

Предисловие

Трудно себе представить какой-либо вид деятельности человека, в котором не использовались бы результаты измерений. Без измерений невозможно существование современной науки, технологии, промышленности, торговли, медицины и т.д. Однако метрология существует не сама по себе, так как с той или иной степенью точности выполненные измерения, сгруппированные и собранные в информационный материал, должны быть еще качественно обработаны и проанализированы, а это предполагает привлечение математических методов, таких как, например, метод теории вероятностей и метод математической статистики. С расширением сферы человеческой деятельности измерения охватывают все новые величины, при этом существенно расширяются и диапазоны измерений; в настоящее время резко возросли и продолжают расти требования к точности измерений, скорости получения измерительной информации, качеству измерений комплекса величин.

Многие положения метрологии узаконены международными конвенциями и действуют в виде международных или национальных стандартов. Это позволяет обеспечить сопