупных национальных метрологических лабораториях созданы установки для воспроизведения метра в длинах световых волн с помощью излучения лампы, наполненной изотопом криптона 86.

Новое определение метра узаконено в СССР ГОСТ 7664—61 «Механические единицы», введенным в действие с 1 июля 1961 г.

## 4. ЕДИНИЦА МАССЫ — КИЛОГРАММ

Определение единицы массы — килограмма — было дано Третьей Генеральной конференцией по мерам и весам 1901 г. в следующем виде:

«Килограмм — единица массы — представлен массой международного прототипа килограмма».

При установлении метрической системы мер в качестве единицы

массы была принята масса в 1 *кг*, равная массе 1 *дм*$^3$ чистой воды при температуре ее наибольшей плотности (4°С).

Изготовленный на основе точных взвешиваний прототип килограмма представлял собой платиновую цилиндрическую гирю высотой, равной его диаметру. Как и прототип метра, он был передан на хранение в Национальный Архив Франции.

В XIX веке было произведено несколько повторных и тщательных измерений массы 1 *дм*$^3$ чистой воды при температуре 4°С; при этом было установлено, что эта масса немного (приблизительно на 0,028 *г*) менее массы прототипа Архива.

Для того, чтобы при дальнейших более точных взвешиваниях не менять значения единицы массы, на Международной комиссии по прототипам метрической системы в 1872 г. было решено за единицу массы принять массу прототипа килограмма Архива.

При изготовлении платино-иридиевых эталонов килограмма за международный прототип был принят тот, который ближе всех соответствовал массе прототипа килограмма Архива.

При установлении метрической системы мер не было четкого разграничения понятий массы и веса. Поэтому международный прототип килограмма считался эталоном единицы веса.

Однако уже при утверждении международного прототипа килограмма на Первой Генеральной конференции по мерам и весам 1889 г. килограмм был утвержден в качестве прототипа массы.

Четкое разграничение килограмма как единицы массы и килограмма как единицы силы было дано в решениях Третьей Генеральной конференции по мерам и весам.

При проведении опроса об установлении международной системы единиц некоторые страны вносили предложения об изменении наименования основной единицы массы с целью отличия его от наименования килограмма, имеющего широкое распространение в практической жизни в качестве единицы веса.

Были предложены вместо килограмма для единицы массы наименования: галилео (Аргентина), кило (Финляндия), бес (Италия). Кроме того, вносились предложения о наименованиях: квант, эйнштейн, молео.

Другие страны вносили предложение об изменении наименования килограмма как единицы веса и силы, заменив его названием килопонд (Германия, Австрия, Швеция и др.).

Десятая Генеральная конференция по мерам и весам 1954 г., обсуждая вопрос о наименовании основной единицы массы, признала необходимым сохранить за ней название килограмм.

В связи с развитием работ по созданию новых эталонов единиц физических величин, основанных на атомных постоянных (метра — на длине световой волны, секунды — на частоте колебаний атомов и молекул, электрических и магнитных единиц — на гиромагнитном отношении протона), возник вопрос и о связи единиц массы с атомными константами. Этим объясняются предложения о при-

менении для метрологических целей такой константы, как масса нейтрона.

Является перспективной разработка и создание образцов одноизотопного состава с массой порядка 1 *мг* для исследования их методами масс-спектрометрии и весовым. Можно предполагать, что развитие этих работ позволит в будущем сравнивать доли килограмма с теми характеристиками массы отдельных частиц изотопов, которые получаются с помощью масс-спектрометра.

## 5. ЕДИНИЦА ВРЕМЕНИ — СЕКУНДА

С древних времен в качестве естественного эталона времени применяли период вращения Земли вокруг своей оси. До принятия в 1956 г. нового определения секунды она определялась как 1/86400 средних солнечных суток. Под средним солнцем понимали воображаемое солнце, движущееся равномерно по небесному экватору и совершающее один оборот по небесному своду за тот же промежуток времени, что и истинное солнце, движущееся неравномерно по эклиптике. Интервал времени между двумя последовательными верхними кульминациями среднего солнца и называли средними солнечными сутками.

Однако наблюдения за продолжительный период времени показали, что вращение Земли подвержено нерегулярным колебаниям, которые не могут быть предусмотрены и не позволяют рассматривать его в качестве естественного эталона времени. Эти колебания лишают метрологического значения понятие средних солнечных суток.

Таким образом, средние сутки определены с погрешностью $10^{-7}$. Однако эта точность совершенно недостаточна при нынешнем состоянии техники частот. Поэтому возникла необходимость в выборе нового естественного эталона времени, обеспечивающего большую точность единицы измерения времени.

Первые предложения по новому определению секунды были сделаны в 1950 г. в период Международной конференции по основным константам астрономии в Париже. Обсуждение этого вопроса продолжалось на генеральных ассамблеях Международного астрономического союза (Рим, 1952 г.; Дублин, 1955 г.), а также на Генеральной конференции по мерам и весам (1954 г.) и в Международном комитете мер и весов (1956 г.). А. Данжон, директор Парижской обсерватории и президент Международного комитета мер и весов, изложил аспекты этой проблемы в двух докладах, представленных международным метрологическим организациям.

Определение, окончательно принятое Международным комитетом мер и весов в октябре 1956 г., привязывает секунду к движению Земли по ее орбите вокруг Солнца, а не к ее вращению и принимает в качестве эталона времени длительность тропического года, т. е. интервал между двумя весенними равноденствиями, следующими одно за другим; орбитное движение, практически неза-

висимое от физической природы движущихся тел, позволяет получить большую точность в определении единицы времени, чем вращательное движение Земли.

Резолюция Международного комитета мер и весов о новом определении секунды содержит следующее:

«В силу полномочий, полученных от Десятой Генеральной конференции по мерам и весам в ее резолюции № 5, Международный комитет мер и весов, принимая во внимание:

1) что Девятая ассамблея Международного астрономического союза (Дублин, 1955 г.) высказала благоприятное мнение относительно привязывания секунды к тропическому году;

2) что согласно решениям Восьмой ассамблеи Международного астрономического союза (Рим, 1952 г.) секунда эфемеридного времени (ТЕ) является частью

$$\frac{12960276813}{408986496}10^{-9}$$

тропического года для 1900 г. января 0 в 12 *ч* ТЕ, решает:

секунда есть часть 1/31556925,9747 тропического года для 1900 г. января 0 в 12 *ч* эфемеридного времени».

Ссылка на 1900 г. объясняется тем, что тропический год сам по себе не является постоянным, он уменьшается примерно на 0,5 *сек* за столетие и поэтому необходимо было исходить из одного определенного года.

Таким образом, секунда основывается на астрономическом определении эфемеридного равномерного времени, не зависящего от неравномерности вращения Земли и определяемого в зависимости от долготы $L$ Солнца посредством соотношения:

$$L = L_0 + 129602768{,}13''\,T + 1{,}089''T^2,$$

причем единица времени в этой формуле равна юлианскому веку в 36525 суток, а эпоха происхождения, мгновение, когда долгота Солнца была $L_0$, 31 декабря 1899 г.; именно это происхождение астрономы условно называют 1900 г. января 0 в 12 *ч* ТЕ.

Если $T$ выражено в секундах времени, соотношение имеет форму:

$$L = L_0 + \frac{129602768{,}13''}{36525 \times 86400}\,T + \frac{1{,}089''}{(36525 \times 86400)^2}\,T^2.$$

Для увеличения средней долготы Солнца получаем следующее выражение:

$$\Delta L = \frac{129602768{,}13''}{36525 \times 86400}\,\Delta T + \frac{2{,}178''}{(36525 \times 86400)^2}\,T \cdot \Delta T.$$

Так как $L$ за тропический год увеличивается на 360° или 1296000″ и так как на 0 января 1900 г. $T=0$, то в конечном полу-

чаем для продолжительности в секундах тропического года на 1900 г.:

$$\Delta T = \frac{1296000'' \, (36525 \times 86400'')}{129602768,13''} = 31556925,9747'',$$

т. е. значение, оправдывающее принятое определение.

В 1960 г. вопрос о новом определении секунды был рассмотрен на Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам, принявшей следующую резолюцию:

«Одиннадцатая Генеральная конференция по мерам и весам, принимая во внимание полномочия, данные Десятой Генеральной конференцией по мерам и весам Международному комитету мер и весов о принятии решения по вопросу об определении основной единицы времени,

принимая во внимание решение Международного комитета мер и весов на его сессии в 1956 г.

ратифицирует следующее определение:

секунда является 1/31556925,9747 частью тропического года на 0 января 1900 г. в 12 часов эфемеридного времени».

Дата 0 января 1900 г. в 12 часов выражена в принятом астрономами порядковом счете времени и соответствует полдню 31 декабря 1899 г.

Это новое определение делает секунду равной средней продолжительности старой секунды за последние три столетия; таким образом, оно не ведет к новой единице времени, но позволяет более строго пользоваться естественным эталоном, определяемым из совокупности видимых движений небесных тел. Новое определение секунды может быть сравнено с новым нанесением штрихов на штриховом эталоне, когда широкие и неправильные штрихи были заменены тонкими штрихами, помещенными на средней оси старых штрихов.

Точность, с которой может быть получена вновь определенная секунда, зависит от точности, с которой может быть определен сам тропический год; это определение является результатом наблюдений Луны, причем считают, что эти наблюдения должны охватывать не менее 10 лет для того, чтобы относительная погрешность не превышала $10^{-10}$. По этой причине среднее солнечное время (или всемирное время, когда его считают, начиная с полуночи на Гринвичском меридиане) продолжает применяться в качестве промежуточного; разница между всемирным временем и эфемеридным временем делается известной лишь по прошествии нескольких лет. Поэтому хранители времени будут продолжать хранить всемирное время, причем эта разность не вызывает ни трудностей, ни путаницы, так как дифференциальная поправка позволяет переходить ко времени эфемерид, когда оно требуется.

Практически астрономическая единица времени стала доступной благодаря сигналам времени, передаваемым по радио. Эти сигналы передаются от кварцевых часов (генераторы с пьезоквар-

цевыми кристаллами), которые представляют собой эталоны частоты, периодически эталонируемые по астрономическим наблюдениям. Хотя кварцевые часы имеют определенный «уход» частоты, последний является достаточно медленным и регулярным для того, чтобы можно было интегрировать интервалы времени и обрабатывать отклонения астрономических наблюдений. Относительное непостоянство частоты лучших кварцевых часов от суток к суткам достигает примерно $\pm 1 \cdot 10^{-10}$, т. е. 0,00001 *сек.* Однако кварцевые генераторы не могут служить для создания шкалы времени, действующей на длительное время.

Более стабильными являются молекулярные и атомные эталоны частоты. Эти эталоны основываются на свойствах молекул и атомов излучать или поглощать энергию во время перехода между двумя энергетическими уровнями в области радиоэлектрических частот.

В настоящее время применяются три типа молекулярных и атомных эталонов. Эталон, основанный на поглощении, использующий полосу в инверсионном спектре газа аммиака ($NH_3$); он дает частоту, близкую к 23870 *Мгц,* стабилизированную благодаря наличию максимума резонансного поглощения аммиака. Молекулярный генератор с молекулярным пучком $NH_3$ основан на разделении молекул аммиака по двум энергетическим уровням посредством сортирующего и фокусирующего электрического поля. Эталон с атомным пучком цезия, принцип которого основывается на сортировке атомов цезия по уровням сверхтонкой структуры с помощью неоднородного магнитного поля; его резонансная частота равна примерно 9192,632 *Мгц.*

Частоты, даваемые этими эталонами с погрешностью от $10^{-9}$ до $10^{-10}$, позволяют достаточно точно контролировать на короткие промежутки времени посредством умножителей и делителей частоты кварцевые часы, применяемые для интегрирования интервалов времени на более длинные промежутки.

Первые результаты работы атомных и молекулярных эталонов частоты позволяют предусмотреть значительное увеличение точности измерений частоты и коротких интервалов времени. Астрономический эталон, основанный на эфемеридном времени, остается необходимым для измерения больших интервалов времени и для того, чтобы хранить шкалу времени.

Дальнейшие исследования атомных и молекулярных эталонов частоты как по пути дальнейшего повышения точности самих эталонов, так и создания непрерывно действующих атомных и молекулярных часов, позволят еще больше повысить точность воспроизведения единицы измерения времени.

Проблема единицы времени, до настоящего времени относившаяся главным образом к области астрономии, переходит ныне также и в область спектроскопии сверхвысоких радиочастот, в которой астрономы, физики и инженеры призваны работать в тесном и плодотворном сотрудничестве.

Для изучения разных аспектов этой проблемы при Международном комитете мер и весов был создан Консультативный комитет по определению секунды, имевший свои сессии в 1957 и 1961 гг. На этих сессиях рассматривались вопросы, связанные с молекулярными и атомными эталонами частоты.

## 6. ЕДИНИЦА СИЛЫ ТОКА — АМПЕР

Из определения силы тока как физической величины следует, что размер единицы силы тока равен единице количества электричества, проходящего через поперечное сечение проводника в единицу времени. Поэтому естественно было бы с этой точки зрения принять за основную электрическую единицу некоторый заряд, например, равный заряду электрона или определенного числа электронов. Однако в настоящее время нет возможности осуществить с достаточной точностью эталон, опирающийся на такое определение. Вследствие этого пришлось отказаться от количества электричества как четвертой основной единицы и взять в качестве нее единицу силы тока — ампер.

Равным образом определение ампера приходится связывать не с количеством электричества, а с теми физическими процессами, на которые влияет электрический ток. Этими процессами могут быть: выделение тепла при прохождении тока через проводник, осаждение вещества на электродах при прохождении тока через электролит, пондеромоторные действия тока на магнит или на проводник с током. Любой из законов, относящихся к этим явлениям, может служить основанием для установления единицы силы тока. В метрологии следует выбирать тот из них, который позволяет воспроизвести единицу силы тока с наибольшей точностью.

Таким законом является закон взаимодействия токов, который и положен в основу современного определения ампера, так как в настоящее время измерение силы, с какой один проводник действует на другой, можно производить более точно, чем измерять количество тепла и количество отложившегося вещества на электроде. Поэтому определение ампера и основано на законе Ампера о взаимодействии токов.

Девятая Генеральная конференция по мерам и весам в 1948 г. приняла следующее определение ампера, предложенное Международным комитетом мер и весов:

«Ампер есть сила неизменяющегося тока, который, будучи поддерживаем в двух параллельных прямолинейных проводниках бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенных на расстоянии 1 метра один от другого в пустоте, вызывал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ единиц силы системы МКС на 1 метр длины».

Приведенная формулировка содержит понятие бесконечно длинных и бесконечно тонких проводников, которые невозможно осу-

ществить. Однако математический анализ, основанный на законе Ампера и упомянутом определении, позволяет, для некоторых частных случаев, рассчитать с достаточно высокой точностью силу взаимодействия токов, протекающих по проводникам конечных размеров.

При взаимодействии подвижной и неподвижной катушек так называемых токовых весов (ампер-весов), теоретический расчет дает надежные результаты.

Поэтому эти весы представляют основную установку, необходимую для эталонного метода воспроизведения единицы силы тока.

Достигаемая при этом методе точность воспроизведения единицы силы тока достаточно высока для поддержания единства измерений почти во всех случаях при современном состоянии измерительной техники. Можно, однако, предвидеть, что в ближайшем будущем эта точность окажется недостаточной и поэтому необходимо вести исследования по другим методам воспроизведения основной электрической единицы.

Достижения современной физики в области исследования свойств атомного ядра указывают новые пути для осуществления электрических и магнитных эталонов, основанных на внутриатомных процессах. Одним из возможных эталонных методов может быть метод ядерного магнитного резонанса. Гиромагнитное отношение протона может быть принято в качестве основной величины, необходимой для образования всей совокупности электрических и магнитных единиц.

## 7. ЕДИНИЦА ТЕМПЕРАТУРЫ — ГРАДУС

Измерение температуры с момента изобретения термометра Галилеем в 1598 г. основывалось на применении того или иного термометрического вещества, изменяющего свой объем или давление при изменении температуры.

В 1715 г. Фаренгейт создал ртутный термометр и предложил для построения термометрической шкалы две точки: температуру смеси льда с солью и нашатырем, которую он обозначил 0, и температуру тела человека, которую он обозначил числом 96.

В 1736 г. Реомюр предложил для термометрической шкалы другие две постоянные точки, более удобные для воспроизведения: точку таяния льда 0° и точку кипения воды 80°.

В 1742 г. Цельсий предложил термометрическую шкалу, в которой расстояние по шкале между точкой таяния льда и точкой кипения воды делилась на 100 частей.

Показания термометров такого типа зависели от рода примененного термометрического вещества и от особенностей и условий теплового расширения его.

В середине прошлого века В. Томсон (Кельвин) показал, что можно установить термодинамическую температурную шкалу, не зависящую от рода термометрического вещества.

## Термодинамическая температурная шкала

В основании построения этой шкалы лежат следующие положения.

Если в обратимом цикле Карно тело, совершающее цикл, поглощает теплоту $Q_1$ при температуре $T_1$ и отдает тепло $Q_2$ при температуре $T_2$, то отношение абсолютных температур $T_1/T_2$ равно отношению количеств тепла $Q_1/Q_2$. Согласно положениям термодинамики это отношение не зависит от свойств рабочего тела.

Так как изменения количества тепла всегда могут быть измерены, то при помощи цикла Карно, проведенного, например, между температурой плавления льда $T_0$ и температурой кипения воды $T_s$, можно, измерив количество тепла $Q_0$, отдаваемого рабочим веществом, и количество тепла $Q_s$, поглощаемое рабочим веществом, определить отношение $T_s/T_0$. После этого можно измерить любую температуру $T$, если один из двух тепловых резервуаров будет иметь температуру $T_0$.

Установленная таким образом термодинамическая температурная шкала, не зависящая от термометрического вещества, называется также шкалой Кельвина.

Так как свойства газов при большом разрежении близки к свойствам идеального газа, термодинамическая температурная шкала в пределах значительного температурного интервала совпадает со шкалой, установленной при помощи газового термометра при весьма большом разрежении газа, которым заполнен газовый термометр.

При установлении термодинамической температурной шкалы для сохранения преемственности численного выражения ее со стоградусной температурной шкалой Цельсия температурный промежуток между точкой таяния льда и точкой кипения воды был приравнен 100°.

## Международная температурная шкала

Экспериментальные трудности, присущие измерениям температуры по термодинамической шкале, привели к принятию в 1927 г. Седьмой Генеральной конференцией по мерам и весам практической шкалы, которая была названа международной температурной шкалой. Эта шкала должна была быть согласована со стоградусной термодинамической шкалой настолько тесно, насколько позволял уровень знаний того времени. Шкала была установлена таким образом, чтобы ее можно было удобно и точно воспроизводить и чтобы она давала возможность обусловливать любую температуру по международной шкале в значительно более узких интервалах, чем по термодинамической шкале.

Для практического применения Девятая Генеральная конференция по мерам и весам в 1948 г. утвердила международную температурную шкалу, основанную на определенных воспроизводимых реперных точках.

Положение о международной температурной шкале 1948 г., утвержденное Генеральной конференцией, основано на следующих соображениях.

Шкала Кельвина, в которой числовые значения температуры обозначаются °К, признается в качестве основной термодинамической шкалы, к которой может приводиться всякое измерение температуры. В этой шкале интервал, заключающийся между точкой таяния льда $T_0$ и точкой кипения воды $T_{100}$, равен 100°. Девятая Генеральная конференция по мерам и весам приняла в принципе шкалу Кельвина, а также стоградусную термодинамическую шкалу, в которой температура равна $T—T_0$. Всякий интервал температуры, выраженный по одной из этих шкал, имеет такое же числовое значение, как и при выражении его по другой шкале.

Уточнение международной шкалы температур в 1948 г. должно было осуществить возможно более тесное согласование ее со стоградусной термодинамической шкалой, для чего были внесены уточнения в числовые значения отдельных реперных точек, а также внесен ряд других изменений.

В рекомендациях Девятой Генеральной конференции по мерам и весам, приложенных к шкале, дано описание приборов, методов и оперативных приемов для осуществления международной шкалы температур.

В октябре 1960 г. на Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам было принято «Положение о Международной практической температурной шкале 1948 г. Редакция 1960 г.».

Температурная шкала под новым названием, принятым Международным комитетом мер и весов в мае 1960 г., не изменяет температурной шкалы 1948 г., так как числовые значения температур, определяющих шкалу, остались такими же, как и в 1948 г.

В новой редакции Положения устанавливается следующее определение Международной практической температурной шкалы:

«Температуры по Международной практической шкале 1948 г. выражаются в градусах Цельсия, обозначаемых через °С или °С(межд. 1948), и представлены здесь символом $t$ или $t_{межд}$.

Международная практическая температурная шкала основана на шести воспроизводимых температурах (первичные постоянные точки), которым присвоены числовые значения, а также на формулах, устанавливающих соотношение между температурой и показаниями приборов, эталонированных по этим шести первичным постоянным точкам. Эти постоянные точки определяются состояниями равновесия, осуществляемыми по спецификации; за исключением тройной точки воды, эти состояния равновесия рассматриваются при давлении 101325 ньютонов на квадратный метр (нормальная атмосфера)».

Первичные постоянные точки и точные числовые значения, которые им присвоены, приведены ниже.

## Первичные постоянные точки. Точные присвоенные им значения

Давление равно 1 нормальной атмосфере, кроме тройной точки воды.

| | Температура, °С |
|---|---|
| Температура равновесия между жидким кислородом и его паром (точка кипения кислорода) | —182,97 |
| Температура равновесия между льдом, жидкой водой и водяным паром (тройная точка воды) | +0,01 |
| Температура равновесия между жидкой водой и ее паром (точка кипения воды) | 100 |
| Температура равновесия между жидкой серой и ее паром (точка кипения серы) | 444,6* |
| Температура равновесия между твердым серебром и жидким серебром (точка затвердевания серебра) | 960,8 |
| Температура равновесия между твердым золотом и жидким золотом (точка затвердевания золота) | 1063,0 |

* Вместо точки кипения серы рекомендуется применение точки равновесия между твердым цинком и жидким цинком (точка затвердевания цинка), которой приспаивается значение 419,505 °С. Эта точка лучше воспроизводима, чем точка серы, и значение, которое ей присвоено, было выбрано таким, чтобы оно приводило к тому же результату при определении температуры по «Международной практической шкале».

## Термодинамическая температурная шкала с одной реперной точкой

В. Томсон (Кельвин) и независимо от него Д. И. Менделеев высказали соображения о целесообразности построения термодинамической шкалы температур по одной реперной точке. Такая шкала имеет значительные преимущества и позволяет определять абсолютную температуру точнее, чем шкала с двумя реперными точками. В шкале с одной реперной точкой необходимо приписывать определенное числовое значение единственной экспериментально реализуемой точки шкалы. Нижней границей температурного промежутка будет служить тогда точка абсолютного нуля.

Погрешность воспроизведения точки кипения воды составляет 0,002—0,01° С, точки таяния льда 0,0002—0,001° С. Тройная же точка воды, являющаяся точкой равновесия воды в твердой, жидкой и газообразной фазе, может быть воспроизведена в специальных сосудах с погрешностью не больше 0,0001° С.

Учитывая все это, Консультативный комитет по термометрии Международного комитета мер и весов в 1954 г. принял рекомендацию о переходе к определению термодинамической шкалы посредством одной реперной точки — тройной точки воды.

Рассмотрев тщательно все числовые результаты, полученные в различных лабораториях, Консультативный комитет по термометрии признал, что наилучшим значением для температуры трой-

ной точки воды, лежащей выше точки таяния льда на 0,01°, является 273,16° К.

Десятая Генеральная конференция по мерам и весам 1954 г. на основании этого установила термодинамическую шкалу температур с одной реперной точкой — тройной точкой воды.

Определение градуса Кельвина дано в следующей резолюции Генеральной конференции 1954 г.:

«Десятая Генеральная конференция по мерам и весам постановила определять термодинамическую температурную шкалу при помощи тройной точки воды в качестве основной реперной точки, присвоив ей температуру 273,16° К точно».

## 8. ЕДИНИЦА СИЛЫ СВЕТА — СВЕЧА

С начала прошлого столетия в разных странах применяли различные источники единицы силы света:

во Франции — лампу Карселя, сила света которой при определенном режиме горения масла (42 *г* в час) принималась за единицу; в Германии была принята парафиновая свеча, сила света которой принималась за единицу при длине пламени в 50 *мм* и сжигании в час 7,6 *г* парафина; в Англии в качестве источника единицы силы света принималась спермацетовая свеча при длине пламени 45 *мм* и при расходе 7,76 *г* спермацета в час; в России в качестве источника единицы силы света пользовались стеариновой свечой, вес которой составлял $^1/_4$ фунта, почему она называлась четвериковой.

На Международном конгрессе электриков в Париже в 1881 г. по предложению Виоля была принята новая единица силы света (единица Виоля). За единицу Виоля принималась сила света, излучаемого квадратным сантиметром поверхности затвердевающей платины по направлению нормали к этой поверхности.

В 1889 г. на Международном конгрессе электриков единица Виоля получила название «абсолютного эталона силы света». Одна двадцатая часть единицы Виоля была принята конгрессом как практическая единица силы света.

Так как реальное осуществление эталона единицы Виоля встречало большие затруднения, Международный конгресс электриков 1893 г. принял в качестве эталона силы света предложенную в 1884 г. нормальную лампу Гефнера-Альтенека, в которой сжигается чистый амилацетат. Сила света этой лампы принималась за единицу при высоте пламени 40 *мм* и ширине 8 *мм*.

В конце первого десятилетия XX века был поставлен вопрос о замене пламенных эталонов силы света эталонами, осуществленными при помощи электрических ламп накаливания. В 1909 г. за единицу силы света была принята «международная свеча», установленная на основании соглашения между тремя государственными метрологическими лабораториями: Франции, Англии и США. Международная свеча являлась производной от единицы Виоля

и осуществлялась и поддерживалась при помощи электрических ламп.

В 1921 г. на заседании Международной комиссии по освещению «международная свеча», установленная в 1909 г., получила свое утверждение.

Исходная образцовая мера для свечи осуществлялась с помощью особых ламп накаливания, хорошо изученных и способных в течение многих лет хранить неизменно световые единицы с погрешностью не свыше 0,1 %.

К концу тридцатых годов в метрологических учреждениях были созданы новые световые эталоны, основанные на полном излучателе (абсолютно черном теле).

В связи с этим возникла необходимость в уточнении значения основной световой единицы и установления ее нового определения.

Международный комитет мер и весов в 1946 г. принял новые значения для световых единиц, на 0,5% меньшие прежних. С 1 января 1948 г. была установлена «новая свеча» со следующим соотношением:

1 прежняя свеча = 1,005 новой свечи.

Девятая Генеральная конференция по мерам и весам в 1948 г. дала следующее определение единице силы света — свече:

«Свеча — это такая сила света, при которой яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины равна 60 свечам на один квадратный сантиметр».

Одновременно Генеральная конференция приняла предложение Международной комиссии по освещению, поддержанное Международным комитетом мер и весов об изменении наименования «новая свеча» (bougie nouvelle) на «свеча» (candela).

## 9. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ И ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ

Международная система единиц включает в себя две дополнительные единицы: для плоского угла и телесного угла.

Единица плоского угла — радиан — угол между двумя радиусами круга, вырезающими на окружности дугу, длина которой равна радиусу. В градусном исчислении радиан равен 57°17′44,8″.

Эта единица имеет большое теоретическое и расчетное значение. Однако измерительных приборов, которые имели бы шкалу, градуированную в радианах, не изготовляют, поэтому для радиана нет и образцовых мер.

Единица телесного угла — стерадиан равен телесному углу, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на поверхности сферы площадь, равную квадрату радиуса сферы.

Как и радиан, стерадиан имеет теоретическое и расчетное значение. Измерительных приборов, которые бы измеряли телесные углы в стерадианах, нет. В светотехнике бывает необходимость измерять телесные углы в стерадианах. Однако обычно измерения

производятся при помощи определения линейных углов с необходимыми расчетами.

Производные единицы Международной системы единиц образуются на основании законов, устанавливающих связь между физическими величинами, или на основании определений соответствующих величин.

Например, единицу силы — ньютон определяют по второму закону Ньютона: единица силы ньютон равна силе, которая телу массой в 1 *кг* сообщает ускорение в 1 *м/сек*$^2$; единицу сопротивления ом определяют на основании закона Ома и т. д.

При установлении размера производных единиц соблюдается условие когерентности системы, т. е. коэффициент пропорциональности в уравнении, определяющем единицу измерения, принимается равным единице.

Большинство производных единиц Международной системы единиц имеют удобные для практики размеры и получили широкое распространение.

Не получила еще должного распространения в механике единица силы ньютон, хотя она имеет удобный для практических измерений размер. Вместе с тем ньютон нашел широкое распространение в электротехнике и радиотехнике. Неудобна только единица давления — ньютон на квадратный метр, имеющая слишком малый размер.

Поэтому при измерении давления применяют кратную единицу давления — бар, равный $10^5$ ньютонов на квадратный метр. Эта единица удобна для практического измерения давления в технике, так как по размеру приближается к технической атмосфере.

Установленный Международным комитетом мер и весов список производных единиц Международной системы включает только первые двадцать семь наименований единиц наиболее важных физических величин. Этот список будет в дальнейшем расширяться и для других физических величин в различных областях измерений.

---

*ГЛАВА IV*

# СТАНДАРТИЗАЦИЯ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ В СССР

## 1. ВВЕДЕНИЕ МЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕР В СССР

Начальным мероприятием по стандартизации единиц измерений в СССР следует считать акт Советского правительства о введении международной метрической системы мер в стране.

Несмотря на рост связей страны с другими странами мира, требующий единства мер, активное участие в международных совещаниях по метрической системе русских ученых, и, наконец, подписание Россией в 1875 г. Метрической конвенции, метрическая реформа мер до Октябрьской Социалистической революции не была осуществлена.

Великий русский ученый Д. И. Менделеев, возглавлявший в конце XIX и начале XX веков Главную палату мер и весов и принимавший меры к распространению метрической системы в России, смог добиться лишь частичного успеха: законом от 4 июня 1899 г. метрическая система мер была допущена в качестве факультативной наравне с национальными мерами.

Только при Советской власти была отменена старая система русских мер и совершен переход на метрическую систему.

Совет Народных Комиссаров в декрете от 14 сентября 1918 г. постановил:

«а) в основание всех измерений положить международную метрическую систему мер и весов с десятичными подразделениями и производными;

б) за образцы основных единиц метрической системы принять копию международного метра, носящую знак № 28, и копию международного килограмма, носящую знак № 12, изготовленные из иридистой платины, переданные России Первой международной конференцией мер и весов в Париже в 1889 г. и хранимые в Главной палате мер и весов;

в) обязать все советские учреждения и организации с 1 января 1919 г. приступить к введению международной метрической системы;

г) с 1 января 1924 г. воспретить применение всяких мер и весов, кроме метрических».

Кроме того, ряд других пунктов этого декрета устанавливал практические мероприятия по внедрению метрической системы.

Декретом был установлен срок в пять лет для выполнения всех подготовительных работ, имеющих целью полное проведение метрической реформы. Однако за два года до указанного срока стало

очевидным, что необходимо дополнительное время для полного введения метрической системы в стране, и Совет Народных Комиссаров декретом от 29 мая 1922 г. продлил этот срок еще на три года — до 1 января 1927 г.

Большую роль во внедрении метрической системы в стране и развитии Государственной службы мер и измерительных приборов сыграло Постановление Центрального Исполнительного Комитета и Совета Народных Комиссаров Союза ССР от 6 июня 1924 г., устанавливающее Положение о мерах и весах.

Первые три статьи этого Положения относятся к единицам измерений, развивая соответствующие пункты декрета от 14 сентября 1918 г.

«Ст. 1. При всякого рода измерениях, производимых в торговле, промышленности, науке, технике и во всех отраслях народного хозяйства Союза Советских Социалистических Республик, применяется международная метрическая система мер, основными единицами которой служат: международный килограмм (единица массы) и международный метр (единица длины).

Ст. 2. Основными эталонами (образцами) метрических мер для Союза ССР служат: копия международного килограмма, носящая знак № 12, и копия международного метра, носящая знак № 28, изготовленные из иридистой платины, переданные России Международной конференцией мер и весов в 1889 г. и хранимые в Главной палате мер и весов при Высшем Совете Народного Хозяйства Союза ССР.

Примечание. Отношения между русскими и метрическими мерами выводятся из следующих основных соотношений: фунт (единица массы) равен 0,40951241 международного килограмма, аршин (единица длины) равен 0,711200 международного метра.

Ст. 3. Единицей времени служат сутки — 24 часа по среднему солнечному времени».

В установленный срок, к 1927 г., метрическая реформа в стране была завершена. Совет Народных Комиссаров СССР в Постановлении от 15 марта 1928 г. по отчету Центральной комиссии по введению метрической системы мер и весов, одобрив деятельность этой комиссии, постановил ликвидировать ее с 1 октября 1928 г. и констатировал, что метрическая система входит в обиход различных отраслей народнохозяйственной и социально-культурной жизни СССР и что введение метрической системы мер и весов, значительно экономя труд, облегчает рационализацию народного хозяйства.

В успешном внедрении метрической системы в стране большую роль сыграла Главная палата мер и весов и местные поверочные палаты.

В 1923 г. Главная палата мер и весов издала «Таблицы взаимного перевода русских и метрических мер», подсчитанных с метрологической точностью. Это издание стало фундаментальным трудом, к которому всегда обращались при разработке какого-либо

нового издания; он вводил в общую практику точное и единое понятие о новой системе мер, сравниваемой со старой системой. Среди изданий Главной палаты около 30 было посвящено вопросам введения новой системы мер в стране.

Успехи СССР по внедрению метрической системы за короткий срок вызвали большой интерес участников Седьмой Генеральной конференции по мерам и весам (1927 г.). Член советской делегации проф. А. Н. Доброхотов представил конференции два доклада «Введение метрической системы в СССР» и «Законодательство по мерам и весам в СССР за время 1921—1927 гг.»

## 2. ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ СТАНДАРТЫ НА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ (1927—1929 гг.)

15 сентября 1925 г. в Советском Союзе был создан первый центральный орган государственной стандартизации — Комитет по стандартизации при Совете Труда и Обороны.

В 1927 г. Комитетом по стандартизации был утвержден как рекомендуемый первый общесоюзный стандарт на единицы измерений ОСТ 169 «Абсолютная система механических единиц (MTS)» *. Стандарт был внесен Главной палатой мер и весов при Высшем Совете Народного Хозяйства.

Разрабатывая первый стандарт на механические единицы, советские метрологи ставили своей задачей внедрение в Советском Союзе абсолютной системы механических единиц, вытекающей из метрической системы мер и состоящей из единиц, удобных для практического применения. Поэтому в соответствии с принятой в 1919 г. во Франции системой за основу были взяты: в качестве единицы длины — метр, единицы массы — тонна, единицы времени — секунда. Выбор тонны в качестве единицы массы казался удачным, так как достигалось соответствие между единицами длины и объема, с одной стороны, и единицей массы — с другой (1 *т*, с точностью, достаточной для большинства технических расчетов, соответствует массе 1 $м^3$ воды). Кроме того, единица работы и энергии в этой системе (килоджоуль) и единица мощности (киловатт) совпадали с соответствующими кратными практическими электрическими единицами.

Общесоюзный стандарт на абсолютную систему механических единиц вводил рекомендацию единицы силы — стен, единицу механического напряжения и давления — пьезу, единицу работы и энергии — килоджоуль, мощности — киловатт, а также их производные.

В стандарте, кроме того, давались: таблица соотношения механических единиц абсолютных систем MTS и CGS и переводная таб-

* Здесь, как и в других местах этой главы, где приводятся ссылки на стандарты 1927—1934 гг., даны символы для сокращенного обозначения систем единиц латинскими буквами, принятые в этих стандартах. Новыми ГОСТами на единицы с 1955 г. установлены символы для сокращенного обозначения систем единиц русскими буквами.

лица механических единиц технической системы (метр, килограмм-сила, секунда) и абсолютной системы (метр, тонна, секунда).

ОСТ 169 на много лет опередил направление стандартизации в области единиц измерений. Следствием его явилось утверждение в 1933 г. как обязательных общесоюзных стандартов ОСТ ВКС 6052 «Механические единицы» и ОСТ ВКС 6053 «Системы механических единиц», ставивших на первое место абсолютную систему механических единиц MTS.

Однако, несмотря на широкую пропаганду этой системы в учебной литературе, система единиц MTS не нашла практического применения и в 1955 г. при утверждении нового государственного стандарта ГОСТ 7664—55 «Механические единицы» эта система не была включена в новый стандарт, а ОСТ 169 был отменен.

В 1929 г. Комитет по стандартизации утвердил еще два стандарта на единицы измерений, внесенные Главной палатой мер и весов: ОСТ 515 «Международные электрические единицы» и ОСТ 516 «Метрические меры».

Общесоюзный стандарт на международные электрические единицы узаконивал применение в СССР единиц, установленных в 1893 г. Международным электрическим конгрессом в Чикаго, на котором были сформулированы правила, соблюдение которых должно было при тогдашнем состоянии электротехники обеспечить их максимальное приближение к теоретическим величинам. В соответствии с решением электротехнической конференции 1908 г. в Лондоне было установлено, что ом является первой единицей, ампер — второй единицей, а вольт определяется по этим двум первым. Это было связано с порядком действительного воспроизведения этих единиц в лабораторных условиях высших метрологических учреждений с максимально возможной точностью.

Стандарт устанавливал единицы: электрического сопротивления, силы тока, электрического напряжения и электродвижущей силы, электрической мощности, количества электричества, работы электрического тока, электрической емкости, самоиндукции и взаимной индукции.

Для каждой единицы давались: сокращенные международные и русские обозначения, определения и отношения к основной единице.

ОСТ 515 «Международные электрические единицы» фактически действовал до 1948 г. до издания Комитетом по делам мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР «Положения об электрических и магнитных единицах», устанавливавшего с 1 мая 1948 г. переход на практические единицы абсолютной электромагнитной системы.

В 1956 г. в связи с утверждением нового ГОСТ 8033—56 «Электрические и магнитные единицы» ОСТ 515 был отменен.

Утвержденный одновременно со стандартом на международные электрические единицы ОСТ 516 «Метрические меры» устанавливал метрические единицы для измерения массы, длины, поверхно-

сти, объема и вместимости. Стандарт включал наименование единиц, их сокращенные обозначения русские и латинские, определения и отношения к основной единице.

Введение в стандарт различия между мерами объема и вместимости объяснялось тем, что меры объема являются производными от единицы длины — метра, меры же вместимости — производными от другой единицы — литра (объема одного килограмма воды при наибольшей ее плотности и при нормальном атмосферном давлении). Как уже указывалось выше, неточности измерения при осуществлении прототипов длины и массы привели к тому, что между кубическим дециметром и литром получилось расхождение, равное 0,000028 $дм^3$. При сравнительно небольших точностях этой разностью можно пренебречь, при больших точностях ее необходимо учитывать. При измерениях вместимости большей частью удобнее и точнее определять измеряемый объем по массе воды, заполняющей его, чем непосредственным измерением линейных размеров объема.

ОСТ 516 «Метрические меры» был заменен в 1933 г. ОСТ ВКС 5859 с тем же названием. В 1955 г. в связи с выходом нового государственного стандарта ГОСТ 7664—55 «Механические единицы», ОСТ ВКС 5859 на метрические меры был отменен.

## 3. ОБЩЕСОЮЗНЫЕ СТАНДАРТЫ НА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ (1932—1934 гг.)

Развитие науки и техники в Советском Союзе выдвигало требования стандартизации единиц измерений в различных областях измерительной техники.

Постановлением Совета Народных Комиссаров СССР от 11 июля 1931 г. Главная палата мер и весов была реорганизована во Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии и стандартизации (ВИМС) Всесоюзного комитета по стандартизации при Госплане СССР.

В план работы ВИМСа была включена разработка большой группы общесоюзных стандартов Всесоюзного комитета по стандартизации (ОСТ ВКС) на термины, определения, условные обозначения, единицы и константы в различных областях измерительной техники.

В период 1932—1934 гг. ВИМСом был разработан, а Всесоюзным комитетом по стандартизации утвержден ряд метрологических стандартов (ОСТ ВКС 6101 «Образцовые меры и образцовые измерительные приборы», ОСТ ВКС 6954 «Международная температурная шкала», ОСТ ВКС 7655 «Меры длины. Основные термины», ОСТ ВКС 5858 «Масса, вес, плотность» и др.).

В этот же период были завершены разработка и утверждение полного комплекса общесоюзных стандартов на все единицы измерения физических величин, начиная от механических, кончая единицами радиоактивности и рентгеновского излучения.

ОСТ ВКС 6052 «Механические единицы», утвержденный в 1933 г., включал четыре раздела: единицы силы, единицы работы и энергии, единицы мощности и единицы механического напряжения (давления, растяжения, касательного напряжения).

В стандарт вошли не все единицы этих областей, а только основные, в системах метр — тонна — секунда (MTS), сантиметр—грамм—секунда (CGS) и метр—килограмм (сила)—секунда (MKS) * и, кроме того, небольшое число производных, наиболее часто применяющихся единиц.

Для отличия от килограмма массы стандарт вводил новые наименования и обозначения для единицы силы в системе единиц MKS — килограмм (сила) с сокращенным обозначением *кГ*. Одновременно в стандарте вводилась и дольная единица — грамм (сила) с обозначением *Г*.

ОСТ ВКС 6053 «Системы механических единиц», принятый одновременно с предыдущим, вносил полную четкость в вопрос о системах единиц для измерения механических величин.

Стандарт состоял из четырех разделов:

I. Определение. II. Классификация. III. Применение и IV. Единицы измерения систем.

В первом разделе было дано определение системы механических единиц как совокупности единиц измерений механических величин, построенной на трех основных, не зависимых друг от друга единицах, от которых производятся все остальные единицы системы, называемые производными.

В разделе «Классификация» была дана таблица классификации систем по двум признакам: по роду основных единиц и по размерам основных единиц.

По роду основных единиц системы делились на два вида: системы с обозначением LMT, в которых основными единицами были единицы длины $L$, массы $M$ и времени $T$, и системы с обозначением LFT, в которых основными единицами являлись единицы длины $L$, силы $F$ и времени $T$.

По размерам основных единиц классификация предусматривала две системы вида LMT: системы CGS (сантиметр—грамм—секунда) и MTS (метр—тонна—секунда) и для вида LFT—одну систему MKS (метр—килограмм-сила — секунда).

Стандарт в третьем разделе определял области применения систем: системы CGS — главным образом, в научных исследованиях, системы MTS — в научных исследованиях и технике, системы MKS — в технике при ограниченной точности измерения — с погрешностями до 0,2%.

В последнем разделе стандарта приводилась таблица единиц измерения механических величин во всех трех системах. Таблица

* В новых государственных стандартах на единицы (с 1955 г.), в отличие от стандартов 1927—1934 гг., символ МКС применен для сокращенного обозначения другой системы единиц (метр — килограмм — секунда), где килограмм является единицей массы.

включала бо́льшее число величин, чем ОСТ ВКС 6052 «Механические единицы».

ОСТ ВКС 6052 и ОСТ ВКС 6053 на механические единицы и системы механических единиц, вместе с ОСТ 169 на абсолютную систему механических единиц (MTS) действовали до их отмены в 1955 г. в связи с утверждением ГОСТ 7664—55 «Механические единицы».

В 1932 г. был утвержден как рекомендуемый ОСТ 5010 «Единицы давления», который должен был применяться при пользовании измерителями давления.

Манометрические шкалы по стандарту должны были выражаться в гектопьезах или в подразделениях ее, вакуумметрические шкалы — в гектопьезах, подразделениях ее или в миллиметрах ртутного столба, шкалы тягомеров — в миллиметрах водяного столба.

Устанавливая, таким образом, для шкал приборов, измеряющих давление, единицы системы MTS, стандарт временно, до особого распоряжения, разрешал градуировку манометрических и вакуумметрических шкал в килограмм-силах на квадратный сантиметр. Будучи утвержденным раньше чем ОСТ ВКС 6052, этот стандарт вводил сокращенное обозначение для данной единицы давления *кгс/см*$^2$, отличное от того, которое затем было принято общесоюзным стандартом на механические единицы.

Несмотря на попытки перевода градуировки манометров на гектопьезы, стандарт не был практически внедрен, как и вся система единиц MTS.

В 1932 г. Всесоюзный комитет по стандартизации утвердил представленный ВИМС ОСТ 5037 «Единицы частоты». Стандарт впервые узаконивал в СССР единицу частоты — герц. Одновременно в стандарте давались и две распространенные кратные единицы частоты: килогерц и мегагерц.

Утверждению стандарта предшествовала продолжительная дискуссия о наименовании единицы частоты, происходившая как в рамках Международной электротехнической комиссии, так и в научно-технических кругах СССР. До внесения в 1928 г. предложения о присвоении единице частоты наименования герц, для единицы частоты применялся термин «цикл в секунду» или просто «цикл». Хотя в 1930 г. на пленарном заседании Международной электротехнической комиссии в Стокгольме вопрос о принятии наименования герц не был решен (десять стран, в том числе СССР, высказались «за», а восемь стран были против, одна страна воздержалась), в Советском Союзе в 1932 г. наименование герц было установлено стандартом. Распространение наименования герц привело к тому, что на сессии Комитета № 1 Международной электротехнической комиссии в 1933 г. это наименование было принято как международное.

ОСТ 5037 «Единицы частоты» был отменен вместе с рядом дру-

гих в 1955 г. в связи с введением нового стандарта на механические единицы.

В 1934 г. Всесоюзный Комитет по стандартизации утвердил ОСТ ВКС 7132 «Единицы времени». Стандарт установил, что во всех областях науки, техники, промышленности и гражданского обихода должны применяться единицы среднего солнечного времени, носящие название «средних солнечных единиц». В качестве основной единицы среднего солнечного времени принималась секунда, для которой давалось определение, дольные единицы (миллисекунда и микросекунда) и кратные единицы (минута, час, сутки). Отдельным разделом в стандарте давались единицы звездного времени, применяемые в астрономии и в областях, с ней соприкасающихся. Здесь за основную единицу принимались средние звездные сутки и приводились дольные единицы: звездный час, звездная минута и звездная секунда.

ОСТ ВКС 7132 был отменен в 1955 г., так как единицы времени вошли в ГОСТ 7664—55 «Механические единицы».

В 1934 году был утвержден ОСТ ВКС 7242 «Единицы в области акустики». Стандарт устанавливал единицы для звукового давления, плотности звуковой энергии, механического сопротивления, силы звука, разности уровня звуковых мощностей, упругости и гибкости.

В отличие от ранее принятых стандартов на механические единицы и системы механических единиц, в которых за основную принималась система единиц MTS, стандарт устанавливал для акустических единиц только единицы системы CGS; в примечании указывалось, что и для всех других величин в акустике — перемещения, скорости, длины волны, периода колебаний и т. п., применяются соответствующие единицы системы CGS. В качестве единицы частоты этим же примечанием устанавливалось применение единицы герц по ОСТ 5037.

ОСТ ВКС 7242 был отменен в 1958 г. в связи с утверждением ГОСТ 8849—58 «Акустические единицы».

ОСТ ВКС 6259 «Тепловые единицы» был утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации в 1933 г. со сроком введения 1 марта 1934 г.

В отличие от других стандартов на единицы измерений, утвержденных в 1932—1934 гг., данный стандарт, включавший, как и другие стандарты, графы: наименование единиц, сокращенные обозначения русским и латинским шрифтом, определения, имел графу «размерность» (вместо отношения к основной единице или соотношения между единицами). В этой графе наряду с символами $L$, $M$ и $T$ (введенными в ОСТе на системы механических единиц) был введен символ $\Theta$ для размерности температуры.

Стандарт включал семь тепловых величин, для которых приводились единицы измерения: температура, количество теплоты, удельная теплоемкость, теплоемкость, теплопроводность, теплопередача и температуропроводность.

В этом стандарте тепловые единицы относились к системе механических единиц метр — тонна — секунда (MTS), чтобы сохранить единство систем единиц в механике и теплотехнике. В качестве основной единицы количества теплоты устанавливался килоджоуль. Удельная теплоемкость выражалась в килоджоулях на тонну и градус. В стандарт были включены в качестве равноправных и тепловые единицы, основанные на двадцатиградусной килокалории, определенной (с погрешностью до 0,02%) как количество теплоты, необходимое для нагревания массы воды в 1 *кг* от 19,5 до 20,5° С при нормальном атмосферном давлении, и равной 4,182 *кдж*.

В связи с утверждением в 1957 г. ГОСТ 8550—57 «Тепловые единицы» ОСТ ВКС 6259 был отменен.

В 1932—1934 гг. не был разработан стандарт на электрические единицы. Это объяснялось тем, что в числе первых трех ОСТов 1927—1929 гг. был стандарт на международные электрические единицы (ОСТ 515). Однако данный стандарт не включал в себя магнитных единиц. Поэтому в 1933 г. Всесоюзный комитет по стандартизации утвердил ОСТ ВКС 5578 «Абсолютные магнитные единицы электромагнитной системы CGS».

В основу этого стандарта была положена электромагнитная система единиц CGS, в которой магнитная проницаемость рассматривалась как отвлеченное число, равное единице в пустоте.

В стандарте были приведены четыре единицы измерения: магнитного потока, магнитной индукции, магнитодвижущей силы (магнитного напряжения) и напряженности магнитного поля.

Наименования указанных единиц (максвелл, гаусс, гильберт и эрстед) даны в том виде, как они были установлены на Стокгольмском пленуме Международной электротехнической комиссии в 1930 г. В соответствии с этой рекомендацией было произведено разделение единиц напряженности магнитного поля и магнитной индукции, которые до этого времени имели одно наименование — гаусс.

ОСТ ВКС 5578 был отменен в 1956 г. в связи с утверждением государственного стандарта на электрические и магнитные единицы.

В 1932 г. Всесоюзный комитет по стандартизации утвердил представленный ВИМСом ОСТ ВКС 4891 «Световые единицы». В этом стандарте давались единицы измерений для шести световых величин: светового потока, поверхностной плотности светового потока (освещенности и светимости), световой энергии, поверхностной плотности световой энергии, испускаемой или получаемой, силы света и яркости.

В отличие от рекомендаций Международной комиссии по освещению в стандарте на световые единицы за основную единицу была принята не международная свеча, а люмен — единица светового потока. Международная свеча была определена как сила света то-

чечного источника в направлениях равномерного испускания одного люмена внутри телесного угла в один стерадиан.

Что же касается производных единиц, то, хотя за основание для стандартизации других единиц физических величин была принята система MTS, для световых единиц в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по освещению была принята система CGS. Тем не менее, стандарт допускал при измерении освещенности применение единицы «люкс», взятой из другой системы единиц (где метр принят за основную единицу вместо сантиметра).

Для освещения и светимости были даны одни и те же единицы (фот и миллифот). Вместе с тем, стандарт допускал название радфот для единицы светимости.

ОСТ ВКС 4891 на световые единицы был отменен в 1956 г. в связи с утверждением ГОСТ 7932—56 с тем же названием.

Завершением стандартизации в области единиц измерений, проводимой в период 1932—1934 гг., явилось утверждение в 1934 г. Всесоюзным комитетом по стандартизации представленных ВИМСом двух стандартов на единицы измерения ионизирующих излучений.

ОСТ ВКС 7623 «Единицы рентгеновского излучения» охватывал единицы основных величин в области рентгеновских лучей. Сюда вошли следующие величины: физическая доза излучения, энергия излучения, интенсивность излучения и мощность физической дозы, для которых соответственно были установлены единицы: рентген, рентген-кубический сантиметр, рентген-сантиметр в секунду и рентген в секунду. Стандарт был построен в системе единиц CGS. Кроме указанных единиц, для каждой из величин измерения рентгеновского излучения были даны дольные единицы, образованные обычным способом с помощью приставок милли и микро.

Определение наиболее важной в этой области измерений единицы физической дозы — рентгена — было принято Вторым Международным конгрессом по радиологии 1928 г. и было представлено в стандарте в виде справки. Определение же рентгена, данное в стандарте, отступает от этого определения по следующим причинам: 1) международное определение рентгена стремится для этой единицы дать конкретные условия полного превращения энергии рентгеновских лучей в энергию ионизации; однако эти перечисленные в международном определении условия не являются достаточно полными для этой цели; 2) международное определение обусловливает метод измерений, что также нельзя было считать рациональным.

Определение, данное стандартом, устанавливает принципы получения единицы дозы излучения — рентгена, а создание конкретных условий ее осуществления, которые могут изменяться в связи с развитием данной области измерений, поручается высшему метрологическому учреждению — Всесоюзному научно-исследова-

тельскому институту метрологии и стандартизации (ВИМС), который осуществляет на практике эту единицу, что и указано в конце стандарта. Поэтому международное определение рентгена дается стандартом лишь для справок.

В стандарте указывается, что «рентген в секунду» является единицей измерения как мощности физической дозы, так и плотности интенсивности в спектре, так как обе величины имеют одинаковую размерность.

Утвержденный в 1934 году ОСТ ВКС 7159 «Единицы радиоактивности» заменил существовавший с 1932 года ОСТ 5159 «Единицы радия», который, касаясь одного лишь радия, не охватывал всей области радиоактивных излучений.

ОСТ 5159 в качестве единицы радия давал его массу в 1 *мг;* ОСТ 7159 решал этот вопрос иначе: вместо единицы массы он давал единицу активности в виде определенной интенсивности излучения. При этом предполагалось, что радиоактивная масса пропорциональна этой интенсивности.

Стандарт на единицы радиоактивности устанавливал единицы для трех величин: гамма-активности (миллиграмм-эквивалент радия), альфа-активности (урановая единица) и активности радона (кюри). Последняя единица измеряет активность излучения радона, являющегося продуктом распада радия и играет большую роль при измерениях радиоактивности. В запаянном сосуде с радием через некоторое время устанавливается равновесное состояние, когда количество образующегося радона равно количеству распадающегося. Интенсивность излучения радона, находящегося в состоянии радиоактивного равновесия с одним граммом радия, и была принята за единицу его активности.

В 1958 г. в связи с утверждением ГОСТ 8848—58 ««Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности» ОСТ ВКС 7159 и ОСТ ВКС 7623 были отменены.

## 4. РАБОТЫ КОМИССИИ ПО ЕДИНИЦАМ МЕР ПРИ ГРУППЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ ОТН АН СССР (1936—1938 гг.)

В 1934 г. Всесоюзный комитет по стандартизации завершил работу по утверждению стандартов на единицы измерений физических величин. За период с 1932 по 1934 г. было разработано Всесоюзным институтом метрологии и стандартизации и утверждено Комитетом 11 стандартов на единицы измерений в различных областях науки и техники.

Однако, хотя работа по стандартизации единиц и была завершена, очевидны были недочеты в ее выполнении. Важнейшим из них было отсутствие единой системы единиц в различных стандартах. В стандартах на «Механические единицы», «Систему механических единиц», «Единицы давления» и «Тепловые единицы» основанием являлась система единиц MTS. Стандарты же на «Световые единицы», «Единицы в области акустики», «Абсолютные

магнитные единицы», «Единицы рентгеновского излучения» были построены по системе единиц CGS.

В период 1936—1938 гг. работа в СССР по единицам была сосредоточена в комиссии по единицам мер при группе технической физики Отделения технических наук Академии Наук СССР.

Эту комиссию возглавлял известный советский ученый, чл.-корр. АН СССР проф. М. А. Шателен, представлявший в то время Советский Союз в Международном комитете мер и весов. В составе комиссии работали видные советские ученые: физики, метрологи и электрики.

На своих заседаниях комиссия рассмотрела ряд вопросов, начиная от общих («Об основных величинах и системах единиц», «Обсуждение теоретических вопросов систем единиц») до конкретных рекомендаций по единицам измерений («Проект стандарта на механические единицы», «О выборе четвертой единицы в системе МКС», «Об эталоне частоты», «О рационализации электрических единиц» и др.).

Труды комиссии были освещены в выпущенном в 1938 г. Академией наук СССР «Сборнике работ комиссии по единицам мер». В этом сборнике были помещены статьи чл.-корр. АН СССР проф. М. А. Шателена, проф. П. Л. Калантарова, проф. М. Ф. Маликова и др.

На комиссии при рассмотрении вопросов о системах единиц физических величин были обсуждены предложения:

а) Международной электротехнической комиссии о принятии системы, состоящей из четырех единиц — метр, килограмм, секунда, и четвертой основной единицы, которая должна быть выбрана из следующих семи единиц абсолютной практической системы: ампер, вольт, ом, кулон, генри, фарада, вебер,

б) проф. М. Ф. Маликова о принятии системы MTS (метр, тонна, секунда),

в) проф. П. Л. Калантарова о принятии системы типа LTQФ, в которой основными величинами служат длина, время, количество электричества и магнитный поток.

В результате обсуждения этих вопросов комиссией единогласно были приняты следующие предложения:

«1. Принять систему единиц, в которой основными являются единицы длины, массы, времени и магнитной проницаемости.

2. В качестве первых трех единиц принять метр, килограмм, секунду, определяемые установленными методами по своим эталонам.

Четвертую единицу определять как $10^{-7} \cdot 4\pi$ магнитной проницаемости пустоты.

3. Присвоить особое наименование единице магнитной проницаемости, составляющей $10^{-7} \cdot 4\pi$ магнитной проницаемости пустоты».

Комиссия предложила до установления наименования четвертой

единицы обозначать рекомендуемую ею систему единиц символом MKS ($\mu_0$).

Комиссия высказалась за введение системы MKS ($\mu_0$), применяя уравнения электромагнитного поля в рационализированной форме (исключив множитель $4\pi$).

Как указывалось в решении комиссии, предложения, принятые ею в части четвертой единицы, расходятся с предложением Международной электротехнической комиссии, но, расширенно толкуя последнее, можно считать, что выбранная единица магнитной проницаемости (генри/метр или вольт-секунда/метр-ампер) принадлежит к комплексу единиц, из которых было предложено произвести выбор.

Работа комиссии, хотя и не завершилась изданием каких-либо нормативных документов, сыграла важную роль в дальнейшей подготовке Положений об электрических и магнитных единицах и о световых единицах и новых стандартов на единицы измерений физических величин.

## 5. ПОЛОЖЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И МАГНИТНЫХ ЕДИНИЦАХ И О СВЕТОВЫХ ЕДИНИЦАХ 1948 г.

В связи с образованием в сентябре 1938 г. Комитета по делам мер и измерительных приборов при Совете Народных Комиссаров СССР, на который в соответствии с Положением о нем была возложена разработка и утверждение основных метрологических общесоюзных стандартов, в 1939 г. была ликвидирована комиссия по единицам мер АН СССР, а ее работа продолжена образованной в том же году при Комитете Научно-технической комиссией по единицам измерений и мерам.

В период до начала Отечественной войны комиссия рассмотрела ряд вопросов («О международной шкале температур», «Об установлении единиц количества теплоты», «О единицах рентгеновского и гамма-излучений» и др.).

В результате возобновившейся после войны работы комиссии (в качестве органа Научно-технического совета Комитета) Комитетом по делам мер и измерительных приборов было принято «Положение об электрических и магнитных единицах», и «Положение о световых единицах», представленные Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологии им. Д. И. Менделеева и Научно-техническим советом Комитета. Эти положения были утверждены приказом председателя Комитета от 13 апреля 1948 г. и введены в действие с 1 мая 1948 г.

Утверждение нового «Положения об электрических и магнитных единицах» было связано с тем, что в СССР с 1929 г. действовал ОСТ 515, узаконивающий применение в стране международных электрических единиц, а в соответствии с решением Международного комитета мер и весов, состоявшегося в 1946 г., с 1 января

1948 г. должен был быть повсеместно совершен переход от международных к абсолютным практическим электрическим единицам.

Согласно «Положению об электрических и магнитных единицах» устанавливались единицы измерений абсолютной электромагнитной системы MKSM, обязательные к применению на всей территории СССР при электрических и магнитных измерениях.

В разделе «Основные единицы» приводились четыре единицы с их определениями и сокращенными обозначениями: метр, килограмм, секунда и магн, как единица магнитной проницаемости.

Во втором разделе приводились механические единицы системы MKSM (метр в секунду, метр на секунду в квадрате; ньютон, джоуль и ватт) и в третьем разделе — электрические и магнитные единицы системы (ампер, кулон, вольт, ом, фарада, вебер, вебер на квадратный метр, генри, ампер или ампервиток, ампер на метр), с их определениями и сокращенными обозначениями.

В Положении узаконивались следующие соотношения между абсолютными и международными единицами:

| | | |
|---|---|---|
| 1 международный джоуль | = 1,00020 | абсолютного джоуля |
| 1 международный ватт | = 1,00020 | абсолютного ватта |
| 1 международный ампер | = 0,99985 | абсолютного ампера |
| 1 международный кулон | = 0,99985 | абсолютного кулона |
| 1 международный вольт | = 1,00035 | абсолютного вольта |
| 1 международный ом | = 1,00050 | абсолютного ома |
| 1 международная фарада | = 0,99950 | абсолютной фарады |
| 1 международный вебер | = 1,00035 | абсолютного вебера |
| 1 международный генри | = 1,00050 | абсолютного генри |

Эти соотношения были установлены на основании соотношений между средними международными и абсолютными омом и вольтом, принятых Международным комитетом мер и весов в 1946 г. При этом были учтены соотношения между международными омом и вольтом, определяемые Государственными эталонами СССР, и средними международными омом и вольтом, установленные путем международных сравнений электрических эталонов разных стран в 1937 г.

В Положении приводились таблицы соотношений между единицами системы MKSM и CGS$\mu_0$ и правила образования кратных и дольных единиц. Кроме того, указывалось, что во всех случаях, когда необходимо отличить абсолютные единицы от одноименных международных единиц, к их наименованиям должны прибавляться соответственно слова «абсолютный» (в сокращенных обозначениях: абс. или abs.) и «международный» (в сокращенных обозначениях: межд. или int.).

«Положение о световых единицах» в соответствии с международными рекомендациями по этому вопросу вводило новые значения единиц световых величин, отличающихся от старых переводным коэффициентом 1,005 (старая единица = 1,005 новой единицы).

Кроме того, в «Положении о световых единицах» в отличие от ОСТ 4891 на световые единицы за единицу длины был принят метр, а не сантиметр.

## 6. ПОДГОТОВКА НОВЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ СССР НА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Стандарты на единицы измерений, изданные в СССР в 1932—1934 гг., ко времени 50-х годов, устарели; назрела необходимость их усовершенствования и унификации применительно к единой системе единиц. Кроме того, за двадцатилетний период времени международными организациями был принят ряд новых рекомендаций по единицам измерений.

По поручению Комитета по делам мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева в 1953 г. разработал проекты новых государственных стандартов на единицы измерения физических величин, которые были разосланы на отзыв многочисленным научным, учебным и производственным учреждениям и организациям.

В течение 1954—1956 гг. эти проекты и отзывы рассматривались на Ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского института метрологии им. Д. И. Менделеева, в Научно-техническом совете Главной палаты мер и весов и Экспертном совете Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР (после образования его в сентябре 1954 г.).

Подготовка окончательной редакции стандартов на единицы измерений совпала с решением Десятой Генеральной конференции по мерам и весам (октябрь, 1954 г.) о принятии шести основных единиц международной практической системы единиц.

В 1955 г. Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов был утвержден государственный стандарт на механические единицы и стандарт на образование кратных и дольных единиц измерений и сокращенные обозначения единиц измерений. В 1956 г. были приняты государственные стандарты на световые единицы и на электрические и магнитные единицы, а в 1957 г. на тепловые единицы. Утверждением в 1958 г. стандартов на акустические единицы и на единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности было завершено издание новых государственных стандартов на единицы измерений физических величин.

В 1961 г. были пересмотрены стандарты на механические и тепловые единицы, в которых были учтены последние международные рекомендации по единицам, их определениям и эталонам.

В сентябре 1961 г. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов утвердил новый ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц».

*ГЛАВА V*

# ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ СССР НА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

## 1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТАНДАРТОВ НА ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЙ

### Системы единиц измерений

Из двух возможных способов построения стандартов на единицы измерений — стандартизации систем единиц и стандартизации отдельных единиц измерений независимо от систем — в государственных стандартах на единицы принят первый. Этот способ построения стандартов является наиболее прогрессивным, так как дает возможность осуществить единообразие в построении стандартов, выбрать наиболее рациональную систему единиц измерений и осуществить связь различных областей измерений между собой. Построение стандартов по системам единиц имеет большое положительное значение и при преподавании. При этом оказалось целесообразным выделение основной системы единиц (чего не было в общесоюзных стандартах на единицы измерений 1932—1934 гг., где для различных областей измерений рекомендовались разные системы единиц).

Детальное обсуждение вопроса в метрологических и других научных учреждениях привело к выбору Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР в 1955 г. в качестве основной системы единиц для составления новых государственных стандартов на единицы измерений 1955—1958 гг. системы МКС с основными единицами: метр, килограмм, секунда, с добавлением для различных отраслей измерений дополнительной единицы — для тепловых измерений — градуса, для электрических — ампера, для световых — свечи.

Этот способ построения систем единиц явился подготовкой к переходу на Международную систему СИ.

Как указывалось в предыдущих главах этой книги, основные единицы данной системы были приняты в 1954 г. Десятой Генеральной конференцией по мерам и весам и в дальнейшем эта система была принята Международной организацией по стандартизации (ИСО), Международным комитетом мер и весов, Международной организацией законодательной метрологии и другими международными организациями. Окончательное утверждение система СИ получила на Одиннадцатой Генеральной конференции по мерам и весам.

Предложения специалистов (в частности — акустиков, рентгенологов и радиологов) сохранить для измерений в акустике и в области ионизирующих излучений в качестве основной систему СГС, применяемую в настоящее время в этих областях, не были приняты. Было признано необходимым за основную систему во всех стандартах на единицы принять систему МКС.

Одновременно, учитывая, что в ряде областей измерений имеют широкое распространение также и другие системы единиц, было признано возможным сохранить в стандартах и допустить к применению:

а) для механических измерений — системы СГС и МКГСС;

б) для электрических, акустических и измерений ионизирующих излучений — систему СГС.

Кроме того, было принято во внимание наличие широко распространенных в практике внесистемных единиц (в механических измерениях: микрона, ангстрема, тонны, центнера, литра, бара, миллиметра ртутного столба и т. д.; в тепловых измерениях: калории и других тепловых единиц, на ней основанных; в акустических измерениях: децибела, фона и октавы). В связи с этим было признано необходимым сохранить в качестве допускаемых к применению некоторые внесистемные единицы.

В соответствии с этим, все стандарты на единицы измерения, как правило, построены следующим образом. Вначале даны единицы системы МКС (с добавлением в необходимых случаях четвертой основной единицы), далее стандарт дает единицы других допускаемых систем и, наконец, внесистемные единицы.

Внутри каждой системы на первом месте приводятся основные единицы, затем важнейшие производные единицы.

## Определение основных и производных единиц

В отличие от первых советских стандартов на единицы измерений 1932—1934 гг., где для всех единиц измерений давались их определения, действующие в настоящее время государственные единицы построены в этом отношении по другому принципу.

В стандарте (точнее, в приложении к нему), дается определение только основных единиц. Для производных единиц признано целесообразным стандартизовать не словесное определение их, а размер единицы, который, как правило, выражается через основные единицы или через другие производные единицы, размер которых уже определен посредством основных, например, размер единицы скорости в системе МКС дан через основные единицы — длины и времени в следующем виде (1 *м*) : (1 *сек*); размер единицы электрического сопротивления ома дан в виде (1 *в*) : (1 *а*) и т. д.

Установление в стандартах только размеров единиц объясняется тем, что при обсуждении проектов стандартов выявилось большое количество противоречивых мнений по определению производных единиц.

Было признано необходимым стандартизовать именно размер производных единиц, а не терминологию, в отношении которой могут быть различные варианты формулировок. Вопрос же о размере производных единиц, выраженном через другие единицы, преимущественно через основные, никаких замечаний не вызывал.

Определения основных единиц даны в соответствии с существующими международными рекомендациями по данному вопросу, главным образом, по решениям генеральных конференций по мерам и весам.

## Наименования производных единиц

Если в отношении наименования основных единиц никаких сомнений не возникало, так как они были определены соответствующими авторитетными международными решениями, то в отношении наименования производных единиц необходимо было установить определенные, общие для всех стандартов на единицы измерений принципы.

Были приняты следующие положения:

а) Если производная единица имеет принятое в международном масштабе и распространенное наименование, то это наименование включается в стандарт. Например, джоуль в секунду имеет наименование ватт; ампер-секунда — наименование кулон; люмен на квадратный метр — наименование люкс и т. д.

б) В случае, если в наименовании сложной производной единицы встречается произведение одной единицы на другую, эти единицы записываются через дефис и читаются как произведение. Например, единица момента инерции в системе МКС — килограмм-метр в квадрате; единица количества освещения — люкс-секунда и т. п.

в) Если в наименовании производной единицы встречается частное от деления одной единицы на другую, то оно, как правило, записывается через введение предлога «на». Например, единица ускорения — метр на секунду в квадрате; единица напряжения и давления — ньютон на квадратный метр; единица напряженности электрического поля — вольт на квадратный метр; единица плотности звуковой энергии — джоуль на кубический метр и т. д.

г) Исключением из предыдущего правила является случай, когда встречается частное от деления какой-либо единицы на единицу времени, характеризующее протекание явления во времени, где в соответствии с принятым произношением производная единица записывается через предлог «в». Например, единица скорости — метр в секунду; единица мощности дозы рентгеновского излучения — рентген в секунду; единица объемной скорости в акустике — кубический метр в секунду.

Однако, если частное от деления на единицу времени не является характеристикой временного протекания процесса или какая-

либо единица делится на единицу времени в квадрате, то в соответствии с правилом, данным в подпункте *в* применяется предлог «на». Например, единица кинематической вязкости — квадратный метр на секунду, единица углового ускорения — радиан на секунду в квадрате; единица температуропроводности — квадратный метр на секунду.

д) Наименования сравнительно редко встречающихся сложных производных единиц образуются в соответствии с перечисленными выше правилами. Например, единица динамической вязкости — ньютон-секунда на квадратный метр; единица удельной теплоемкости — джоуль на килограмм-градус; единица акустического сопротивления — ньютон-секунда на метр в пятой степени.

## 2. ГОСТ 7663—55 «ОБРАЗОВАНИЕ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ ИЗМЕРЕНИЙ»

Первым новым стандартом на единицы, явившимся вступительным для всех стандартов на единицы измерений, был ГОСТ 7663—55, утвержденный Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов 6 октября 1955 г. по представлению ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и введенный в действие 1 января 1956 г.

Он состоял из двух частей: образование кратных и дольных единиц (пп. 1 и 2 стандарта) и сокращенное обозначение единиц измерений (пп. 3, 4 и 5 стандарта).

### Образование кратных и дольных единиц

В стандарте указывается, что кратные и дольные единицы измерений образуются умножением или делением на степень числа 10. Их наименования получаются прибавлением указанных в табл. 1 приставок к наименованиям основных и производных единиц.

Стандарт указывает, что если наименование основной или производной единицы уже включает в себя приставку (как, например, в наименовании «килограмм»), то кратные и дольные единицы добавляются к простому наименованию (т. е. к грамматической основе наименования), взятому без приставки, например, к наименованию «грамм»: миллиграмм, мегаграмм.

Наряду с наименованием единиц, образованных прибавлением приставок, указанных в таблице могут применяться наименования, особо указываемые в стандартах для соответствующих единиц измерений. Например, мегаграмм называется тонной, а микрометр — микроном.

Присоединение приставок к указанным наименованиям для образования от них кратных или дольных единиц не допускается. Например, не допускаются наименования: килотонна, миллитонна, декамикрон.

Таблица 1

**Образование кратных и дольных единиц по ГОСТ 7663—55**

| Кратность и дольность | Наименование приставок | Сокращенные обозначения | |
|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими (греческими) буквами |
| $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$ | тера | *Т* | T |
| $1\,000\,000\,000 = 10^{9}$ | гига | *Г* | G |
| $1\,000\,000 = 10^{6}$ | мега | *М* | M |
| $1\,000 = 10^{3}$ | кило | *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 |
| $0{,}001 = 10^{-3}$ | милли | *м* | m |
| $0{,}000\,001 = 10^{-6}$ | микро | *мк* | μ |
| $0{,}000\,000\,001 = 10^{-9}$ | нано | *н* | n |
| $0{,}000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$ | пико | *п* | p |

## Сокращенные обозначения единиц измерения

В ГОСТ 7663—55 указывается, что сокращенные обозначения наименований единиц устанавливаются соответствующими стандартами. В печатных изданиях и документах сокращенные обозначения наименований единиц допускаются только после числовых значений величин и пишутся в строку с числами без последующей точки, как знака сокращения.

Стандарт устанавливает, что при пользовании в письме или печати русским алфавитом применяются сокращенные обозначения русскими буквами. Сокращенные обозначения латинскими (греческими) буквами допускаются только в журналах, статьях и книгах научного содержания. В союзных республиках, в которых введен латинский алфавит, могут применяться сокращенные обозначения латинским шрифтом.

В печатных изданиях для сокращенных обозначений единиц русскими буквами применяется наклонный шрифт (курсив), а для сокращенных обозначений единиц латинскими (греческими) буквами — прямой шрифт.

## 3. ГОСТ 9867—61 «МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ»

Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР 18 сентября 1961 г. утвердил новый ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», разработанный ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, со сроком введения 1 января 1963 г.

Стандарт устанавливает применение Международной системы единиц, обозначаемой символом SI (в русском написании СИ), основными единицами которой являются: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча.

Международная система единиц должна применяться как предпочтительная во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также в преподавании.

Сокращенные обозначения основных единиц Международной системы устанавливаются в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единицы измерений | |
|---|---|---|---|
| | | русские | латинские |
| Длина | метр | *м* | m |
| Масса | килограмм | *кг* | kg |
| Время | секунда | *сек* | s |
| Сила электрического тока | ампер | *а* | A |
| Термодинамическая температура | градус Кельвина | °K | °K |
| Сила света | свеча | *св* | cd |

Стандарт устанавливает следующие определения основных единиц Международной системы.

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

**Килограмм** — единица массы — представлен массой международного прототипа килограмма.

**Секунда** — 1/31556925,9747 часть тропического года для 1900 г. января 0 в 12 часов эфемеридного времени.

**Ампер** — сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 *м* один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ единиц силы Международной системы на каждый метр длины.

**Градус Кельвина** — единица измерения температуры по термодинамической температурной шкале, в которой для температуры тройной точки воды установлено значение 273, 16°K (точно).

**Свеча** — единица силы света, значение которой принимается таким, чтобы яркость полного излучателя при температуре затвердевания платины была равна 60 *св* на 1 *см*$^3$.

Для других величин стандартом устанавливаются единицы Международной системы, указанные в табл. 3.

Таблица 3

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские или греческие | |
| **Дополнительные единицы** | | | | |
| Плоский угол | радиан | *рад* | rad | См. стр. 108 |
| Телесный угол | стерадиан | *стер* | sr | |
| **Производные единицы** | | | | |
| Площадь | квадратный метр | $м^2$ | $m^2$ | $(1\ м)^2$ |
| Объем | кубический метр | $м^3$ | $m^3$ | $(1\ м)^3$ |
| Частота | герц | *гц* | Hz | $(1) : (1\ сек)$ |
| Плотность (объемная масса) | килограмм на кубический метр | $кг/м^3$ | $kg/m^3$ | $(1\ кг) : (1\ м)^3$ |
| Скорость | метр в секунду | *м/сек* | m/s | $(1\ м) : (1\ сек)$ |
| Угловая скорость | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | $(1\ рад) : (1\ сек)$ |
| Ускорение | метр на секунду в квадрате | $м/сек^2$ | $m/s^2$ | $(1\ м) : (1\ сек)^2$ |
| Угловое ускорение | радиан на секунду в квадрате | $рад/сек^2$ | $rad/s^2$ | $(1\ рад) : (1\ сек)^2$ |
| Сила | ньютон | *н* | N | $(1\ кг)\cdot(1\ м) : (1\ сек)^2$ |
| Давление (механическое напряжение) | ньютон на квадратный метр | $н/м^2$ | $N/m^2$ | $(1\ н) : (1\ м)^2$ |
| Динамическая вязкость | ньютон-секунда на квадратный метр | $н\cdot сек/м^2$ | $N\cdot s/m^2$ | $(1\ н)\cdot(1\ сек):(1\ м)^2$ |
| Кинематическая вязкость | квадратный метр на секунду | $м^2/сек$ | $m^2/s$ | $(1\ м)^2:(1\ сек)$ |
| Работа, энергия, количество теплоты | джоуль | *дж* | J | $(1\ н)\cdot(1\ м)$ |
| Мощность | ватт | *вт* | W | $(1\ дж):(1\ сек)$ |
| Количество электричества, электрический заряд | кулон | *к* | C | $(1\ а)\cdot(1\ сек)$ |
| Электрическое напряжение, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила | вольт | *в* | V | $(1\ вт):(1\ а)$ |
| Напряженность электрического поля | вольт на метр | *в/м* | V/m | $(1\ в):(1\ м)$ |
| Электрическое сопротивление | ом | *ом* | Ω | $(1\ в):(1\ а)$ |
| Электрическая емкость | фарада | *ф* | F | $(1\ к):(1\ в)$ |

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские или греческие | |
| Поток магнитной индукции | вебер | *вб* | Wb | (1 *к*)·(1 *ом*) |
| Индуктивность | генри | *гн* | H | (1 *вб*):(1 *а*) |
| Магнитная индукция | тесла | *тл* | T | (1 *вб*):(1 *м*)$^2$ |
| Напряженность магнитного поля | ампер на метр | *а/м* | A/m | (1 *а*):(1 *м*) |
| Магнитодвижущая сила | ампер | *а* | A | (1 *а*) |
| Световой поток | люмен | *лм* | lm | (1 *св*)·(1 *стер*) |
| Яркость | свеча на квадратный метр или нит | *св/м*$^2$ или *нт* | cd/m$^2$ или nt | (1 *св*):(1 *м*)$^2$ |
| Освещенность | люкс | *лк* | lx | (1 *лм*):(1 *м*)$^2$ |

Примечания:

1. В таблице указаны лишь важнейшие единицы. Более полные таблицы единиц Международной системы, а также допускаемые к применению единицы других систем и внесистемные единицы устанавливаются государственными стандартами на единицы по отдельным видам измерения.

2. Электрические и магнитные единицы Международной системы устанавливаются для рационализованной формы уравнений электромагнитного поля.

## 4. ГОСТ 7664—61 «МЕХАНИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ»

Государственный стандарт ГОСТ 7664—61, разработанный ВНИИМ им. Д. И. Менделеева и утвержденный Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов, 31 марта 1961 г., издан взамен ГОСТ 7664—55 и введен в действие с 1 июня 1961 г.

Стандарт устанавливает системы единиц, а также внесистемные единицы для измерения механических величин.

Стандартом допускается применение трех систем единиц для измерений механических величин:

а) системы МКС, основными единицами которой являются: метр, килограмм, секунда;

б) системы СГС, основными единицами которой являются: сантиметр, грамм, секунда;

в) системы МКГСС, основными единицами которой являются: метр, килограмм-сила, секунда.

В стандарте указывается, что преимущественно должна применяться система МКС.

Допускается также применение внесистемных единиц, являющихся кратными и дольными основных и производных единиц, об-

разованных согласно ГОСТ 7663—55, а также некоторых других внесистемных единиц, перечень которых дан в стандарте.

В стандарте отсутствует система МТС (метр—тонна—секунда), рекомендованная стандартами на механические единицы 1932 г., как не получившая практического распространения в СССР и в других странах.

В качестве единиц плоского и телесного углов во всех системах единиц устанавливается применение соответственно радиана (сокращенное обозначение: русское *«рад»* и латинское «rad») и стерадиан (сокращенное обозначение: русское *«стер»* и латинское «sr»).

## Механические единицы системы МКС

Система МКС впервые введена в советские стандарты на единицы измерений в 1955 г.

Основные и важнейшие производные единицы системы МКС согласно ГОСТ 7664—61 приведены в табл. 4.

Преимуществами системы МКС, послужившими основанием для принятия ее для предпочтительного применения, а в дальнейшем для построения системы СИ, как уже говорилось, являются:

а) выбор удобных для практических целей размеров основных единиц; б) четкое разграничение единицы массы (килограмм) и единицы силы (ньютон); в широко применяемой для технических измерений системе единиц метр, килограмм-сила, секунда, единица силы по наименованию совпадает с основной единицей массы метрической системы, что часто приводит к путанице; в) хорошая связь единиц данной системы с единицами измерения электрических и тепловых величин (например, единица мощности в системе МКС — ватт при электрических измерениях равен произведению ампера на вольт; количество теплоты в настоящее время принято измерять в джоулях, являющихся единицей измерений как механической работы в системе МКС, так и работы электрического тока); г) из системы МКС, с добавлением той или иной четвертой основной единицы, образуются системы единиц для различных областей измерений.

Определения основных единиц системы МКС даны в приложении к стандарту. Они соответствуют приведенным на стр. 98.

В числе производных механических единиц системы МКС в стандарте представлено только небольшое число важнейших из них.

## Система единиц СГС

В ГОСТ 7664—61 приведена таблица основных и важнейших производных единиц системы СГС (см. табл. 5) для тех же механических величин, что и для системы МКС.

В приложении к стандарту дано определение основных единиц системы СГС (сантиметра — как одной сотой метра; грамма — как одной тысячной килограмма; определение секунды дано общее для всех трех систем механических единиц).

Таблица 4

## Система МКС (метр—килограмм—секунда)

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские | |
| **Основные единицы** | | | | |
| Длина | метр | *м* | m | См. стр. 98 |
| Масса | килограмм | *кг* | kg | |
| Время | секунда | *сек* | s | |
| **Важнейшие производные единицы** | | | | |
| Частота | герц | *гц* | Hz | (1):(1 *сек*) |
| Угловая скорость | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | (1 *рад*):(1 *сек*) |
| Угловое ускорение | радиан на секунду в квадрате | *рад/сек*$^2$ | rad/s$^2$ | (1 *рад*):(1 *сек*)$^2$ |
| Скорость | метр в секунду | *м/сек* | m/s | (1 *м*):(1 *сек*) |
| Ускорение | метр на секунду в квадрате | *м/сек*$^2$ | m/s$^2$ | (1 *м*):(1 *сек*)$^2$ |
| Площадь | квадратный метр | *м*$^2$ | m$^2$ | (1 *м*)$^2$ |
| Объем | кубический метр | *м*$^3$ | m$^3$ | (1 *м*)$^3$ |
| Плотность | килограмм на кубический метр | *кг/м*$^3$ | kg/m$^3$ | (1 *кг*):(1 *м*)$^3$ |
| Сила | ньютон | *н* | N | (1 *кг*)·(1 *м*):(1 *сек*)$^2$ |
| Удельный вес | ньютон на кубический метр | *н/м*$^3$ | N/m$^3$ | (1 *н*):(1 *м*)$^3$ |
| Момент инерции (динамический) | килограмм-метр в квадрате | *кг·м*$^2$ | kg·m$^2$ | (1 *кг*)·(1 *м*)$^2$ |
| Работа и энергия | джоуль | *дж* | J | (1 *н*)·(1 *м*) |
| Мощность | ватт | *вт* | W | (1 *дж*):(1 *сек*) |
| Напряжение (давление) | ньютон на квадратный метр | *н/м*$^2$ | N/m$^2$ | (1 *н*):(1 *м*)$^2$ |
| Динамическая вязкость | ньютон-секунда на квадратный метр | *н·сек/м*$^2$ | N·s/m$^2$ | (1 *н*)·(1 *сек*):(1 *м*)$^2$ |
| Кинематическая вязкость | квадратный метр на секунду | *м*$^2$*/сек* | m$^2$/s | (1 *м*)$^2$:(1 *сек*) |

Таблица 5

## Система СГС (сантиметр—грамм—секунда)

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские | |
| **Основные единицы** | | | | |
| Длина | сантиметр | *см* | cm | См. стр. 101 |
| Масса | грамм | *г* | g | |
| Время | секунда | *сек* | s | |
| **Важнейшие производные единицы** | | | | |
| Частота | герц | *гц* | Hz | (1):(1 *сек*) |
| Угловая скорость | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | (1 *рад*):(1 *сек*) |
| Угловое ускорение | радиан на секунду в квадрате | *рад/сек*$^2$ | rad/s$^2$ | (1 *рад*):(1 *сек*)$^2$ |
| Скорость | сантиметр в секунду | *см/сек* | cm/s | (1 *см*):(1 *сек*) |
| Ускорение | сантиметр на секунду в квадрате | *см/сек*$^2$ | cm/s$^2$ | (1 *см*):(1 *сек*)$^2$ |
| Площадь | квадратный сантиметр | *см*$^2$ | cm$^2$ | (1 *см*)$^2$ |
| Объем | кубический сантиметр | *см*$^3$ | cm$^3$ | (1 *см*)$^3$ |
| Плотность | грамм на кубический сантиметр | *г/см*$^3$ | g/cm$^3$ | (1 *г*):(1 *см*)$^3$ |
| Сила | дина | *дин* | dyn | (1 *г*)·(1 *см*):(1 *сек*)$^2$ |
| Удельный вес | дина на кубический сантиметр | *дин/см*$^3$ | dyn/cm$^3$ | (1 *дин*):(1 *см*)$^3$ |
| Момент инерции (динамический) | грамм-сантиметр в квадрате | *г·см*$^2$ | g·cm$^2$ | (1 *г*)·(1 *см*)$^2$ |
| Работа и энергия | эрг | *эрг* | erg | (1 *дин*)·(1 *см*) |
| Мощность | эрг в секунду | *эрг/сек* | erg/s | (1 *эрг*):(1 *сек*) |
| Напряжение (давление) | дина на квадратный сантиметр | *дин/см*$^2$ | dyn/cm$^2$ | (1 *дин*):(1 *см*)$^2$ |
| Динамическая вязкость | пуаз | *пз* | P | (1 *дин*)·(1 *сек*):(1 *см*)$^2$ |
| Кинематическая вязкость | стокс | *ст* | St | (1 *см*)$^2$:(1 *сек*) |

## Система единиц МКГСС

Эта система с основными единицами: метр, килограмм-сила и секунда до настоящего времени имеет распространение при механических измерениях в технике.

Причиной, способствовавшей широкому применению этой системы, является то, что единица силы — величины, участвующей в большинстве технических расчетов, является основной единицей.

Существенный недостаток заключается в том, что погрешность воспроизведения единицы силы значительно превосходит погрешность воспроизведения массы.

Единицей массы в системе МКГСС будет не килограмм, а единица массы, равная 1 *кгс* · 1 *сек*$^2$/1 *м* или приблизительно 9,8 *кг* (эту единицу называют иногда технической единицей массы, сокращенно т.е.м.). Применение такой единицы, отличающейся и по размеру и по наименованию от распространенных единиц массы, в ряде случаев является неудобным.

Это обстоятельство, а также измерение силы в единицах, совпадающих по наименованию с основной метрической единицей массы, отсутствие согласованности единиц системы МКГСС с тепловыми и электрическими единицами — все это послужило причиной того, что, несмотря на широкое применение этой системы единиц для технических измерений, она не получила рекомендаций в международных метрологических организациях.

ГОСТ 7664—61 допускает пользование системой единиц МКГСС, указывая одновременно, что преимущественно должна применяться система МКС.

В табл. 6 приводятся основные и важнейшие производные единицы системы МКГСС в соответствии с ГОСТ 7664—61 для тех же механических величин, для которых даны единицы систем МКС и СГС.

Стандарт вводит обозначение для единицы силы — *кгс* (русское) или kgf (латинское).

Рассмотрение вопроса о сокращенном обозначении единицы силы в системе МКГСС на третьей сессии Технического комитета №12 Международной организации по стандартизации в 1955 г. показало, что большинство стран имеет обозначения этой единицы или kgf (Франция, Италия, Голландия, Индия, Португалия и др.) или kp — килопонд (Германия, Австрия, Норвегия). Только в двух странах (СССР и Англия) эта единица обозначалась теми же буквами, что и килограмм, но с разным их написанием: для обозначения килограмм-силы в СССР было принято сокращенное обозначение *кГ*, в Англии *Kg* (первая буква большая, вторая — малая).

В соответствии с рекомендацией комитета ИСО/ТК 12 рассмотреть принятие символа kgf для метрической технической единицы силы в качестве международного символа, а также учитывая, что обозначение *кГ* не является соответствующим наименованию единицы килограмм-сила и в ряде случаев неудобно для применения,

Таблица 6

**Система МКГСС (метр—килограмм-сила—секунда)**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские | |
| | **Основные единицы** | | | |
| Длина | метр | *м* | m | См. стр. 108 |
| Сила | килограмм-сила | *кгс** | kgf* | |
| Время | секунда | *сек* | s | |
| | **Важнейшие производные единицы** | | | |
| Частота | герц | *гц* | Hz | (1):(1 *сек*) |
| Угловая скорость | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | (1 *рад*):(1 *сек*) |
| Угловое ускорение | радиан на секунду в квадрате | *рад/сек*$^2$ | rad/s$^2$ | (1 *рад*):(1 *сек*)$^2$ |
| Скорость | метр в секунду | *м/сек* | m/s | (1 *м*):(1 *сек*) |
| Ускорение | метр на секунду в квадрате | *м/сек*$^2$ | m/s$^2$ | (1 *м*):(1 *сек*)$^2$ |
| Площадь | квадратный метр | *м*$^2$ | m$^2$ | (1 *м*)$^2$ |
| Объем | кубический метр | *м*$^3$ | m$^3$ | (1 *м*)$^3$ |
| Масса | килограмм-сила-секунда в квадрате на метр | *кгс·сек*$^2$*/м* | kgf·s$^2$/m | (1 *кгс*)·(1 *сек*)$^2$:(1 *м*) |
| Удельный вес | килограмм-сила на кубический метр | *кгс/м*$^3$ | kgf/m$^3$ | (1 *кгс*):(1 *м*)$^3$ |
| Плотность | килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени | *кгс·сек*$^2$*/м*$^4$ | kgf·s$^2$/m$^4$ | (1 *кгс*)·(1 *сек*)$^2$:(1 *м*)$^4$ |
| Момент инерции (динамический) | килограмм-сила-метр-секунда в квадрате | *кгс·м·сек*$^2$ | kgf·m·s$^2$ | (1 *кгс*)·(1 *м*)·(1 *сек*)$^2$ |
| Работа и энергия | килограмм-сила-метр | *кгс·м* | kgf·m | (1 *кгс*)·(1 *м*) |
| Мощность | килограмм-сила-метр в секунду | *кгс·м/сек* | kgf·m/s | (1 *кгс*)·(1 *м*):(1 *сек*) |
| Напряжение (давление) | килограмм-сила на квадратный метр | *кгс/м*$^2$ | kgf/m$^2$ | (1 *кгс*):(1 *м*)$^2$ |
| Динамическая вязкость | килограмм-сила-секунда на квадратный метр | *кгс·сек/м*$^2$ | kgf·s/m$^2$ | (1 *кгс*)·(1 *сек*):(1 *м*)$^2$ |
| Кинематическая вязкость | квадратный метр в секунду | *м*$^2$*/сек* | m$^2$/s | (1 *м*)$^2$:(1 *сек*) |

* Допускаются сокращенные обозначения килограмм-силы: *кГ*, kG.

Таблица 7

**Внесистемные единицы**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы в единицах системы МКС |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские или греческие | |
| Длина | микрон | *мк* | μ | $1 \cdot 10^{-6}$ *м* |
| » | ангстрем | — | Å | $1 \cdot 10^{-10}$ *м* |
| Масса | тонна | *т* | t | $1 \cdot 10^{3}$ *кг* |
| » | центнер | *ц* | q | $1 \cdot 10^{2}$ *кг* |
| » | карат | — | ct | $2 \cdot 10^{-4}$ *кг* |
| Время | час | *ч* | h | 3600 *сек* |
| » | минута | *мин* | min | 60 *сек* |
| Плоский угол | градус | ° | ° | $\frac{\pi}{180}$ *рад* |
| » » | минута | ′ | ′ | $\frac{\pi}{108} \cdot 10^{-2}$ *рад* |
| » » | секунда | ″ | ″ | $\frac{\pi}{648} \cdot 10^{-3}$ *рад* |
| Площадь | ар | *а* | a | 100 $м^2$ |

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы в единицах системы МКС |
|---|---|---|---|---|
| | | русские | латинские или греческие | |
| Площадь | гектар | *га* | ha | $1 \cdot 10^4$ *м*² |
| Объем | литр | *л* | l | $1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ *м*³ |
| Угол поворота | оборот | *об* | — | $2\pi$ *рад* |
| Угловая скорость | — | *об/мин* | — | $\frac{\pi}{30}$ *рад/сек* |
| » » | — | *об/сек* | — | $2\pi$ *рад/сек* |
| Сила | тонна-сила | *тс* | — | $9{,}80665 \cdot 10^3$ *н* |
| Мощность | лошадиная сила | *л. с.* | — | 735,499 *вт* (75 *кгс·м/сек*) |
| Работа и энергия | ватт-час | *вт·ч* | W·h | $3{,}6 \cdot 10^3$ *дж* |
| Давление | бар | *бар* | bar | $10^5$ *н/м*² |
| » | миллиметр ртутного столба | *мм рт. ст.* | mm Hg | 133,322 *н/м*² |
| » | техническая атмосфера | *ат* или *кгс/см*² | at или kgf/cm² | $9{,}80665 \cdot 10^4$ *н/м*² |
| » | миллиметр водяного столба | *мм вод. ст.* | mm $H_2O$ | 9,80665 *н/м*² |

в ГОСТ 7664—61 введено новое обозначение этой единицы *кгс* с указанием, что допускается и прежнее обозначение *кГ*.

В связи с этим в стандарте введено сокращенное обозначение системы единиц: МКГСС.

В приложении к стандарту дано определение килограмм-силы, как силы, сообщающей массе, равной массе международного прототипа килограмма, ускорение, равное 9,80665 *м/сек*$^2$. Последнее число является значением нормального ускорения силы тяжести, принятым Третьей Генеральной конференцией по мерам и весам.

### Внесистемные механические единицы

В последнем разделе ГОСТ 7664—61 приведены внесистемные единицы для измерения механических величин. При стандартизации механических единиц было признано целесообразным сохранить применение ряда единиц, не входящих ни в одну систему, но имеющих широкое практическое распространение.

В табл. 7 приводятся внесистемные единицы по ГОСТ 7664—61. Размер этих единиц дан в единицах системы МКС.

Сравнительно с ГОСТ 7664—55 в таблицу включены поправки: сокращенные обозначения центнера даны русской буквой *ц* и латинской *q*; уточнено написание сокращенного обозначения миллиметра водяного столба (*мм вод. ст.*, а не *мм* вод. ст.).

В приложении к стандарту, наряду с определением основных единиц систем МКС, СГС и МКГСС, даны определения дополнительных единиц: радиана и стерадиана.

Радиан определен как угол между двумя радиусами круга, вырезающий на окружности дугу, длина которой равна радиусу.

Стерадиан — определяется как телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на поверхности сферы площадь, равную квадрату со стороной, равной радиусу сферы.

## 5. ГОСТ 8550—61 «ТЕПЛОВЫЕ ЕДИНИЦЫ»

Комитет стандартов, мер и измерительных приборов 28 июля 1961 г. утвердил ГОСТ 8550—61 «Тепловые единицы», со сроком введения его 1 июля 1962 г. Стандарт был введен взамен ГОСТ 8550—57.

Для измерения тепловых величин стандартом установлена система единиц, основными единицами которой являются: метр, килограмм, секунда, градус Кельвина (система МКСГ).

Стандартом допускается также применение для измерения тепловых величин внесистемных единиц, основанных на калории.

Образование кратных и дольных единиц должно производиться в соответствии с ГОСТ 7663—55. Единицы мольных величин образуются из перечисленных в табл. 9 и 11 удельных единиц путем

замены в них грамма на моль (*моль*; mol) и килограмма на киломоль (*кмоль*; kmol), где за моль принимается количество вещества, масса которого в граммах равна молекулярному весу.

## Тепловые единицы системы метр — килограмм — секунда — градус

В табл. 8 и 9 ГОСТ 8550—61 приводятся основные и важнейшие производные тепловые единицы системы метр—килограмм—секунда—градус Кельвина.

**Таблица 8**

**Основные единицы системы МКСГ (метр, килограмм, секунда, градус Кельвина)**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерения | | Размер единиц измерения |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Длина | метр | *м* | m | См. ГОСТ 7664—61 |
| Масса | килограмм | *кг* | kg | |
| Время | секунда | *сек* | s | |
| Термодинамическая температура | градус Кельвина | °K | °K | См. стр. 98 |

Примечание. Для выражения практических результатов измерений температуры предусматривается применение единицы температуры международной практической температурной шкалы—градуса Цельсия, обозначаемого «°C».

В соответствии с международными рекомендациями, единицей количества теплоты в системе метр—килограмм—секунда—градус принят джоуль, размер которого установлен ГОСТ 7664—61 «Механические единицы».

Большинство производных тепловых единиц не имеют собственных наименований. Исключение составляют только две единицы, входящие и в ГОСТ 7664—61: джоуль и ватт.

Определение международной практической температурной шкалы дано в приложении к стандарту.

## Температурные шкалы

В настоящее время существуют две температурные шкалы, установленные международными рекомендациями.

Термодинамическая шкала, которая в соответствии с решением Десятой Генеральной конференции по мерам и весам 1954 г. определяется при помощи тройной точки воды в качестве

Таблица 9

**Важнейшие производные тепловые единицы системы МКСГ (метр, килограмм, секунда, градус Кельвина)**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерения | | Размер единиц измерения |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Количество теплоты, термодинамический потенциал (внутренняя энергия, изохорно-изотермный потенциал, энтальпия, изобарно-изотермный потенциал) | джоуль | *дж* | J | См. ГОСТ 7664—61 |
| Удельная теплота (фазового превращения, химической реакции) Удельный термодинамический потенциал | джоуль на килограмм | *дж/кг* | J/kg | (1 *дж*):(1 *кг*) |
| Теплоемкость системы | джоуль на градус | *дж/град* | J/deg | (1 *дж*):(1 *град*) |
| Удельная теплоемкость | джоуль на килограмм-градус | *дж/(кг·град)* | J/(kg·deg) | (1 *дж*):[(1 *кг*)·(1 *град*)] |
| Энтропия системы | джоуль на градус | *дж/град* | J/deg | (1 *дж*):(1 *град*) |
| Удельная энтропия | джоуль на килограмм-градус | *дж/(кг·град)* | J/(kg·deg) | (1 *дж*):[(1 *кг*)·(1 *град*)] |
| Тепловой поток | ватт | *вт* | W | См. ГОСТ 7664—61 |
| Поверхностная плотность теплового потока | ватт на квадратный метр | *вт/м²* | W/m² | (1 *вт*):(1 *м*)² |
| Коэффициент теплообмена (коэффициент теплоотдачи) Коэффициент теплопередачи | ватт на квадратный метр-градус | *вт/(м²·град)* | W/(m²·deg) | (1 *вт*):[(1 *м*)²·(1 *град*)] |
| Коэффициент теплопроводности | ватт на метр-градус | *вт/(м·град)* | W/(m·deg) | (1 *вт*):[(1 *м*)·(1 *град*)] |
| Коэффициент температуропроводности | квадратный метр на секунду | *м²/сек* | m²/s | (1 *м*)²:(1 *сек*) |
| Температурный градиент | градус на метр | *град/м* | deg/m | (1 *град*):(1 *м*) |

основной реперной точки. Этой точке присвоена температура 273,16°К (точно). Нижней границей шкалы служит точка абсолютного нуля температуры. Градус абсолютной термодинамической шкалы обозначается знаком °К, а температура обозначается буквой $T$.

Термодинамическая температура может быть выражена и в градусах Цельсия (термодинамических). В этом случае отсчет ведется от точки, лежащей на 0,0100° ниже тройной точки воды (т. е. точки плавления льда). Значение температуры определяется по формуле $t = (T - 273{,}15)$ °С, где $T$ — температура по абсолютной термодинамической шкале.

Всякий интервал температуры, выраженный °К или °С имеет одно и то же числовое значение.

Международная практическая шкала 1948 г. Как указывалось в третьей главе книги, экспериментальные трудности, присущие измерениям температуры по термодинамической шкале, привели к принятию практической шкалы, которая была названа Международной практической температурной шкалой. Эта шкала должна была быть согласована со стоградусной термодинамической шкалой настолько тесно, насколько это позволял уровень знаний того времени.

Шкала основана на определенном количестве постоянных и экспериментально воспроизводимых температур равновесия (реперные точки), которым присвоены определенные числовые значения (точки: кипения кислорода, тройная точка воды, кипения воды, кипения серы, затвердевания серебра, затвердевания золота).

В международной практической температурной шкале температура обозначается символом $t_{межд}$ и выражается в градусах стоградусной шкалы, обозначаемых °С.

Температура в градусах Международной практической шкалы может быть выражена в значениях с началом отсчета от абсолютного нуля. Температура в этом случае выражается формулой

$$T = (t + 273{,}15)\ °K_{межд},$$

где $t$ — температура по стоградусной международной температурной шкале.

Стандарт предусматривает применение обеих температурных шкал: термодинамической температурной шкалы и Международной практической температурной шкалы. Стандарт допускает выражение температуры по каждой из этих шкал и в градусах Кельвина и в градусах Цельсия в зависимости от начала отсчета (положения нуля) по шкале (см. табл. 10).

Термодинамическая температурная шкала принимается в качестве основной шкалы, к которой может быть отнесено в конечном счете любое измерение температуры. Значение (размер) градуса Кельвина определено решением Десятой Генеральной конференции

Таблица 10

| Термодинамическая температурная шкала | | |
|---|---|---|
| Термодинамическая температура (абсолютная) | → | Термодинамическая температура (в градусах Цельсия) |
| $T$ | | $t = T - T_0$ |
| Обозначение единицы | | Обозначение единицы |
| °К | | °С (терм.) или °С (therm.) |
| градус Кельвина | | термодинамический градус Цельсия |
| **Международная практическая температурная шкала** | | |
| Международная практическая температура | → | Международная практическая температура (абсолютная) |
| или $t_{межд}$ $t_{int}$ | | $T_{межд} = t_{межд} + T_0$ или $T_{int} = t_{int} + T_0$ |
| Обозначение единицы | | Обозначение единицы |
| °С (межд. 1948) или °С (int. 1948) | | °К (межд. 1948) или °К (int. 1948) |
| Международный практический градус Цельсия 1948 | | Международный практический градус Кельвина 1948 |
| $T_0 = 273{,}15$ *град* | | |

Примечания:

1. Стрелки указывают направление перехода от температур согласно основному определению к температурам, полученным изменением начала отсчета (положение нуля) по соответствующе температурной шкале.

2. $T_0$ обозначает температурный промежуток, на который смещается начало отсчета.

3. В обозначении международной практической температуры индекс «межд.» или «int.» может быть опущен, если это не вызовет недоразумений.

по мерам и весам 1954 г., установившим для термодинамической температуры тройной точки воды значение 273,16°К (точно).

Для практических измерений температуры предусматривается применение международной практической температурной шкалы, определяемой в соответствии с положением, принятым Одиннадцатой Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960 г.

Стандартом рекомендуются следующие обозначения разностей температур.

При обозначениях разностей температур, выраженных в градусах Кельвина или в градусах Цельсия (температурных промежутков), должны применяться обозначения «*град*» или «deg». В тех случаях, когда требуется точно указать, к какой температурной шкале относится температурный промежуток, следует обозначать «*град* (терм.)», «deg (therm.)» или «*град* (межд.)», «deg (int.)».

В сокращенных обозначениях единиц измерения должны применяться обозначения *«град»* или «deg».

Числовое значение температуры должно сопровождаться значками «°К» или «°С».

## Внесистемные тепловые единицы, основанные на калории

Отдельный раздел ГОСТ 8550—61 посвящен важнейшим внесистемным единицам, основанным на калории.

Важнейшие внесистемные тепловые единицы приведены в табл. 11.

Калория — первая единица количества теплоты связана с теплоемкостью образцового вещества — воды. До конца XIX века определение калории было неполным, так как не оговаривались ни начальная температура, ни применяемая шкала температур, ни условия нагревания. В практике появилось большое число различных калорий: 0° калория, 15° калория, 20° калория, 25° калория, средняя калория, термохимическая калория, международная калория и т. д.

Первая Мировая конференция по свойствам воды и пара (Лондон, 1929 г.), учитывая наличие в то время различных калорий, обусловливающих различие в паровых таблицах разных авторов, постановила ввести единую для всех стран килокалорию, исходя из понятия международного киловатт-часа. При этом за килокалорию была принята величина, равная 1/860 международного киловатт-часа. Эта единица тепловой энергии получила название международной килокалории.

Определение килокалории, принятое в целях унификации таблиц по свойствам воды и пара, нашло затем широкое применение в самых различных отраслях науки и техники.

На международных конференциях по свойствам водяного пара 1954 и 1956 гг. было принято решение о переходе от килокалории к новой единице тепловой энергии — абсолютному джоулю.

В пересчете на абсолютные единицы 1 международная килокалория равна 4,1868 килоджоуля.

Соответствующее этому соотношение 1 калория=4,1868 джоуля и принято как определение калории в ГОСТ 8550—61.

Следует, однако, отметить что несколько иначе обстоит дело в области термохимических измерений и тесно связанных с ними различных разделов химической термодинамики. В этих областях длительное время применялось соотношение 1 *кал*=4,1840 *дж*, установленное на основании решения Постоянной международной термохимической комиссии, рекомендовавшей в 1934 году соотношение между калорией и международным джоулем в следующем виде:

$$1\ кал\ 15°=4{,}1833\ межд.\ дж.$$

При пересчете на абсолютные единицы это дает соотношение 1 *кал*=4,1841 *абс. дж,* или округленно (с погрешностью до 0,0025%) 1 *кал*=4,1840 *дж.*

Таблица 11

**Важнейшие внесистемные тепловые единицы**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерения | | Размер единиц измерения |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Количество теплоты<br>Термодинамический потенциал | калория*<br>килокалория | *кал*<br>*ккал* | cal<br>kcal | 4,1868 *дж*<br>$4{,}1868 \cdot 10^3$ *дж* |
| Удельная теплота (фазового превращения, химической реакции)<br>Удельный термодинамический потенциал | калория на грамм<br>килокалория на килограмм | *кал/г*<br>*ккал/кг* | cal/g<br>kcal/kg | $4{,}1868 \cdot 10^3$ *дж/кг* |
| Теплоемкость системы | калория на градус<br>килокалория на градус | *кал/град*<br>*ккал/град* | cal/deg<br>kcal/deg | 4,1868 *дж/град*<br>$4{,}1868 \cdot 10^3$ *дж/град* |
| Удельная теплоемкость | калория на грамм-градус<br>килокалория на килограмм-градус | *кал/(г·(град)*<br>*ккал/(кг·град)* | cal/(g·deg)<br>kcal/(kg·deg) | $4{,}1868 \cdot 10^3$ *дж/(кг·град)* |
| Энтропия системы | калория на градус<br>килокалория на градус | *кал/град*<br>*ккал/град* | cal/deg<br>kcal/deg | 4,1868 *дж/град*<br>$4{,}1868 \cdot 10^3$ *дж/град* |
| Удельная энтропия | калория на грамм-градус<br>килокалория на килограмм-градус | *кал/(г·град)*<br>*ккал/(кг·град)* | cal/(g·deg)<br>kcal/(kg·deg) | $4{,}1868 \cdot 10^3$ *дж/(кг·град)* |
| Тепловой поток | калория в секунду<br>килокалория в час | *кал/сек*<br>*ккал/ч* | cal/s<br>kcal/h | 4,1868 *вт*<br>1,1630 *вт* |

*Продолжение*

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерения | | Размер единиц измерения |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Поверхностная плотность теплового потока | калория на квадратный сантиметр-секунду | *кал/(см²·сек)* | cal/(cm²·s) | $4{,}1868 \cdot 10^4$ *вт/м²* |
| | килокалория на квадратный метр-час | *ккал/(м²·ч)* | kcal/(m²·h) | 1,1630 *вт/м²* |
| Коэффициент теплообмена (коэффициент теплоотдачи) | калория на квадратный сантиметр-секунду-градус | *кал/(см²·сек··град)* | cal/(cm²·s·deg) | $4{,}1868 \cdot 10^4$ *вт/(м²·град)* |
| Коэффициент теплопередачи | килокалория на квадратный метр-час-градус | *ккал/(м²·ч·град)* | kcal/(m²·h·deg) | 1,1630 *вт/(м²·град)* |
| Коэффициент теплопроводности | калория на сантиметр-секунду-градус | *кал/(см·сек··град)* | cal/(cm·s·deg) | $4.1868 \cdot 10^2$ *вт/(м·град)* |
| | килокалория на метр-час-градус | *ккал/(м·ч·град)* | kcal/(m·h·deg) | 1,1630 *вт/(м·град)* |
| Коэффициент температуропроводности | квадратный метр на час | *м²/ч* | m²/h | $2{,}7778 \cdot 10^4$ *м²/сек* |

* Определением калории (табл. 11) является соотношение между калорией и джоулем, которое установлено 5-й Международной конференцией по свойствам водяного пара в 1956 г.: 1 *кал* = 4,1868 *дж*.

Применение калории и производных от нее единиц допускается как временная мера. Где возможно, рекомендуется применять тепловые единицы системы МКСГ.

## 6. ГОСТ 8033—56 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ ЕДИНИЦЫ»

Государственный стандарт на электрические и магнитные единицы ГОСТ 8033—56 был утвержден Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов 10 июля 1956 г. со сроком введения 1 января 1957 г.

ГОСТ 8033—56 «Электрические и магнитные единицы» был введен взамен ОСТ 515 «Международные электрические единицы» и ОСТ ВКС 5578 «Абсолютные магнитные единицы электромагнитной системы CGS». С введением стандарта перестало также действовать «Положение об электрических и магнитных единицах», утвержденное Комитетом по делам мер и измерительных приборов 13 апреля 1948 г. Последний документ был фактически введен в действие в части замены международных электрических единиц абсолютными, но установленная им абсолютная электромагнитная система единиц MKSM с четвертой основной единицей м а г н практически не получила распространения.

Проект стандарта был подготовлен Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологии им. Д. И. Менделеева.

### Принципы построения стандарта на электрические и магнитные единицы

Действовавшие до утверждения ГОСТа стандарты устанавливали применение для электрических измерений международных электрических единиц (ОСТ 515) и для магнитных измерений — магнитных единиц абсолютной электромагнитной системы СГС (ОСТ ВКС 5578).

При построении стандарта исходили из необходимости:

а) создать единую систему электрических и магнитных единиц, а не группы единиц, относящихся к разным системам, что имело место на практике до издания нового стандарта;

б) обеспечить переход в соответствии с рекомендациями международных метрологических организаций от международных электрических единиц к абсолютным практическим, т. е. единицам, связанным с единицами длины, массы и времени;

в) предусмотреть в стандарте, наряду с основной системой для практических применений, вторую систему, имеющую широкое распространение в физике, а также некоторые распространенные внесистемные единицы.

В ГОСТ 8033—56 регламентируется применение двух систем единиц:

а) в качестве основной устанавливается абсолютная практическая система единиц МКСА с четырьмя основными единицами: метр, килограмм, секунда и ампер;

б) допускается также применение для электрических и магнитных измерений абсолютной системы СГС, основой которой являются три единицы: сантиметр, грамм и секунда.

## Система МКСА

Преимуществами системы МКСА являются: удобные для практики размеры единиц, единство системы для измерения механических, электрических и магнитных величин, сохранение в ней всех общепринятых практических электромагнитных единиц (ампер, вольт, ом, кулон, фарада, генри, вебер). Система МКСА принята в рекомендациях Международной электрической комиссии и является частью Международной системы единиц СИ.

В табл. 12 даны наименования, сокращенные обозначения и размер единиц в системе МКСА в соответствии с ГОСТ 8033—56 на электрические и магнитные единицы.

Таблица 12

**Электрические и магнитные единицы системы МКСА по ГОСТ 8033—56**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единицы измерений | | Размеры единиц измерений |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими или греческими буквами | |
| **Основные единицы** | | | | |
| Длина | метр | *м* | m | ГОСТ 7664—61 |
| Масса | килограмм | *кг* | kg | ГОСТ 7664—61 |
| Время | секунда | *сек* | s | ГОСТ 7664—61 |
| Сила тока | ампер | *а* | A | См. стр. 98 |
| **Важнейшие производные единицы** | | | | |
| Работа и энергия | джоуль | *дж* | J | ГОСТ 7664—61 |
| Активная мощность | ватт | *вт* | W | ГОСТ 7664—61 |
| Количество электричества (электрический заряд) | кулон или ампер-секунда | *к*<br>*а. сек* | C<br>A. s | (1 *а*)·(1 *сек*) |
| Поток электрического смещения (поток электрической индукции) | кулон | *к* | C | (1 *а*)·(1 *сек*) |
| Электрическое смещение (электрическая индукция) | кулон на квадратный метр | *к/м*$^2$ | C/m$^2$ | (1 *к*):(1 *м*)$^2$ |
| Разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила | вольт | *в* | V | (1 *вт*):(1 *а*) |
| Напряженность электрического поля | вольт на метр | *в/м* | V/m | (1 *в*):(1 *м*) |
| Электрическое сопротивление | ом | *ом* | Ω | (1 *в*):(1 *а*) |
| Электрическая емкость | фарада | *ф* | F | (1 *к*):(1 *в*) |
| Магнитный поток | вебер | *вб* | Wb | (1 *к*)·(1 *ом*) |

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единицы измерений | | Размеры единиц измерений |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими или греческими буквами | |
| Магнитная индукция | вебер на квадратный метр | *вб/м*$^2$ | Wb/m$^2$ | (1 *вб*):(1 *м*)$^2$ |
| Индуктивность и взаимная индуктивность | генри | *гн* | H | (1 *вб*):(1 *а*) |
| Магнитодвижущая сила и разность магнитных потенциалов | ампер или ампервиток | *а*<br>*ав* | A<br>At | (1 *а*) |
| Напряженность магнитного поля | ампер на метр<br>ампервиток на метр | *а/м*<br>*ав/м* | A/m<br>At/m | (1 *а*):(1 *м*) |
| Электрическая проводимость | сименс | *сим* | S | (1 *а*):(1 *в*) |
| Полная мощность | вольт-ампер | *в. а* | VA | (1 *а*)·(1 *в*) |
| Реактивная мощность | вар | *вар* | var | (1 *а*)·(1 *в*) |

Систему единиц МКСА применяют при написании уравнений электромагнитного поля в рационализованной форме. Рационализация уравнений электромагнитного поля исключает множитель $4\pi$ из наиболее важных и часто применяемых уравнений.

В соответствии с этим в ГОСТ 8033—56 система МКСА дана для рационализованной формы уравнений электромагнитного поля. Применительно к этому в стандарте указываются значения для электрической постоянной

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi c^2} \cdot 10^7 \text{ фарады на метр}$$

и магнитной постоянной $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *гн/м*,

где $c$ — численное значение скорости света в пустоте, выраженное в метрах в секунду.

В стандарте в соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии введены другие сокращенные обозначения латинскими буквами единиц магнитодвижущей силы и напряженности магнитного поля по сравнению с применявшимися ранее. Для ампервитка введено сокращенное обозначение At взамен прежнего aW; вместо ампервитка на сантиметр, обозначавшегося aW/cm, введен ампервиток на метр с сокращенным обозначением At/m.

В приложении к стандарту дано определение единицы силы тока ампера согласно решению Девятой Генеральной конференции по мерам и весам, приведенное в разд. 6, гл. III.

## Система СГС для электрических и магнитных измерений

ГОСТ 8033—56 допускает для электрических и магнитных измерений также применение системы СГС, основными единицами которой являются сантиметр, грамм, секунда и в которой электрическая постоянная и магнитная постоянная при нерационализованной форме уравнений электромагнитного поля равны единице, причем эти постоянные рассматриваются как отвлеченные числа. Эта система носит название симметричной системы СГС для электрических и магнитных измерений или системы Гаусса.

Из существующих семи систем единиц СГС для электрических и магнитных измерений в стандарт включена именно система Гаусса, так как она чаще всего применяется в физической литературе.

В этой системе электрическим единицам не присвоено собственных наименований. Для магнитных же единиц в стандарте приводятся принятые в международной практике наименования (максвелл, гаусс, гильберт, эрстед).

В табл. 13 приводятся соотношения между единицами систем СГС и МКСА в соответствии с ГОСТ 8033—56. Эти соотношения даны между единицами системы СГС для нерационализованной формы уравнений электромагнитного поля и единицами системы МКСА для рационализованной формы уравнений электромагнитного поля.

Таблица 13

**Соотношения между единицами систем СГС и МКСА по ГОСТ 8033—56**

| Наименования величин | Единицы измерений в системе СГС | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Соотношения между единицами систем СГС и МКСА |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Сила тока | — | — | — | 1 единица силы тока в системе СГС $=\frac{10}{c}$ *а* |
| Количество электричества (электрический заряд) | — | — | — | 1 единица количества электричества в системе СГС $=\frac{10}{c}$ *к* |
| Поток электрического смещения (поток электрической индукции) | — | — | — | 1 единица потока электрического смещения в системе СГС $=\frac{10}{4\pi \cdot c}$ *к* |
| Электрическое смещение (электрическая индукция) | — | — | — | 1 единица электрического смещения в системе СГС $=\frac{10^5}{4\pi \cdot c}$ *к/м*$^2$ |

| Наименования величин | Единицы измерений в системе СГС | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Соотношение между единицами систем СГС и МКСА |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила | — | — | — | 1 единица разности электрических потенциалов в системе СГС$=c\cdot 10^{-8}$ *в* |
| Напряженность электрического поля | — | — | — | 1 единица напряженности электрического поля в системе СГС$=c\cdot 10^{-6}$ *в/м* |
| Электрическое сопротивление | — | — | — | 1 единица электрического сопротивления в системе СГС$=c^2\cdot 10^{-9}$ *ом* |
| Электрическая емкость | — | — | — | 1 единица электрической емкости в системе СГС$=\frac{1}{c^2}\cdot 10^9$ *ф* |
| Магнитный поток | максвелл | *мкс* | Mx | 1 *мкс*$=10^{-8}$ *вб* |
| Магнитная индукция | гаусс | *гс* | Gs | 1 *гс*$-10^{-4}$ *вб/м*$^2$ |
| Индуктивность и взаимная индуктивность | — | — | — | 1 единица индуктивности в системе СГС$=10^{-9}$ *гн* |
| Магнитодвижущая сила и разность магнитных потенциалов | гильберт | *гб* | Gb | 1 *гб*$=\frac{10}{4\pi}$ *ав* |
| Напряженность магнитного поля | эрстед | *э* | Oe | 1 *э* $=\frac{1}{4\pi}\cdot 10^3$ *ав/м* |

Примечание. В соотношениях между единицами СГС и единицами МКСА $c$ — численное значение скорости света в пустоте, выраженное в сантиметрах в секунду.

Стандартом на электрические и магнитные единицы допускается применение трех внесистемных электрических единиц для измерения энергии, основанных на электронвольте, получивших широкое применение в атомной физике.

В числе этих единиц:

электронвольт (сокращенное обозначение *эв*, eV) равный $1{,}60207\cdot 10^{-19}$ *дж*;

килоэлектронвольт (сокращенное обозначение *кэв*, keV) равный $10^3$ *эв*;

мегаэлектронвольт (сокращенное обозначение *Мэв*, MeV) равный $10^6$ *эв*.

В заключительном пункте стандарта указывается, что во всех случаях, когда необходимо отличить абсолютные единицы, установленные в стандарте, от одноименных действовавших в СССР международных электрических единиц, к их наименованию прибавляется соответственно слово «абсолютный» (в сокращенных обозначениях: абс.; abs.) и «международный» (в сокращенных обозначениях: межд.; int.).

## 7. ГОСТ 8849—58 «АКУСТИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ»

Государственный стандарт на акустические единицы утвержден Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов 28 июля 1958 г. со сроком введения 1 января 1959 г.

ГОСТ 8849—58 «Акустические единицы» введен взамен ОСТ ВКС 7242 «Единицы в области акустики», существовавшего с 1934 г. Прежний стандарт содержал в основном единицы СГС, а также и некоторые внесистемные единицы, например, ватт на квадратный сантиметр. В нем также содержались и единицы чисто механических величин, например, упругости и гибкости.

Новый стандарт отличается следующими особенностями:

а) разграничение единиц по системам единиц;

б) за основную принята система единиц МКС, узаконенная другими стандартами на единицы измерений, с целью унификации единиц во всех областях физико-технических измерений;

в) включение в стандарт широко применяемой в акустике системы СГС;

г) ограничение списка величин, единицы которых включаются в стандарт, наиболее важными и распространенными акустическими величинами.

Особенностью ГОСТа является и то, что привычная единица звукового давления «бар» не рекомендуется этим стандартом. Вместо нее в системе МКС рекомендуется ньютон на квадратный метр, а в системе СГС допускается дина на квадратный сантиметр.

Наименование бар, которое соответствовало давлению, производимому силой в одну дину на площадь в один квадратный сантиметр, исключено, так как для бара, как единицы давления по международным рекомендациям, установлен размер $10^6$ *дин/см*$^2$.

В табл. 14 приведены акустические единицы системы МКС, их сокращенные обозначения и размер в соответствии с ГОСТ 8849—58.

В табл. 15 приведены акустические единицы системы СГС в соответствии с ГОСТом. В стандарте не рекомендуются наименования для единиц механического и акустического сопротивлений «механический ом» и «акустический ом», бывшие в старом стандар-

Таблица 14

**Акустические единицы системы МКС по ГОСТ 8849—58**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Звуковое давление | ньютон на квадратный метр | *н/м²* | $N/m^2$ | (1 *н*) : (1 *м*)² |
| Объемная скорость | кубический метр в секунду | *м³/сек* | $m^3/s$ | (1 *м*)³ : (1 *сек*) |
| Акустическое сопротивление | ньютон-секунда на метр в пятой степени | *н.сек/м⁵* | $N \cdot s/m^5$ | (1 *н/м²*) : : (1 *м³/сек*) |
| Механическое сопротивление | ньютон-секунда на метр | *н.сек/м* | $N \cdot s/m$ | (1 *н*) : (1 *м/сек*) |
| Интенсивность звука | ватт на квадратный метр | *вт/м²* | $W/m^2$ | (1 *вт*) : (1 *м*)² |
| Плотность звуковой энергии | джоуль на кубический метр | *дж/м³* | $J/m^3$ | (1 *дж*) : (1 *м*)³ |

Таблица 15

**Акустические единицы системы СГС по ГОСТ 8849—58**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Соотношение между единицами системы СГС и единицами системы МКС |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Звуковое давление | дина на квадратный сантиметр | *дин/см²* | $dyn/cm^2$ | 1 *дин/см²* = = $10^{-1}$ *н/м²* |
| Объемная скорость | кубический сантиметр в секунду | *см³/сек* | $cm^3/s$ | 1 *см³/сек* = =$10^{-6}$ *м³/сек* |
| Акустическое сопротивление | дина-секунда на сантиметр в пятой степени* | *дин.сек/см⁵* | $dyn \cdot s/cm^5$ | 1 *дин. сек/см⁵* = = $10^5$ *н. сек/м⁵* |
| Механическое сопротивление | дина-секунда на сантиметр** | *дин.сек/см* | $dyn \cdot s/cm$ | 1 *дин. сек/см* = = $10^{-3}$ *н. сек/м* |
| Интенсивность звука | эрг в секунду на квадратный сантиметр | *эрг/сек. см²* | $erg/s \cdot cm^2$ | 1 *эрг/сек. см²* = =$10^{-3}$ *вт/м²* |
| Плотность звуковой энергии | эрг на кубический сантиметр | *эрг/см³* | $erg/cm^3$ | 1 *эрг/см³* = = $10^{-1}$ *дж/м³* |

* Иногда называется акустический *ом*.
** Иногда называется механический *ом*.

Таблица 16

**Внесистемные акустические единицы по ГОСТ 8849—58**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Определение единицы измерения |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Уровень звукового давления | децибел | *дб* | dB | Уровень звукового давления, двадцать десятичных логарифмов отношения которого к условному порогу давления равному 0,00002 *н/м*², принимаемому за нулевой уровень, равно единице |
| Уровень громкости | фон | — | — | Уровень громкости звука, для которого уровень звукового давления равногромкого с ним звука частоты 1000 *гц* равен 1 *дб* |
| Частотный интервал | октава | — | — | Частотный интервал между двумя частотами, логарифм отношения которых при основании два равен единице |

те, так как эти наименования признаны неудачными, имеющими по отношению к электрической единице сопротивления «ом» чисто внешнюю аналогию. Эти наименования даны в стандарте лишь как пояснение для справок, в виде соответствующих сносок.

Размер акустических единиц системы СГС дан в соотношениях к единицам МКС, что еще раз подчеркивает то, что последняя система является основной.

В табл. 16 приведены внесистемные акустические единицы, включенные в стандарт. Громкость и ее единица «сон» не включены в ГОСТ, так как в настоящее время нет общепризнанного способа определения этой единицы, пригодной для всех случаев, особенно для сложных и нестационарных шумов.

## 8. ГОСТ 7932—56 «СВЕТОВЫЕ ЕДИНИЦЫ»

Государственный стандарт на световые единицы был утвержден Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов 13 апреля 1956 г. со сроком введения 1 июля 1956 г.

Стандарт издан взамен ОСТ 4891 1932 г. С момента вступления в силу стандарта отменено также «Положение о световых единицах», введенное Комитетом по делам мер и измерительных

приборов с 1 мая 1948 г. в связи с установлением нового государственного светового эталона в виде полного излучателя и перехода на новое значение световых единиц, отличающихся на 0,5% от прежних.

Особенностями нового стандарта на световые единицы являются:

а) построение всего стандарта в одной системе единиц, где за основную единицу длины принят метр. Как известно, стандарт 1932 г. опирался на единицу длины сантиметр, а в Положении 1948 г. вводились как единицы, основанные на метре (люкс, радстильб), так и на сантиметре (фот, радфот, стильб);

б) установление свечи в качестве основной фотометрической единицы.

В стандарте 1932 г. и в «Положении о световых единицах» 1948 г. за основную единицу при световых измерениях принимался люмен — единица светового потока. Это обусловливалось рядом причин, среди которых важнейшей была та, что в этом случае система световых единиц строилась подобно системе энергетических единиц для измерения лучистой энергии.

Так как решениями Девятой и Десятой Генеральных конференций по мерам и весам за основную единицу для световых измерений была принята свеча, то эта единица вошла в состав шести основных единиц Международной системы единиц. Поэтому было признано целесообразным принять в стандарте свечу, как основную единицу для построения всей системы световых единиц.

В табл. 17 приведены световые единицы в соответствии с ГОСТ 7932—56. В стандарте указано, что переход от одного спектрального состава света к другому спектральному составу должен производиться на основании установленных значений относительной видности.

В приложении к стандарту дано определение свечи, принятое Девятой Генеральной конференцией по мерам и весам в 1948 г., приведенное в разд. 8, гл. III.

Единица светового потока — люмен дана в стандарте как производная от свечи. Люмен равен световому потоку, испускаемому внутри телесного угла в один стерадиан точечным источником света силой в одну свечу в направлениях внутри этого угла.

Единица светности люмен на квадратный метр не имеет собственного наименования. Ранее действовавший стандарт вводил единицу светности радфот, но в настоящий стандарт она не включена, так как нарушает стройность построения системы (будучи единицей системы СГС).

Для яркости установлена единица нит. Это наименование единицы яркости было принято Международной комиссией по освещению (МОК) в 1951 г. Следует заметить, что в рекомендациях МОК 1955 г. наименование «нит» не применяется, а единица яркости выражается как свеча на квадратный метр.

Таблица 17

**Световые единицы по ГОСТ 7932—56**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Сила света | свеча | *св* | cd | См. стр. 98 |
| Световой поток | люмен | *лм* | lm | (1 *св*) · (1 *стер*) |
| Световая энергия | люмен-секунда | *лм.сек* | lm·s | (1 *лм*) · (1 *сек*) |
| Светность | люмен на квадратный метр | *лм/м*$^2$ | lm/m$^2$ | (1 *лм*) : (1 *м*)$^2$ |
| Освечивание | свеча-секунда | *св.сек* | cd·s | (1 *св*) · (1 *сек*) |
| Яркость | нит | *нт* | nt | (*к* · 1 *св*) : (*к* · 1 *м*)$^2$, где *к* — произвольный предельно малый числовой множитель |
| Освещенность | люкс | *лк* | lx | (1 *лм*) : (1 *м*)$^2$ |
| Количество освещения | люкс-секунда | *лк·сек* | lx·s | (1 *лк*) · (1 *сек*) |

Размер единицы нит дан в стандарте в следующем виде — $(к \cdot 1\ св) : (к \cdot 1\ м)^2$, где $к$ — произвольный предельно малый числовой множитель. Это сделано для того, чтобы приписать силу света предельно малой площади поверхности, выраженной в квадратных метрах, а не площади в 1 $м^2$, так как понятие о силе света строго приложимо только к источнику света бесконечно малых размеров.

В приложении к стандарту на световые единицы указывается, что при переводе ранее применявшихся световых единиц по ОСТ 4891 в световые единицы, установленные настоящим стандартом, должны применяться следующие соотношения:

1 свеча (международная) = 1,005 свечи (новой)

1 люмен (прежний) = 1,005 люмена (нового)

1 радлюкс (прежний) = 1,005 единицы светности (новой)

1 децимиллистильб (прежний) = 1,005 нит

1 люкс (прежний) = 1,005 люкса (нового)

Слова «прежний», «международный» и «новый» прибавляются к наименованиям световых единиц только в тех случаях, когда надо отличить единицы, установленные ГОСТ 7932—56, от прежних единиц по ОСТ 4891.

## 9. ГОСТ 8848—58 «ЕДИНИЦЫ РЕНТГЕНОВСКОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЙ И РАДИОАКТИВНОСТИ»

Государственный стандарт на единицы измерений в области рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности был утвержден Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов 28 июля 1958 г. со сроком введения 1 января 1959 г.

В связи с этим были отменены действовавшие с 1934 г. ОСТ ВКС 7159 «Единицы радиоактивности» и ОСТ ВКС 7623 «Единицы рентгеновского излучения».

При пересмотре стандарта ставилась задача создания единых рекомендаций по единицам ионизирующих излучений с учетом всех тех изменений, которые имели место в рентгенометрии и радиометрии в связи с успехами атомной физики за последнее время, а также приведения стандарта на единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности в соответствие с международными рекомендациями и с другими государственными стандартами на единицы измерений.

Подобно стандартам на ряд других единиц физических величин (электрических, акустических) стандарт предусматривает возможность пользования двумя системами единиц — МКС и СГС. В связи с этим единицы интенсивности излучения и определения единиц дозы рентгеновского и гамма-излучений и поглощенной дозы излучения (рентгена и рада) даны в обеих системах единиц.

На первом месте даны единицы и определения в системе МКС, которая является предпочтительной; единицы и определения в системе СГС приведены в связи с тем, что в атомной физике применяется преимущественно эта система.

В табл. 18 приведены единицы для измерений в области рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности в соответствии с ГОСТ 8848—58. В стандарте даны единицы, наиболее часто применяемые в современной дозиметрии ионизирующих излучений.

Весьма существенным в дозиметрии ионизирующих излучений является определение понятия дозы рентгеновского и гамма-излучений.

В ОСТ ВКС 7623 «Единицы рентгеновского излучения» 1934 г. под дозой понималась поглощенная энергия рентгеновских лучей, отнесенная к единице объема облучаемой среды.

Как это указывается в примечании 1 к таблице единиц, под дозой понимается мера излучения, основанная на его ионизирующей способности. Это соответствует пониманию дозы по последним (1956 г.) рекомендациям Международной комиссии по радиологическим единицам (МКРЕ), согласно которым доза облучения или экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучений в некотором месте радиационного поля трактуется как некоторая мера излучения, основанная на способности излучения производить ионизацию.

Таблица 18

**Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности по ГОСТ 8848—58**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенные обозначения единиц измерений | | Размер единицы измерения |
|---|---|---|---|---|
| | | русскими буквами | латинскими буквами | |
| Доза рентгеновского и гамма-излучений | рентген | *р* | r | См. стр. 128 |
| Мощность дозы | рентген в секунду | *р/сек* | r/s | (1 *р*) : (1 *сек*) |
| Поглощенная доза излучения | рад | — | rad | См. стр. 129 |
| Активность радиоактивного изотопа | кюри | — | c | То же |
| Радиевый гамма-эквивалент препарата | миллиграмм-эквивалент радия | *мг.экв радия* | mg.eq Ra | » » |
| Интенсивность излучения | ватт на квадратный метр | *вт/м²* | $W/m^2$ | (1 *вт*) : (1 *м²*) |
| То же | эрг в секунду на квадратный сантиметр | *эрг/сек·см²* | $erg/s \cdot cm^2$ | (1 *эрг*) : [(1*сек*) · (1 *см²*)] |

Примечания:

1. Доза рентгеновского или гамма-излучения является мерой излучения, основанной на его ионизирующей способности.

2. Применение рентгена в качестве единицы дозы допускается для измерения излучений с энергией квантов до 3 *Мэв*.

3. Под поглощенной дозой излучения понимается энергия ионизирующего излучения, поглощенная единицей массы облучаемого вещества.

Следовательно по ГОСТ 8848—58 доза должна применяться для характеристики радиационных полей рентгеновского или гамма-излучения и должна измеряться в рентгенах.

Так как при высоких энергиях трудно осуществить условия для измерения доз в рентгенах, в соответствии с примечанием 2 к таблице, применение рентгена в качестве единицы дозы допускается для измерения излучений с энергией квантов до 3 *Мэв*.

В стандарте в соответствии с международными рекомендациями введен новый термин «поглощенная доза излучения», под которым понимается энергия ионизирующего излучения, поглощенная единицей массы облучаемого вещества (см. примечание 3 к табл. 18). Поглощенная доза определяется как полем излучения, так и составом облучаемого объекта. Новый термин «поглощенная доза» соответствует старому понятию дозы по прежнему стандарту на

рентгеновские единицы. Единицей поглощенной дозы в соответствии с рекомендациями международных радиологических организаций принят рад.

В отличие от рекомендации Международной комиссии по радиологическим единицам 1956 г., где значение радиоактивности выражается в кюри — единицах количества радиоактивного вещества, оцениваемых по его активности, в стандарте устанавливается значение активности радиоактивного изотопа, измеряемой в кюри. Кюри является единицей активности радиоактивных изотопов, определяемой числом ядер, распадающихся в 1 *сек.*

Учитывая применение в качестве гамма-излучателей ряда радиоактивных препаратов, которые оцениваются по гамма-излучению радия, в стандарт введена величина «радиевый гамма-эквивалент препарата», единицей которой установлен миллиграмм-эквивалент радия.

В приложении к стандарту даны определения единиц рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности.

В табл. 19 приведены эти определения в соответствии с приложением к ГОСТ 8848—58. Как указывалось выше, эти определения представлены в двух системах единиц.

При подготовке государственного стандарта вопрос об определении рентгена вызвал значительную дискуссию, во время которой обсуждались различные возможные определения основной единицы рентгеновского и гамма-излучений. Рассматривались определения

Таблица 19

**Определения единиц рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности в соответствии с приложением ГОСТ 8848—58**

| Единица измерения | Определение единиц на основе систем | |
|---|---|---|
| | МКС | СГС |
| Рентген | Доза рентгеновского и гамма-излучений в воздухе, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия на $1{,}293 \cdot 10^{-6}$ килограмма воздуха производит в воздухе ионы, несущие заряд, равный $\frac{1}{10 \cdot c}$ кулона каждого знака, где $c$ — численное значение скорости света в пустоте в метрах в секунду.<br>Примечание. Число $1{,}293 \cdot 10^{-6}$ представляет значение массы в килограммах 0,000001 кубического метра атмосферного воздуха, при температуре 0°С и давлении 101325 ньютонов на квадратный метр. | Доза рентгеновского и гамма-излучений в воздухе, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия на 0,001293 грамма воздуха производит в воздухе ионы, несущие заряд в одну электростатическую единицу количества электричества каждого знака.<br>Примечание. Число 0,001293 представляет значение массы в граммах одного кубического сантиметра атмосферного воздуха, при температуре 0 °С и давлении 760 *мм рт. ст.* |

| Единица измерения | Определение единиц на основе систем | |
|---|---|---|
| | МКС | СГС |
| Рад | Поглощенная доза излучения, равная 0,01 джоуля на килограмм облученного вещества | Поглощенная доза излучения, равная 100 эргам на грамм облученного вещества |
| Кюри | Активность препарата данного изотопа, в котором в одну секунду происходит $3{,}700 \cdot 10^{10}$ актов распада.<br>Примечание. Международная комиссия по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ) в 1956 г. определила кюри следующим образом: единица количества радиоактивного вещества, оцениваемого согласно его радиоактивности, есть кюри. Одно кюри — это количество радиоактивного нуклида, в котором число распадов в секунду равно $3{,}700 \cdot 10^{10}$. | |
| Миллиграмм-эквивалент радия | Гамма-эквивалент радиоактивного препарата, гамма-излучение которого при данной фильтрации, при тождественных условиях измерения, создает такую же мощность дозы, что и гамма-излучение одного миллиграмма радия государственного эталона радия СССР при платиновом фильтре толщиной 0,5 *мм*. | |

рентгена как единицы энергии, падающей на 1 $см^2$, как единицы энергии, поглощенной в 1 *г* любого вещества и т. д.

В результате обсуждений и учета международных рекомендаций по этому вопросу было принято определение рентгена, данное в табл. 19.

Определение единицы поглощенной дозы — рада — дано также в соответствии с международными рекомендациями.

Что же касается определения единицы радиоактивности — кюри, то по этому вопросу, как указывалось, стандарт отошел от рекомендаций Международной комиссии по радиологическим единицам 1956 г. В примечании к определению кюри для справок дано его определение согласно решению Международной комиссии по радиологическим единицам.

---

Внедрение нового прогрессивного стандарта на международную систему единиц, устанавливающего столь необходимую унификацию в единицах измерения, является важнейшей задачей, стоящей перед работниками промышленности, измерительной техники, издательств и преподавателями.

Комитет стандартов, мер и измерительных приборов разработал

мероприятия по внедрению системы СИ в государственных стандартах, других нормативных документах и в измерительной технике.

Внедрение нового стандарта вызовет наибольшие трудности при применении новой системы единиц в механических и теплоэнергетических измерениях, так как в них необходимо перейти от распространенной единицы силы килограмм-силы к ньютону, исключить термин «вес», там, где имеется в виду масса тел, заменить единицу давления — атмосферу на ньютон на квадратный метр или кратную единицу давления — бар$=10^5$ *н/м*$^2$ (с точностью до 2% равную технической атмосфере), перейти от калории к джоулю как единой единице измерения энергии.

Применение новой системы единиц в электротехнике и радиотехнике никаких трудностей не представит, так как ее единицы для измерения электрических величин соответствуют применяемым сейчас на практике.

Министром просвещения РСФСР издан приказ, устанавливающий мероприятия по внедрению Международной системы единиц в средней школе, где она полностью будет изучаться в 9, 10 и 11 классах. Предусмотрены соответствующие изменения в программах и учебниках по физике для средней школы.

Приказом Министра высшего и среднего специального образования СССР во всех высших учебных заведениях вводится факультативный курс по Международной системе единиц. Эту систему единиц предложено внедрить при преподавании всех специальных дисциплин в высшей школе. Соответствующие изменения должны быть внесены в учебники и учебные пособия.

Ряд мероприятий по внедрению Международной системы единиц в техническую литературу проводит Объединение государственных научно-технических издательств (ОНТИЗ). Все подготовляемые к печати издания должны применять систему СИ.

Ближайшими задачами научно-исследовательских работ в области единиц измерений и эталонов, служащих для их воспроизведения, являются:

а) развитие метрологических работ по созданию эталонов единиц физических величин, основанных на атомных постоянных (секунды — с помощью молекулярных и атомных эталонов частоты, электрических и магнитных единиц — на основе гиромагнитного отношения протона и т. д.);

б) расширение международной практической шкалы температур как в область высоких, так и сверхнизких температур;

в) создание эталонов для нейтронных потоков.

Эти задачи в настоящее время занимают важное место в развитии отечественных и международных работ по метрологии.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## ТАБЛИЦЫ ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ПЕРЕВОДНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **Механические** | **единицы** | | | |
| Длина | СИ | $L$ | метр | *м* | m | Основная единица (определение см. стр. 98) | |
| | СГС | » | сантиметр | *см* | cm | | 1 *см* = 1.10⁻² *м* |
| | МКГСС | » | метр | *м* | m | | |
| | Внесистемные единицы | | микрон | *мк* | μ | | 1 *мк* = 1.10⁻⁶ *м* |
| | | | ангстрем | — | Å | | 1 Å = 1.10⁻¹⁰ *м* |
| Масса | СИ | $M$ | килограмм | *кг* | kg | Основная единица (определение см. стр. 98) | |
| | СГС | » | грамм | *г* | g | | 1 *г* = 1.10⁻³ *кг* |
| | МКГСС | $L^{-1}FT^2$ | килограмм-сила-секунда в квадрате на метр | *кгс·сек²/м* | kgf·s²/m | (1 *кгс*)·(1 *сек*)² : (1*м*) | 1 *кгс.сек²/м* = 9,80665 *кг* |
| | Внесистемные единицы | | центнер | *ц* | q | | 1 *ц* = 1.10² *кг* |
| | | | карат | — | ct | | 1 ct = 2.10⁻⁴*кг* |
| Время | СИ | $T$ | секунда | *сек* | s | Основная единица (определение см. стр. 98) | |
| | СГС | » | секунда | *сек* | s | | |
| | МКГСС | » | секунда | *сек* | s | | |
| | Внесистемные единицы | | час | *ч* | h | | 1 *ч* = 36.10² *сек* |
| | | | минута | *мин* | min | | 1 *мин* = 6.10 *сек* |
| Плоский угол | СИ | 1 | радиан | *рад* | rad | Дополнительная единица (определение см. стр. 108) | |
| | СГС | » | радиан | *рад* | rad | | |
| | МКГСС | » | радиан | *рад* | rad | | |
| | Внесистемные единицы | | градус | ° | ° | | $1° = \frac{\pi}{180}$ *рад* |
| | | | минута | ′ | ′ | | $1' = \frac{\pi}{108} \cdot 10^{-2}$ *рад* |
| | | | секунда | ″ | ″ | | $1'' = \frac{\pi}{648} \cdot 10^{-3}$ *рад* |
| | | | прямой угол | — | D | | $D = \frac{\pi}{2}$ *рад* |
| Телесный угол | СИ | 1 | стерадиан | *стер* | sr | См. стр. 108 | |
| | СГС | » | стерадиан | *стер* | sr | | |
| | МКГСС | » | стерадиан | *стер* | sr | | |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Частота** | СИ | $T^{-1}$ | герц | *гц* | Hz | (1) : (1 *сек*) | |
| | СГС | » | герц | *гц* | Hz | | |
| **Угловая скорость** | СИ | $T^{-1}$ | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | (1 *рад*) : (1 *сек*) | |
| | СГС | » | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | | |
| | МКГСС | » | радиан в секунду | *рад/сек* | rad/s | | |
| | Внесистемные единицы | | оборот в минуту | *об/мин* | — | | 1 *об/мин* = $\frac{\pi}{30}$ *рад/сек* |
| | | | оборот в секунду | *об/сек* | — | | 1 *об/сек* = $2\pi$ *рад/сек* |
| **Угловое ускорение** | СИ | $T^{-2}$ | радиан на секунду в квадрате | *рад/сек*$^2$ | rad/s$^2$ | (1 *рад*) : (1 *сек*)$^2$ | |
| | СГС | » | радиан на секунду в квадрате | *рад/сек*$^2$ | rad/s$^2$ | | |
| | МКГСС | » | радиан на секунду в квадрате | *рад/сек*$^2$ | rad/s$^2$ | | |
| **Скорость** | СИ | $LT^{-1}$ | метр в секунду | *м/сек* | m/s | (1 *м*) : (1 *сек*) | |
| | СГС | » | сантиметр в секунду | *см/сек* | cm/s | (1 *см*) : (1 *сек*) | 1 *см/сек* = $1.10^{-2}$ *м/сек* |
| | МКГСС | » | метр в секунду | *м/сек* | m/s | | |
| **Ускорение** | СИ | $LT^{-2}$ | метр на секунду в квадрате | *м/сек*$^2$ | m/s$^2$ | (1 *м*) : (1 *сек*)$^2$ | |
| | СГС | » | сантиметр на секунду в квадрате | *см/сек*$^2$ | cm/s$^2$ | (1 *см*) : (1 *сек*)$^2$ | 1 *см/сек*$^2$ = $1.10^{-2}$ *м/сек*$^2$ |
| | МКГСС | » | метр на секунду в квадрате | *м/сек*$^2$ | m/s$^2$ | | |
| **Площадь** | СИ | $L^2$ | квадратный метр | *м*$^2$ | m$^2$ | (1 *м*)$^2$ | |
| | СГС | » | квадратный сантиметр | *см*$^2$ | cm$^2$ | (1 *см*)$^2$ | 1 *см*$^2$ = $1.10^{-4}$ *м*$^2$ |
| | МКГСС | » | квадратный метр | *м*$^2$ | m$^2$ | | |
| | Внесистемные единицы | | ар | *а* | a | | 1 *а* = $1.10^2$ *м*$^2$ |
| | | | гектар | *га* | ha | | 1 *га* = $1.10^4$ *м*$^2$ |
| **Объем** | СИ | $L^3$ | кубический метр | *м*$^3$ | m$^3$ | (1 *м*)$^3$ | |
| | СГС | » | кубический сантиметр | *см*$^3$ | cm$^3$ | (1 *см*)$^3$ | 1 *см*$^3$ = $1 . 10^{-6}$ *м*$^3$ |
| | МКГСС | » | кубический метр | *м*$^3$ | m$^3$ | | |
| | Внесистемные единицы | | литр | *л* | l | | 1 *л* = $1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ *м*$^3$ |

*Продолжение*

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Плотность (объемная масса) | СИ | $L^{-3}M$ | килограмм на кубический метр | *кг/м*³ | kg/m³ | (1 *кг*) : (1 *м*)³ | |
| | СГС | » | грамм на кубический сантиметр | *г/см*³ | g/cm³ | (1 *г*) : (1 *см*)³ | 1 *г/см*³ = 1·10³ *кг/м*³ |
| | МКГСС | $L^{-4}FT^2$ | килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени | *кгс·сек*²/*м*⁴ | kgf · s²/m⁴ | (1 *кгс*) · (1 *сек*)² : (1 *м*)⁴ | 1 *кгс·сек*²/*м*⁴ = = 9,80665 $\frac{кг}{м^3}$ |
| Сила | СИ | $LMT^{-2}$ | ньютон | *н* | N | (1 *кг*) · (1 *м*) : (1 *сек*)² | 1 *дин* = 1 · 10⁻⁵ *н* |
| | СГС | » | дина | *дин* | dyn | (1 *г*) · (1 *см*) : (1 *сек*)² | 1 *кгс* = 9,80665 *н* |
| | МКГСС | $F$ | килограмм-сила | *кгс* | kgf | | 1 *тс* = 9806,65*н* |
| | Внесистемные единицы | | тонна-сила | *тс* | — | | |
| Удельный вес | СИ | $L^{-2}MT^{-2}$ | ньютон на кубический метр | *н/м*³ | N/m³ | (1 *н*) : (1 *м*)³ | |
| | СГС | » | дина на кубический сантиметр | *дин/см*³ | dyn/cm³ | (1 *дин*) : (1 *см*)³ | 1 *дин/см*³ = 1 · 10 *н/м*³ |
| | МКГСС | $L^{-3}F$ | килограмм-сила на кубический метр | *кгс/м*³ | kgf/m³ | (1 *кгс*) : (1 *м*)³ | 1 *кгс/м*³ = 9,80665 *н/м*³ |
| Момент инерции (динамический) | СИ | $L^2M$ | килограмм-метр в квадрате | *кг · м*² | kg · m² | (1 *кг*) · (1 *м*)² | |
| | СГС | » | грамм-сантиметр в квадрате | *г · см*² | g · cm² | (1 *г*) · (1 *см*)² | 1 *г·см*² = 1 · 10⁻⁷ *кг · м*² |
| | МКГСС | $LFT^2$ | килограмм-сила-метр-секунда в квадрате | *кгс · м · сек*² | kgf · m · s² | (1 *кгс*) · (1 *м*) · (1 *сек*)² | 1 *кгс · м · сек*² = = 9,80665 *кг · м*² |
| Работа, энергия | СИ | $L^2MT^{-2}$ | джоуль | *дж* | J | (1 *н*) · (1 *м*) | |
| | СГС | » | эрг | *эрг* | erg | (1 *дин*) · (1 *см*) | 1 *эрг* = 1 · 10⁻⁷ *дж* |
| | МКГСС | $LF$ | килограмм-сила-метр | *кгс · м* | kgf · m | (1 *кгс*) · (1 *м*) | 1 *кгс · м* = 9,80665 *дж* |
| | Внесистемные единицы | | ватт-час | *вт · ч* | W · h | | 1 *вт · ч* = 3,6 · 10³ *дж* |
| Мощность | СИ | $L^2MT^{-3}$ | ватт | *вт* | W | (1 *дж*) : (1 *сек*) | |
| | СГС | » | эрг в секунду | *эрг/сек* | erg/s | (1 *эрг*) : (1 *сек*) | 1 *эрг/сек* = 1 · 10⁻⁷ *вт* |
| | МКГСС | $LFT^{-1}$ | килограмм-сила-метр в секунду | *кгс · м/сек* | kgf · m/s | (1 *кгс*) · (1 *м*) : (1 *сек*) | 1 *кгс · м/сек* = 9,80665 *вт* |
| | Внесистемные единицы | | лошадиная сила | *л. с.* | | | 1 *л. с.* = 735,499 *вт*<br>1 *л. с.* = 75 *кгс · м/сек* |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Давление (механическое напряжение) | СИ | $L^{-1}MT^{-2}$ | ньютон на квадратный метр | *н/м²* | N/m² | (1 *н*) : (1 *м*)² | |
| | СГС | » | дина на квадратный сантиметр | *дин/см²* | dyn/cm² | (1 *дин*) : (1 *см*)² | 1 *дин/см²* = 1 · 10⁻¹ *н/м²* |
| | МКГСС | $L^{-2}F$ | килограмм-сила на квадратный метр | *кгс/м²* | kgf/m² | (1 *кгс*) : (1 *м*)² | 1 *кгс/м²* = 9,80665 *н/м²* |
| | Внесистемные единицы | | бар | *бар* | bar | | 1 *бар* = 10⁵ *н/м²* |
| | | | миллиметр ртутного столба | *мм рт. ст.* | mm Hg | | 1 *мм рт. ст* = = 133,322 *н/м²* |
| | | | техническая атмосфера | *ат* или *кгс/см²* | at или kgf/cm² | | 1 *ат* = 9,80665 · 10⁴ *н/м²* |
| | | | миллиметр водяного столба | *мм вод. ст.* | mm $H_2O$ | | 1 *мм вод. ст.* = = 9,80665 *н/м²* |
| Динамическая вязкость | СИ | $L^{-1}MT^{-1}$ | ньютон-секунда на квадратный метр | *н · сек/м²* | N · s/m² | (1 *н*) · (1 *сек*) : (1 *м*)² | |
| | СГС | » | пуаз | *пз* | P | (1 *дин*) · (1 *сек*) : (1 *см*)² | 1 *пз* = 0,1 *н · сек/м²* |
| | МКГСС | $L^{-2}FT$ | килограмм-сила-секунда на квадратный метр | *кгс · сек/м²* | kgf · s/m² | (1 *кгс*) . (1 *сек*) : (1 *м*)² | 1 *кгс · сек/м²* = = 9,80665 *н. сек/м²* |
| Кинематическая вязкость | СИ | $L^2T^{-1}$ | квадратный метр на секунду | *м²/сек* | m²/s | (1 *м*)² : (1 *сек*) | |
| | СГС | » | стокс | *ст* | st | (1 *см*)² : (1 *сек*) | 1 *ст* = 1 · 10⁻⁴ *м²/сек* |
| | МКГСС | » | квадратный метр на секунду | *м²/сек* | m²/s | | |
| | | | **Тепловые** | | | | |
| Термодинамическая температура | СИ | Θ | градус Кельвина | °K, *град* | °K, deg | Основная единица (определение см. стр. 98) | |
| Температура | | | градус Цельсия | °C, *град* | °C, deg | | $t = (T - 273{,}15)$ |
| Количество теплоты | СИ | $L^2MT^{-2}$ | джоуль | *дж* | J | См. единицу работы | |
| Термодинамический потенциал | Внесистемные единицы | | калория | *кал* | cal | | 1 *кал* = 4,1868 *дж* |
| | | | килокалория | *ккал* | kcal | | 1 *ккал* = 4,1868 · 10³ *дж* |
| Удельный термодинамический потенциал | СИ | $L^2T^{-2}$ | джоуль на килограмм | *дж/кг* | J/kg | (1 *дж*) : (1 *кг*) | |
| Удельная теплота | Внесистемные единицы | | калория на грамм | *кал/г* | cal/g | | 1 *кал/г* = 4,1868 · 10³ *дж/кг* |
| | | | килокалория на килограмм | *ккал/кг* | kcal/kg | | 1 *ккал/кг* = 4,1868 · 10³ *дж/кг* |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Теплоемкость системы | СИ | $L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$ | джоуль на градус | *дж/град* | J/deg | (1 *дж*) : (1 *град*) | |
| | Внесистемные единицы | | калория на градус | *кал/град* | cal/deg | | 1 *кал/град* = = 4,1868 *дж/град* |
| | | | килокалория на градус | *ккал/град* | kcal/deg | | 1 *ккал/град* = = 4,1868 · $10^3$ *дж/град* |
| Удельная теплоемкость | СИ | $L^2T^{-2}\Theta^{-1}$ | джоуль на килограмм-градус | *дж/кг · град* | J/kg · deg | (1 *дж*) : [(1 *кг*) · · (1 *град*)] | |
| | Внесистемные единицы | | калория на грамм-градус | *кал/г · град* | cal/g · deg | | 1 *кал/г* } = 4,1868 · |
| | | | килокалория на килограмм-градус | *ккал/кг · град* | kcal/kg · deg | | 1 *ккал/кг* } · $10^3$ *дж/кг · град* |
| Энтропия системы | СИ | $L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$ | джоуль на градус Кельвина | *дж/град* K | J/deg K | (1 *дж*) : (1 *град*) | |
| | Внесистемные единицы | | калория на градус Кельвина | *кал/град* K | cal/deg K | | 1 *кал/град* = = 4,1863 *дж/град* |
| | | | килокалория на градус Кельвина | *ккал/град* K | kcal/deg K | | 1 *ккал/град* = = 4,1868 · $10^3$ *дж/град* |
| Удельная энтропия | СИ | $L^2T^{-2}\Theta^{-1}$ | джоуль на килограмм-градус Кельвина | *дж/кг·град* K | J/kg · deg K | (1 *дж*) : [(1 *кг*) · (1 *град*)] | |
| | Внесистемные единицы | | калория на грамм-градус Кельвина | *кал/г·град* K | cal/g · deg K | | 1 *кал/г·град* } = 4,1868 · |
| | | | килокалория на килограмм-градус Кельвина | *ккал/кг·град* K | kcal/kg · deg K | | 1 *ккал/кг·град* } · $10^3$ *дж/кг · град* |
| Тепловой поток | СИ | $L^2MT^{-3}$ | ватт | *вт* | W | (1 *дж*) : (1 *сек*) | |
| | Внесистемные единицы | | калория в секунду | *кал/сек* | cal/s | | 1 *кал/сек* = 4,1863 *вт* |
| | | | килокалория в час | *ккал/ч* | kcal/h | | 1 *ккал/ч* = 1,1630 *вт* |
| Плотность теплового потока | СИ | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | *вт/м²* | W/m² | (1 *вт*) : (1 *м*)² | |
| | Внесистемные единицы | | калория на квадратный сантиметр-секунду | *кал/см² · сек* | cal/cm² · s | | 1 *кал/см² · сек* = = 4,1868 · $10^4$ *вт/м²* |
| | | | килокалория на квадратный метр-час | *ккал/м² · ч* | kcal/m² · h | | 1 *ккал/м² · ч* = = 1,1630 *вт/м²* |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Коэффициент теплоотдачи<br>Коэффициент теплопередачи | СИ<br>Внесистемные единицы | $MT^{-3}\Theta^{-1}$ | ватт на квадратный метр-градус<br>калория на квадратный сантиметр-секунду-градус<br>килокалория на квадратный метр-час-градус | *вт/м² · град*<br>*кал/см² · сек · град*<br>*ккал/м² · ч · град* | W/m²·deg<br>cal/cm²·s·deg<br>kcal/m²·h·deg | (1 *вт*) : [(1 *м*)² · (1 *град*)] | 1 *кал/см² · сек · град* = 4,1868 · 10⁴ *вт/м² · град*<br>1 *ккал/м² · ч · град* = 1,1630 *вт/м² · град* |
| Коэффициент теплопроводности | СИ<br>Внесистемные единицы | $LMT^{-3}\Theta^{-1}$ | ватт на метр-градус<br>калория на сантиметр-секунду-градус<br>килокалория на метр-час-градус | *вт/м · град*<br>*кал/см · сек · град*<br>*ккал/м · ч · град* | W/m·deg<br>cal/cm·s·deg<br>kcal/m·h·deg | (1 *вт*):[(1 *м*)·(1 *град*)] | 1 *кал/см · сек · град* = 4,1868 · 10² *вт/м · град*<br>1 *ккал/м · ч · град* = 1,1630 *вт/м · град* |
| Коэффициент температуропроводности | СИ | $L^2T^{-1}$ | квадратный метр на секунду | *м²/сек* | m²/s | (1 *м*)² : (1 *сек*) | |
| Температурный градиент | СИ | $L^{-1}\Theta$ | градус на метр | *град/м* | deg/m | (1 *град*) : (1 *м*) | |
| **Электрические и магнитные единицы** | | | | | | | |
| Сила тока | СИ<br>СГС | $I$<br>$L^{3/2}M^{1/2}T^{-2}$ | ампер<br>ед. силы тока СГС | *а*<br>— | A<br>— | Основная единица (определение см. стр. 98) | 1 ед. силы тока СГС = $\frac{1}{3}\cdot 10^{-9}$ *а* |
| Работа и энергия | СИ<br>СГС<br>Внесистемные единицы | $L^2MT^{-2}$<br>»<br> | джоуль<br>эрг<br>электронвольт<br>килоэлектронвольт<br>мегаэлектронвольт | *дж*<br>*эрг*<br>*эв*<br>*кэв*<br>*Мэв* | J<br>erg<br>eV<br>keV<br>MeV | (1 *н*) · (1 *м*)<br>(1 *дин*) · (1 *см*) | 1 *эрг* = 1 · 10⁻⁷ *дж*<br>1 *эв* = 1,60207 · 10⁻¹⁹ *дж*<br>1 *кэв* = 10³ *эв*<br>1 *Мэв* = 10⁶ *эв* |
| Мощность | СИ<br>СГС | $L^2MT^{-3}$<br>» | ватт<br>эрг в секунду | *вт*<br>*эрг/сек* | W<br>erg/s | (1 *дж*) : (1 *сек*)<br>(1 *эрг*) : (1 *сек*) | 1 *эрг/сек* = 1 · 10⁻⁷ *вт* |

*Продолжение*

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Количество электричества (электрический заряд) | СИ | $TI$ | кулон или ампер-секунда | *к* | C | (1 *а*) · (1 *сек*) | 1 ед. кол. эл. СГС = $= \frac{1}{3} \cdot 10^{-9}$ *к* |
| | СГС | $L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$ | ед. кол. эл. СГС | *а · сек* | A · s | | |
| Поток электрического смещения (поток электрической индукции) | СИ | $TI$ | кулон | *к* | C | (1 *а*) · (1 *сек*) | 1 ед. пот. эл. см. СГС = $= \frac{1}{4\pi \cdot 3} \cdot 10^{-9}$ *к* |
| | СГС | $L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$ | ед. пот. эл. см. СГС | — | — | | |
| Электрическое смещение (электрическая индукция) | СИ | $L^{-2}TI$ | кулон на квадратный метр | *к/м²* | C/m² | (1 *к*): (1 *м*)² | 1 ед. эл. см. СГС = $= \frac{1}{4\pi \cdot 3} \cdot 10^{-5}$ *к/м²* |
| | СГС | $L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$ | ед. эл. см. СГС | — | — | | |
| Разность электрических потенциалов, электрическое напряжение, электродвижущая сила | СИ | $L^2MT^{-3}I^{-1}$ | вольт | *в* | V | (1 *вт*) : (1 *а*) | 1 ед. эл. напр. СГС = $= 3 \cdot 10^2$ *в* |
| | СГС | $L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$ | ед. эл. напр. СГС | — | — | | |
| Напряженность электрического поля | СИ | $LMT^{-3}I^{-1}$ | вольт на метр | *в/м* | V/m | (1 *в*) : (1 *м*) | 1 ед. напр. эл. поля СГС = $= 3 \cdot 10^4$ *в/м* |
| | СГС | $L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$ | ед. напр. эл. поля СГС | — | — | (1 *в*) : (1 *см*) | |
| Электрическое сопротивление | СИ | $L^2MT^{-3}I^{-2}$ | ом | *ом* | Ω | (1 *в*) : (1 *а*) | 1 ед. эл. сопр. СГС = $= 9 \cdot 10^{11}$ *ом* |
| | СГС | $L^{-1}T$ | ед. эл. сопр. СГС | — | — | | |
| Электрическая емкость | СИ | $L^{-2}M^{-1}T^4I^2$ | фарада | *ф* | F | (1 *к*) · (1 *в*) | 1 *см* = $\frac{1}{9} \cdot 10^{-11}$ *ф* |
| | СГС | $L$ | ед. эл. емк. СГС (сантиметр) | *см* | cm | | |
| Магнитный поток | СИ | $L^2MT^{-2}I^{-1}$ | вебер | *вб* | Wb | (1 *к*) · (1 *ом*) | 1 *мкс* = $1 \cdot 10^{-8}$ *вб* |
| | СГС | $L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$ | максвелл | *мкс* | Mx | | |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Магнитная индукция | СИ | $MT^{-2}I^{-1}$ | тесла | *тл* | T | (1 *вб*) : (1 *м*)$^2$ | |
| | СГС | $L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$ | гаусс | *гс* | Gs | | 1 *гс* = 1 · $10^{-4}$ *тл* |
| Индуктивность и взаимная индуктивность | СИ | $L^2MT^{-2}I^{-2}$ | генри | *гн* | H | (1 *вб*) : (1 *а*) | |
| | СГС | $L$ | ед. инд. сист. СГС (сантиметр) | *см* | cm | | 1 *см* = 1 · $10^{-9}$ *гн* |
| Магнитодвижущая сила и разность магнитных потенциалов | СИ | $I$ | ампер или ампер-виток | *а* *ав* | A At | (1 *а*) | |
| | СГС | $L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$ | гильберт | *гб* | Gb | | 1 *гб* = $\frac{10}{4\pi}$ *ав* |
| Напряженность магнитного поля | СИ | $L^{-1}I$ | ампер на метр ампер-виток на метр | *а/м* *ав/м* | A/m At/m | (1 *а*) : (1 *м*) | |
| | СГС | $L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$ | эрстед | *э* | Oe | | 1 *э* = $\frac{1}{4\pi}$ · $10^3$ *ав/м* |
| **Акустические единицы** | | | | | | | |
| Звуковое давление | СИ | $L^{-1}MT^{-2}$ | ньютон на квадратный метр | *н/м*$^2$ | N/m$^2$ | (1 *н*) : (1 *м*)$^2$ | |
| | СГС | » | дина на квадратный сантиметр | *дин/см*$^2$ | dyn/cm$^2$ | | 1 *дин/см*$^2$ = 1 · $10^{-1}$ *н/м*$^2$ |
| Объемная скорость | СИ | $L^3T^{-1}$ | кубический метр в секунду | *м*$^3$*/сек* | m$^3$/s | (1 *м*)$^3$ : (1 *сек*) | |
| | СГС | » | кубический сантиметр в секунду | *см*$^3$*/сек* | cm$^3$/s | | 1 *см*$^3$*/сек* = 1 · $10^{-6}$ *м*$^3$*/сек* |
| Акустическое сопротивление | СИ | $L^{-4}MT^{-1}$ | ньютон-секунда на метр в пятой степени | *н · сек/м*$^5$ | N · s/m$^5$ | (1 *н/м*$^2$) : (1 *м*$^3$*/сек*) | |
| | СГС | » | дина-секунда на сантиметр в пятой степени | *дин · сек/см*$^5$ | dyn · s/cm$^5$ | | 1 *дин · сек/см*$^5$ = = 1 · $10^5$ *н · сек/м*$^5$ |
| Механическое сопротивление | СИ | $MT^{-1}$ | ньютон-секунда на метр | *н · сек/м* | N · s/m | (1 *н*) : (1 *м/сек*) | |
| | СГС | » | дина-секунда на сантиметр | *дин · сек/см* | dyn · s/cm | | 1 *дин · сек/см* = = 1 · $10^{-3}$ *н · сек/м* |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Интенсивность звука | СИ | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | *вт/м²* | W/m² | (1 *вт*) : (1 *м*)² | |
| | СГС | » | эрг в секунду на квадратный сантиметр | *эрг/сек · см²* | erg/s · cm² | | 1 *эрг/сек · см²* = = 1 · 10⁻³ *вт/м²* |
| Плотность звуковой энергии | СИ | $L^{-1}MT^{-2}$ | джоуль на кубический метр | *дж/м³* | J/m³ | (1 *дж*) : (1 *м*)³ | |
| | СГС | » | эрг на кубический сантиметр | *эрг/см³* | erg/cm³ | | 1 *эрг/см³* = = 1 · 10⁻¹ *дж/м³* |
| Уровень звукового давления | Внесистемные единицы | | децибел | *дб* | dB | Определение см. стр. 123 | |
| Уровень громкости | Внесистемные единицы | | фон | — | — | Определение см. стр. 123 | |
| Частотный интервал | Внесистемные единицы | | октава | — | — | Определение см. стр. 123 | |
| **Световые единицы** | | | | | | | |
| Сила света | СИ | $J$ | свеча | *св* | cd | Основная единица (определение см. стр. 98) | |
| Световой поток | СИ | $J$ | люмен | *лм* | lm | (1 *св*) · (1 *стер*) | |
| Световая энергия | СИ | $TJ$ | люмен-секунда | *лм · сек* | lm · s | (1 *лм*) · (1 *сек*) | |
| Светность | СИ | $L^{-2}J$ | люмен на квадратный метр | *лм/м²* | lm/m² | (1 *лм*) : (1 *м*)² | |
| Освечивание | СИ | $TJ$ | свеча-секунда | *св · сек* | cd · s | (1 *св*) · (1 *сек*) | |
| Яркость | СИ | $L^{-2}J$ | нит | *нт* | nt | (1 *св*) : (1 *м*)² | |
| Освещенность | СИ | $L^{-2}J$ | люкс | *лк* | lx | (1 *лм*) : (1 *м*)² | |

| Наименования величин | Система единиц | Размерность | Единицы измерения | Сокращенное обозначение: русскими буквами | Сокращенное обозначение: латинскими или греческими буквами | Размер единицы | Коэффициент для приведения к единицам СИ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Количество освещения | СИ | $L^{-2}TJ$ | люкс-секунда | *лк · сек* | lx · s | (1 *лк*) · (1 *сек*) | |
| **Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности** | | | | | | | |
| Доза рентгеновского и гамма-излучений | СИ | $M^{-1}TI$ | кулон на килограмм | *к/кг* | c/kg | (1 *к*) : (1 *кг*) | |
| | СГС | $L^{3/2}M^{-1/2}T^{-1}$ | ед. кол. элек. СГС на грамм | — | — | (1 ед.кол. эл. СГС):(1*г*) | 1 ед. кол. эл. СГС/*г* = $= {}^1/_3 \cdot 10^{-6}$ *к/кг* |
| | Внесистемные единицы | | рентген | *р* | r | Определение см. стр. 128 | 1 *р* = 2,57976 · $10^{-4}$ *к/кг* |
| Мощность дозы | СИ | $M^{-1}I$ | ампер на килограмм | *а/кг* | A/kg | (1 *а*) : (1 *кг*) | |
| | СГС | $L^{3/2}M^{-1/2}T^{-2}$ | ед. силы тока СГС на грамм | — | — | (1 ед. силы тока СГС): :(1 *г*) | 1 ед. силы тока СГС/*г* = $= {}^1/_3 \cdot 10^{-6}$ *а/кг* |
| | Внесистемные единицы | | рентген в секунду | *р/сек* | r/s | (1*р* ) : (1 *сек*) | 1 *р/сек* = $= 2{,}57976 \cdot 10^{-4}$ *а/кг* |
| Поглощенная доза излучения | СИ | $L^2T^{-2}$ | джоуль на килограмм | *дж/кг* | J/kg | (1 *дж*) : (1 *кг*) | |
| | СГС | » | эрг на грамм | *эрг/г* | erg/g | (1 *эрг*) : (1 *г*) | 1 *эрг/г* = 1 · $10^{-4}$ *дж/кг* |
| | Внесистемные единицы | | рад | *рад* | rad | | 1 *рад* = 1 · $10^{-2}$ *дж/кг* |
| Активность радиоактивного изотопа | СИ | $T^{-1}$ | секунда в степени минус единица | — | $s^{-1}$ | (1) : (1 *сек*) | |
| | Внесистемные единицы | | кюри | — | c | | 1 c = 3,7 · $10^{10}$ $сек^{-1}$ |
| Радиевый гамма-эквивалент препарата | Внесистемные единицы | | миллиграмм-эквивалент радия | *мг·экв радия* | mg · eqRa | Определение см. стр. 129 | |
| Интенсивность излучения | СИ | $MT^{-3}$ | ватт на квадратный метр | *вт/м²* | W/m² | (1 *вт*) : (1 *м*)² | |
| | СГС | » | эрг в секунду на квадратный сантиметр | *эрг/сек · см²* | erg/s · cm² | (1 *эрг*):[(1 *сек*)·(1 *см*)²] | 1 *эрг/сек · см²* = $= 1 \cdot 10^{-3}$ *вт/м²* |

*ПРИЛОЖЕНИЕ 2*

**Справочная таблица перевода неметрических единиц измерения, применяемых в Англии и США в единицы Международной системы (СИ) согласно рекомендациям Международной организации стандартизации ИСО R 31**

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенное обозначение единицы измерения | Перевод в единицы системы СИ или кратные и дольные их значения |
|---|---|---|---|
| Длина | ярд | yd | 0,9144 *м* (точно) |
| | фут | ft | 0,3048 *м* (точно) |
| | дюйм | in | 0,0254 *м* (точно) |
| | миля | mile | 1609,344 *м* (точно) |
| | морская миля | — | 1852 *м* (точно) |
| Площадь | квадратный ярд | $yd^2$ | 0,836127 $м^2$ |
| | квадратный фут | $ft^2$ | 0,0929030 $м^2$ |
| | квадратный дюйм | $in^2$ | 6,4516 $см^2$ (точно) |
| Объем | кубический ярд | $yd^3$ | 0,764555 $м^3$ |
| | кубический фут | $ft^3$ | 28,3168 $дм^3$ |
| | кубический дюйм | $in^3$ | 16,3871 $см^3$ |
| | галлон (английский) | gal (UK) | 4,54609 $дм^3$ |
| | пинта (английская) | pt (UK) | 0,568261 $дм^3$ |
| | жидкостная унция (английская) | fl·oz (UK) | 28,4130 $см^3$ |
| | бушель (английский) | — | 36,3687 $дм^3$ |
| | галлон (США) | gal (US) | 3,78543 $дм^3$ |
| | жидкостная пинта (США) | liq·pt (US) | 0,473179 $дм^3$ |
| | жидкостная унция (США) | fl·oz (US) | 29,5737 $см^3$ |
| | нефтяной баррель (США) | — | 158,988 $дм^3$ |
| | бушель (США) | bu (US) | 35,2393 $дм^3$ |
| | сухая пинта (США) | dry pt (US) | 0,550614 $дм^3$ |
| | сухой баррель (США) | bbl (US) | 115,628 $дм^3$ |

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенное обозначение единицы измерения | Перевод в единицы системы СИ или кратные и дольные их значения |
|---|---|---|---|
| Скорость | фут в секунду | ft/s | 0,3048 *м/сек* (точно) |
| | миля в час | mile/h | 0,44704 *м/сек* (точно) |
| Ускорение | фут на секунду в квадрате | $ft/s^2$ | 0,3048 $м/сек^2$ (точно) |
| Масса | фунт (торговый) | lb | 0,45359237 *кг* |
| | слаг | — | 14,5939 *кг* |
| | гран | gr | 64,79891 *мг* |
| | унция (торговая) | oz | 28,3495 *г* |
| | центнер | cwt | 50,8023 *кг* |
| | короткий центнер | sh cwt | 45,3592 *кг* |
| | тонна | — | 1016,05 *кг* |
| | короткая тонна | sh tn | 907,185 *кг* |
| | тройская унция | oz tr (UK) oz t (US) | 31,1035 *г* |
| | унция аптекарская | oz ap (US) | 31,1035 *г* |
| Плотность | фунт на кубический фут | $lb/ft^3$ | 16,0185 $кг/м^3$ |
| Сила Вес | паундаль | pdl | 0,138255 *н* |
| | фунт-сила | lbf | 4,44822 *н* |
| Удельный вес | фунт-сила на кубический фут | $lbf/ft^3$ | 157,087 $н/м^3$ |
| Момент силы | фунт-сила фут | lbf·ft | 1,35582 *н. м* |
| Давление | паундаль на квадратный фут | $pdl/ft^2$ | 1,48816 $н/м^2$ |

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенное обозначение единицы измерения | Перевод в единицы системы СИ или кратные и дольные их значения |
|---|---|---|---|
| Давление | фунт-сила на квадратный фут | $lbf/ft^2$ | 47,8803 *н/м²* |
| | фунт-сила на квадратный дюйм | $lbf/in^2$ | 6894,76 *н/м²* |
| | фут водяного столба | ft $H_2O$ | 2989,07 *н/м²* |
| | дюйм водяного столба | in $H_2O$ | 249,089 *н/м²* |
| | дюйм ртутного столба | in Hg | 3386,39 *н/м²* |
| Динамическая вязкость | паундаль секунда на квадратный фут | $pdl \cdot s/ft^2$ | 1,48816 *н. сек/м²* |
| | фунт-сила секунда на квадратный фут | $lbf \cdot s/ft^2$ | 47,8803 *н. сек/м²* |
| Кинематическая вязкость | квадратный фут в секунду | $ft^2/s$ | 0,0929030 *м²/сек* |
| Работа энергия | фут паундаль | $ft \cdot pdl$ | 0,0421401 *дж* |
| | фут фунт-сила | $ft \cdot lbf$ | 1,35582 *дж* |
| | Британская тепловая единица | Btu | 1055,06 *дж* |
| Мощность | фут паундаль на секунду | $ft \cdot pdl/s$ | 0,0421401 *вт* |
| | фут фунт-сила на секунду | $ft \cdot lbf/s$ | 1,35582 *вт* |
| | лошадиная сила (Английская) | hp | 745,700 *вт* |
| | Британская тепловая единица в час | Btu/h | 0,293071 *вт* |

| Наименования величин | Единицы измерения | Сокращенное обозначение единицы измерения | Перевод в единицы системы СИ или кратные и дольные их значения |
|---|---|---|---|
| Термодинамическая температура абсолютная температура | градус Ренкина | °R | $\frac{5}{9}$ °K |
| Температура | градус Фаренгейта | °F | $t_c = \frac{5}{9}(t_F - 32) = T_K - 273,15 = \frac{5}{9} T_R - 273,15$ |
| Теплопроводность | Британская тепловая единица на секунду-фут-градус Фаренгейта | Btu/(s. ft. deg F) | 6230,64 *вт/(м. град)* |
| Коэффициент теплопередачи | Британская тепловая единица на секунду-квадратный фут-градус Фаренгейта | Btu/(s. ft². deg F) | 20441,7 *вт/(м². град)* |
| Температуропроводность | квадратный фут в секунду | ft²/s | 0,0929030 *м²/сек* |
| Удельная теплоемкость | Британская тепловая единица на фунт-градус Фаренгейта | Btu/(lb. deg F) | 4186,8 *дж/(кг · град)* (точно) |
| Удельная энтропия | Британская тепловая единица на фунт-градус Ренкина | Btu/(lb. deg R) | 4186,8 *дж/(кг · град* K) |
| Термодинамический потенциал | Британская тепловая единица на фунт | Btu/lb | 2326 *дж/кг* (точно) |

## ТАБЛИЦА

**уравнений электромагнетизма в рационализированной форме для системы СИ и в нерационализированной форме для симметричной системы СГС (согласно проекту рекомендаций Международной организации стандартизации)**

| № п/п | Наименование уравнений | Вид уравнения в рационализированной форме для системы СИ | Вид уравнения в нерационализированной форме для системы СГС (симметричной) |
|---|---|---|---|
| 1 | Уравнения Максвелла | $\mathrm{rot}\ E = -\partial B/\partial t$ | $c\ \mathrm{rot}\ E_s = -\partial B_s/\partial t$ |
| 2 | | $\mathrm{div}\ D = \rho$ | $\mathrm{div}\ D_s = 4\pi\rho_s$ |
| 3 | | $\mathrm{div}\ B = 0$ | $\mathrm{div}\ B_s = 0$ |
| 4 | | $\mathrm{rot}\ H = J + \partial D/\partial t$ | $c\ \mathrm{rot}\ H_s = 4\pi J_s + \partial D_s/\partial t$ |
| 5 | Сила, действующая на заряд $Q$ в электрическом поле $E$ | $F = QE$ | $F = Q_s E_s$ |
| 6 | Соотношение между $E$ и $D$ | $\varepsilon_0\varepsilon_r E = \varepsilon E = D$ | $\varepsilon_r E_s = D_s$ |
| 7 | Смещение на расстоянии $r$ от заряда $Q$ | $D = Q/4\pi r^2$ | $D_s = Q_s/r^2$ |
| 8 | Смещение на поверхности с поверхностной плотностью заряда $\sigma$ | $D = \sigma$ | $D_s = 4\pi\sigma_s$ |
| 9 | Сила, возникающая между зарядами $Q_1$ и $Q_2$ на расстоянии $r$ в диэлектрике | $F = Q_1Q_2/4\pi\varepsilon r^2$ | $F = Q_{s1}Q_{s2}/\varepsilon_r r^2$ |
| 10 | Емкость двух параллельных пластин площадью $A$ и расстоянием между ними $d$ | $C = A\varepsilon/d$ | $C_s = A\varepsilon_r/4\pi d$ |
| 11 | Емкость изолированной сферы радиусом $r$ | $C = 4\pi\varepsilon r$ | $C_s = \varepsilon_r r$ |
| 12 | Соотношение между $E$ и $V$ в электростатическом поле | $E = -\mathrm{grad}\ V$ | $E_s = -\mathrm{grad}\ V_s$ |
| 13 | Уравнение Пуассона для электростатического поля в вакууме | $\Delta V = -\rho/\varepsilon_0$ | $\Delta V_s = -4\pi\rho_s$ |
| 14 | Потенциал на расстоянии $r$ от заряда $Q$ в вакууме | $V = Q/4\pi\varepsilon_0 r$ | $V_s = Q_s/r$ |
| 15 | Потенциал в положении $r$ электрического диполя в вакууме | $V = pr/4\pi\varepsilon_0 r^3$ | $V_s = p_s\ r/r^3$ |
| 16 | Момент электрического диполя заряда $\pm Q$ разделенного $s$ | $p = Qs$ | $p_s = Q_s s$ |
| 17 | Потенциальная энергия электрического диполя в электрическом поле | $W = -pE$ | $W = -p_s E_s$ |
| 18 | Момент электрического диполя объемного элемента $\Delta\tau$ с поляризацией $P$ | $p = P\Delta\tau$ | $p_s = P_s\Delta\tau$ |
| 19 | Плотность энергии электрического поля | $w = DE/2$ | $w = D_s E_s/8\pi$ |
| 20 | Сила, действующая на заряд $Q$ перемещающийся со скоростью $v$ в магнитном поле | $F = Qv\times B$ | $F = Q_s v\times B_s/c$ |

| № п.п | Наименование уравнений | Вид уравнения в рационализированной форме для системы СИ | Вид уравнения в нерационализированной форме для системы СГС (симметричной) |
|---|---|---|---|
| 21 | Сила действующая на элемент тока $I\Delta s$ в магнитном поле | $F = I\Delta s \times B$ | $F = I_s \Delta s \times B_s/c$ |
| 22 | Соотношение $B$ и $H$ | $B = \mu_0 \mu_r H = \mu H$ | $B_s = \mu_r H_s$ |
| 23 | Магнитное поле, образованное движущимся зарядом $Q$ | $H = Qv \times r/4\pi r^3$ | $H_s = Q_s v \times r/cr^3$ |
| 24 | Магнитное поле, образованное элементом тока $I\Delta s$ | $H = I\Delta s \times r/4\pi r^3$ | $H_s = I_s \Delta s \times r/cr^3$ |
| 25 | Магнитное поле в соленоиде с количеством витков $N$ на длине $l$ | $H = NI/l$ | $H_s = 4\pi N I_s/cl$ |
| 26 | Магнитное поле на расстоянии $r$ от линейного проводника | $H = I/2\pi r$ | $H_s = 2I_s/cr$ |
| 27 | Сила возникающая между двумя параллельными линейными проводниками на расстоянии $d$ в вакууме | $F/l = \mu_0 I_1 I_2/2\pi d$ | $F/l = 2I_{s_1} I_{s_2}/c^2 d$ |
| 28 | Соотношение между $B$ и векторным потенциалом $A$ | $B = \mathrm{rot}\ A$ | $B_s = \mathrm{rot}\ A_s$ |
| 29 | Уравнение волны для векторного потенциала в вакууме | $\Delta A - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -\mu_0 I$ | $\Delta A_s - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 A_s}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{c} I_s$ |
| 30 | Исходные условия для определения $A$ | $\mathrm{div}\ A + \frac{1}{c^2}\frac{\partial V}{\partial t} = 0$ | $\mathrm{div}\ A_s + \frac{1}{c}\frac{\partial V_s}{\partial t} = 0$ |
| 31 | Общие соотношения между $E$, $V$ и $A$ | $E = -\mathrm{grad}\ V - \frac{\partial A}{\partial t}$ | $E_s = -\mathrm{grad}\ V_s - \frac{1}{c}\frac{\partial A_s}{\partial t}$ |
| 32 | Электромагнитный момент тока $I$, окружающего плоскую поверхность $A$ | $m = IA$ | $m_s = I_s A/c$ |
| 33 | Потенциальная энергия магнитного диполя в магнитном поле | $W = -mB$ | $W = -m_s B_s$ |
| 34 | Электромагнитный момент объемного элемента $\Delta\tau$ с намагниченностью $M$ | $m = M\Delta\tau$ | $m_s = M_s \Delta\tau$ |
| 35 | Плотность энергии магнитного поля | $w = BH/2$ | $w = B_s H_s 8\pi$ |
| 36 | Вектор Пойнтинга | $S = E \times H$ | $S = (c/4\pi)\ E_s \times H_s$ |

## Алфавитный указатель единиц измерения


| | Стр. |
|---|---|
| Ампер | 70,98 |
| Ампервиток | 118 |
| Ампервиток на метр | 118 |
| Ампер на метр | 28 |
| Ангстрем | 29 |
| Ар | 30 |
| Атмосфера техническая | 30 |
| Бар | 30 |
| Бария | 14 |
| Био | 20 |
| Вар | 118 |
| Ватт | 25 |
| Ватт на квадратный метр | 25 |
| Ватт на квадратный метр-градус | 26 |
| Ватт на метр-градус | 26 |
| Ватт-час | 107 |
| Вебер | 27 |
| Вебер на квадратный метр | 27 |
| Вольт | 27 |
| Вольт-ампер | 118 |
| Вольт на метр | 27 |
| Гал | 14 |
| Гаусс | 17 |
| Гектар | 107 |
| Генри | 28 |
| Герц | 99 |
| Гильберт | 18 |
| Градус Кельвина | 75,98 |
| Градус Ренкина | 155 |
| Градус Цельсия | 71 |
| Градус Фаренгейта | 71,155 |
| Градус на метр | 110 |
| Градус угловой | 106 |
| Грамм | 101 |
| Грамм на кубический сантиметр | 103 |
| Грамм-сантиметр в квадрате | 103 |
| Децибел | 31 |
| Дина | 14 |
| Дина на кубический сантиметр | 103 |
| Дина на квадратный сантиметр | 103 |
| Дина-секунда на сантиметр в пятой степени | 15 |
| Дина-секунда на сантиметр | 122 |
| Джоуль | 25 |
| Джоуль на градус | 25 |
| Джоуль на килограмм | 26 |
| Джоуль на килограмм-градус | 26 |
| Джоуль на кубический метр | 122 |
| Калория | 30 |
| Калория в секунду | 114 |
| Калория на квадратный сантиметр в секунду | 115 |
| Калория на квадратный сантиметр-секунду-градус | 115 |
| Калория на градус | 114 |
| Калория на грамм | 114 |
| Калория на грамм-градус | 114 |
| Калория на сантиметр-секунду-градус | 115 |
| Карат | 30 |
| Квадратный метр | 102 |
| Квадратный метр на секунду | 25,26 |
| Квадратный метр на час | 115 |
| Квадратный сантиметр | 103 |
| Килограмм | 64,98 |
| Килограмм-метр в квадрате | 102 |
| Килограмм на кубический метр | 102 |
| Килограмм на метр-секунду | 25 |
| Килограмм-сила | 23 |

| | Стр. |
|---|---|
| Килограмм-сила-метр | 23 |
| Килограмм-сила-метр в секунду | 23 |
| Килограмм-сила на квадратный метр | 23 |
| Килограмм-сила на кубический метр | 105 |
| Килограмм-сила-метр-секунда в квадрате | 105 |
| Килограмм-сила-секунда в квадрате на метр | 105 |
| Килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени | 105 |
| Килограмм-сила-секунда на квадратный метр | 105 |
| Киловатт | 22 |
| Килоджоуль | 22 |
| Килокалория | 114 |
| Килоэлектронвольт | 121 |
| Кубический метр | 102 |
| Кубический метр в секунду | 122 |
| Кубический сантиметр | 103 |
| Кубический сантиметр в секунду | 122 |
| Кулон | 27 |
| Кулон на квадратный метр | 117 |
| Кюри | 129 |
| Литр | 30 |
| Лошадиная сила | 107 |
| Люкс | 29 |
| Люкс-секунда | 125 |
| Люмен | 28 |
| Люмен на квадратный метр | 125 |
| Люмен-секунда | 125 |
| Максвелл | 17 |
| Мегаэлектронвольт | 121 |
| Метр | 57, 98 |
| Метр в секунду | 102 |
| Метр на секунду в квадрате | 102 |
| Микробар | 14 |
| Микрон | 106 |
| Миллибар | 30 |
| Миллиграмм-эквивалент радия | 129 |
| Миллиметр водяного столба | 30 |
| Миллиметр ртутного столба | 30 |
| Минута | 106 |
| Минута угловая | 106 |
| Нит | 29 |
| Ньютон | 25 |
| Ньютон на квадратный метр | 25 |
| Ньютон на кубический метр | 102 |
| Ньютон-секунда на квадратный метр | 102 |
| Ньютон-секунда на метр | 122 |
| Ньютон-секунда на метр в пятой степени | 122 |
| Оборот | 107 |
| Октава | 31 |
| Ом | 27 |
| Пуаз | 14 |
| Пьеза | 22 |
| Рад | 129 |
| Радиан | 76 |
| Радиан в секунду | 102 |
| Радиан на секунду в квадрате | 102 |
| Рентген | 128 |
| Рентген в секунду | 127 |
| Сантиметр | 101 |
| Сантиметр в секунду | 103 |
| Сантиметр в секунду в квадрате | 103 |
| Световой год | 29 |
| Свеча | 75, 98 |
| Свеча на квадратный метр или нит | 100 |
| Свеча-секунда | 125 |
| Секунда | 66, 98 |
| Секунда угловая | 106 |
| Сименс | 118 |
| Стен | 22 |
| Стерадиан | 76 |
| Стильб | 21 |
| Стокс | 14 |
| Тесла | 28 |
| Техническая атмосфера | 30 |
| Тонна | 106 |
| Тонна-сила | 107 |
| Фарада | 27 |
| Фон | 31 |
| Фот | 21 |
| Франклин | 20 |
| Центнер | 106 |

Стр.

Час . . . . . 106
Электронвольт . . . . 120
Эрг . . . . . 14
Эрг в секунду . . . . 14
Эрг в секунду на квадратный сантиметр . . 15

*Продолжение*

Эрг на кубический сантиметр . . . . . 15
Эрстед . . . . . 17
Х-единица . . . . . 29

## ЛИТЕРАТУРА

### К главе I

1. М. Ф. Маликов. Основы метрологии. Изд. Комитета по делам мер и измерительных приборов, Москва, 1949.

2. П. М. Тиходеев. Очерки об исходных измерениях. Машгиз, М.—Л., 1954.

3. Н. И. Тюрин. Единицы измерений, принятые в СССР. Изд. Комитета по делам мер и измерительных приборов, Москва, 1947.

4. Л. А. Сена. Единицы измерения физических величин. Изд. технико-теоретической литературы. М.—Л., 1951.

5. А. В. Беклемишев. Меры и единицы физических величин. Изд. технико-теоретической литературы, Москва, 1954.

6. А. Г. Чертов. Единицы измерения физических величин. Изд. второе. Гос. изд. «Высшая школа», М., 1960.

7. Метрологические работы за 40 лет. Труды ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, вып. 33 (93). Стандартгиз, М.—Л., 1958.

8. У. Штилле. Измерения и расчеты в физике. Messen und Rechenen in der Physik, Брауншвейг, 1955.

9. Единицы измерения и обозначения физических величин. Справочник составлен авторским коллективом под руководством Н. В. Калашникова и Л. Р. Стоцкого. Гостоптехиздат, Москва, 1961.

### К главе II

1. А. Моро. Происхождение метрической системы и работы Международного бюро мер и весов. «Journal of Chemical education» 1953, № 1.

2. А. Перар. Неизменность метрической системы «Revue de Metrologie» 1957, № 10, стр. 539.

3. А. Моро. Новейшие успехи метрической системы. (Les régents progrés du Systeme métrique) Париж, 1955.

4. Доклады акад. А. Н. Крылова, акад. С. И. Вавилова и чл.-корр. АН СССР М. А. Шателена к столетию установления абсолютной системы единиц. Архив истории науки и техники, вып. 3. Изд. АН СССР. Ленинград, 1934, стр. 183—208.

5. Л. Сартр. Международный конгресс электриков 1881 г. и электрическая метрология. «Revue Générale de J'Electricité», 1956, т. 65, № 6, стр. 321.

6. Некоторые новые данные, внесенные Международной электротехнической комиссией в область магнитных и электрических величин и единиц. «Revue Générale de J'Electricite», 1956, т. 65, № 10, стр. 185В.

7. С. Ф. Маликов. Единицы электрических и магнитных величин. Исторический очерк. Издание второе, переработанное. Госэнергоиздат, М.—Л. 1960.

8. А. Н. Георгиевский и М. Ф. Маликов. Ртутные образцы международного ома. Петроград, 1918.

9. Отчеты генеральных конференций по мерам и весам (I—XI), (Comptes Rendus des séances Conference Générale des Poids et Mesures). Изд. Международного бюро мер и весов.

10. Рекомендации Международной организации по стандартизации R31, часть 1 «Основные величины и единицы системы МКСА» и «Величины и единицы

пространства и времени» (1956 г.), часть 2 «Величины и единицы периодических и связанных с ними явлений (1958 г.), ч. 3. «Механика» и ч. 4. «Теплота» (1960 г.).

11. Символы и единицы (Международный союз чистой и прикладной физики. Комиссия SUN). «Journal de Physique et le Radium», 1956, т. 17, № 6, стр. 502.

## К главе III

1. Е. Ф. Долинский. Построение системы единиц. «Измерительная техника», 1956, № 1, стр. 8.

2. А. Ферри. Величины и единицы. Критический обзор основных систем. Система Джорджи. (Crandeurs et unités. Exposé critique des principaux systémes. Systéme Giorgi). Париж, 1956.

3. Г. Д. Бурдун. О международной системе единиц измерений, Procés-Verbaux Comité International des poids et mesures, т. XXV, Париж, 1957.

4. А. Перар. По вопросу о различных формах метрической системы «Mesures», 1958, № 252, стр. 349.

5. М. Жакоб. Конец метрической системы и ее замена международной системой единиц. «Bulletin belge de Métrologie», 1957, № 11, стр. 284.

6. Ш. Воле. Что такое метрическая система, «Mesures», 1958, № 250, стр. 179.

7. Г. Д. Бурдун. Международные рекомендации по единицам измерений. «Стандартизация», 1957, № 6, стр. 78.

8. Г. Д. Бурдун. Международная система единиц. «Физика в школе», 1957, № 3, стр. 17.

9. Г. Д. Бурдун. Современные международные метрологические работы. «Успехи физических наук», 1957, т. LXII, вып. 3, стр. 357.

10. Г. Д. Бурдун. Сессия Международного комитета мер и весов 1956 г. «Измерительная техника», 1956, № 6, стр. 6.

11. Международная система единиц и новое определение секунды «Revue de Metrologie», 1957, № 4, стр. 223.

12. А. Моро. Международная система единиц и новое определение секунды. «Mesures», 1958, № 248, стр. 17.

13. Э. Падельт. Стандартизация и упорядочение физико-технических единиц. «Standartisierung», 1958, № 10, стр. 1/365.

14. В. А. Баринов. Современное состояние эталонов длины и методы точного измерения длины. Изд. ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, Ленинград, 1941.

15. Г. Д. Бурдун. К вопросу о новом определении метра. «Измерительная техника», 1958, № 3, стр. 10.

16. Ш. Воле. Метр и секунда «L'âge nucléaire», 1958, № 11, стр. 207.

17. А. Моро. Новое определение единицы времени. «Electronique», 1958, № 142, стр. 25.

18. Б. М. Яновский, С. В. Горбацевич, Н. А. Волков. Абсолютные измерения силы тока. Труды ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, вып. 15 (75), Госэнергоиздат, М.—Л., 1953.

19. П. М. Тиходеев. Новый государственный световой эталон СССР, Изд. АН СССР, М.—Л., 1949.

20. Г. Д. Бурдун. Международная система единиц. «Измерительная техника», 1960, № 11, стр. 6 и «Comptes Rendus de seances de la Onzieme Conference generale des poids et mesures». Париж, 1961.

## К главе IV

1. Г. Д. Бурдун. 40 лет метрической системы и развитие Государственной службы мер и измерительных приборов в СССР, «Информационный листок ВНИИК», 1958, № 345.

2. Таблицы взаимного перевода русских и метрических мер. Изд. Главной палаты мер и весов, Петроград, 1923.

3. Сто лет Государственной службы мер и весов СССР. Изд. технико-теоретической литературы, М.—Л., 1945.

4. Общесоюзные стандарты: ОСТ 516 Метрические меры; ОСТ 169 Абсолютная система механических единиц (MTS); ОСТ 515 Международные электрические единицы; ОСТ ВКС 6052 Механические единицы; ОСТ ВКС 6053 Системы механических единиц; ОСТ 5010 Единицы давления, которые должны применяться при пользовании измерителями давления; ОСТ 5037 Единицы частоты; ОСТ ВКС 7132 Единицы времени; ОСТ ВКС 7242 Единицы в области акустики; ОСТ ВКС 6252 Тепловые единицы; ОСТ ВКС 5578 Абсолютные магнитные единицы электромагнитной системы CGS; ОСТ ВКС 4891 Световые единицы; ОСТ ВКС 7623 Единицы рентгеновского излучения; ОСТ ВКС 7159 Единицы радиоактивности (все перечисленные стандарты отменены в 1955—1958 гг.).

5. И. А. Лобко. Стандартные физико-математические единицы и величины. Стандартгиз, Москва, 1935.

6. А. Ф. Лесохин. Единицы измерений и научно-технические термины и обозначения. Сборник ОСТов с пояснениями. Стандартгиз, Москва, 1936.

7. Сборник работ комиссии по единицам мер, под редакцией М. А. Шателена, Изд. АН СССР, Москва, 1938.

8. Положение об электрических и магнитных единицах. Изд. Комитета по делам мер и измерительных приборов, Москва, 1948 (отменено в 1956 г.).

9. Положение о световых единицах. Изд. Комитета по делам мер и измерительных приборов, Москва, 1948 (отменено в 1956 г.).

10. П. Ф. Калантаров. Единицы измерения электрических и магнитных величин. Госэнергоиздат, Ленинград, 1948.

11. Труды Комитета технической терминологии Академии Наук СССР.

## К главе V

1. ГОСТ 7663—55 Образование кратных и дольных единиц. Сокращенные обозначения единиц измерения.
2. ГОСТ 7664—61 Механические единицы.
3. ГОСТ 8550—61 Тепловые единицы.
4. ГОСТ 8033—56 Электрические и магнитные единицы.
5. ГОСТ 8849—58 Акустические единицы.
6. ГОСТ 7932—56 Световые единицы.
7. ГОСТ 8848—58 Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности.
8. ГОСТ 9867—61 Международная система единиц.

9. Д. М. Фанченко. Стандарты на системы единиц. «Стандартизация», 1956, № 5, стр. 35.

10. Г. Д. Бурдун. Единицы измерения механических величин. «Измерительная техника», 1956, № 1, стр. 13.

11. Б. И. Пилипчук. Единицы измерения тепловых величин. «Измерительная техника», 1959, № 1, стр. 23.

12. П. П. Ромадин. О новой единице тепловой энергии. «Теплоэнергетика», 1958, № 7, стр. 30.

13. С. М. Скуратов. К вопросу об единицах измерения тепловых величин. «Измерительная техника», 1959, № 9, стр. 32.

14. Е. Г. Шрамков. О новом государственном стандарте «Электрические и магнитные единицы». «Измерительная техника». 1956, № 6, стр. 9.

15. Б. М. Яновский. Системы единиц электрических и магнитных величин. «Измерительная техника», 1956, № 6, стр. 11.

16. И. Г. Русаков. Новый государственный стандарт на акустические единицы. «Измерительная техника», 1959, № 1, стр. 55.

17. П. М. Тиходеев. Световые единицы по ГОСТ 7932—56. «Измерительная техника», 1956, № 5, стр. 8.

18. М. Ф. Юдин. К вопросу о новом определении единиц рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности. «Измерительная техника», 1955, № 1, стр. 31.

19. Дискуссия по вопросу об определении рентгена. Статьи П. М. Тиходеева, В. И. Иванова, М. Ф. Юдина и И. В. Поройкова в жур-

нале «Измерительная техника», 1956, № 1, стр. 15—23 и статья Н. Г. Гусева в том же журнале, 1956, № 2, стр. 12.

20. М. Ф. Юдин. О новом ГОСТе «Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности». «Измерительная техника», 1958, № 6, стр. 84.

21. Н. В. Калашников и Л. Р. Стоцкий. Международная система единиц, «Газовая промышленность», 1961, № 12.

22. Новые государственные стандарты на единицы и их практическое внедрение, «Измерительная техника», 1962, № 1.

23. Г. Д. Бурдун. Международная система единиц и ее практическое внедрение, «Стандартизация», 1962, № 3.

24. Г. Д. Бурдун. Международная система единиц и ее внедрение в преподавание. «Вестник высшей школы», 1962, № 2.

## ОГЛАВЛЕНИЕ


*Стр.*

Предисловие . . . . . 3

*Глава I.* **Системы единиц физических величин** . . . . . 5

1. Системы единиц и их построение . . . . . 5
2. Система СГС . . . . . 12
3. Система МТС . . . . . 21
4. Система МКГСС . . . . . 22
5. Практическая система электрических единиц и международные электрические единицы . . . . . 23
6. Системы МКС, МКСГ, МКСА, МСС и система СИ . . . . 24
7. Внесистемные единицы . . . . . 29

*Глава II.* **Обзор международных работ по единицам измерений** . . . 32

1. Метрическая система мер . . . . . 32
2. Работы по единицам Международных электротехнических конгрессов и Международной электротехнической комиссии . . . 36
3. Решения генеральных конференций и Международного комитета мер и весов по единицам измерений . . . . . 41
4. Рекомендация по системам единиц Международного союза чистой и прикладной физики . . . . . 44
5. Работы по единицам Технического комитета № 12 Международной организации по стандартизации . . . . . 47

*Глава III.* **Международная система единиц** . . . . . 51

1. Подготовка и установление Международной системы единиц . . 51
2. Международная система единиц . . . . . 54
3. Единица длины — метр . . . . . 57
4. Единица массы — килограмм . . . . . 64
5. Единица времени — секунда . . . . . 66
6. Единица силы тока — ампер . . . . . 70
7. Единица температуры — градус . . . . . 71
8. Единица силы света — свеча . . . . . 75
9. Дополнительные и производные единицы. Международной системы единиц . . . . . 76

*Глава IV.* **Стандартизация единиц измерений в СССР** . . . . . 78

1. Введение метрической системы мер в СССР . . . . . 78
2. Первые советские стандарты на единицы измерений (1927—1929 гг.) . . . . . 80
3. Общесоюзные стандарты на единицы измерений (1932—1934 гг.) . 82
4. Работы комиссии по единицам мер при группе технической физики ОТН АН СССР (1936—1938 гг.) . . . . . 88
5. Положения об электрических и магнитных единицах и о световых единицах 1948 г. . . . . 90
6. Подготовка новых государственных стандартов СССР на единицы измерений физических величин . . . . . 92

*Глава V.* **Государственные стандарты СССР на единицы измерений** . . 93

1. Принципы построения государственных стандартов на единицы измерений . . . . . 93
2. ГОСТ 7663—55. Образование кратных и дольных единиц измерений . . . . . 96

*Стр.*

3. ГОСТ 9867—61 Международная система единиц . . . . . 97
4. ГОСТ 7664—61 Механические единицы . . . . . 100
5. ГОСТ 8550—61 Тепловые единицы . . . . . 108
6. ГОСТ 8033—56 Электрические и магнитные единицы . . . . 116
7. ГОСТ 8849—58 Акустические единицы . . . . . 121
8. ГОСТ 7932—56 Световые единицы . . . . . 123
9. ГОСТ 8848—58 Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности . . . . . 126

*Приложения:* . . . . . 131

1. Таблицы единиц физических величин и переводных коэффициентов 132
2. Справочная таблица перевода неметрических единиц измерения, применяемых в Англии и США, в единицы Международной системы СИ . . . . . 152
3. Таблица уравнений электромагнетизма в рационализированной форме для системы СИ и в нерационализированной форме для симметричной системы СГС . . . . . 156
4. Алфавитный указатель единиц измерения . . . . . 158

*Бурдун Григорий Дмитриевич*
ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Редактор *Л. Г. Бальян*
Технический редактор *Е. З. Рашевская*
Корректоры: *Г. И. Климова, Г. М. Гапенкова*

---

Т-10910. Сдано в набор 21/III 1962 г.
Подписано к печати 3/IX 1962 г.
Формат бум. 60 × 90¹/₁₆. 5,25 бум. л. 10,5 печ. л.
Тираж 15000. Цена 53 коп. Заказ № 61.

---

Издательство Московского университета
Москва, Ленинские горы,
Административный корпус
Типография Изд-ва МГУ.
Москва, Ленинские горы.

Цена 53 коп.

СТАНДАРТГИЗ 1962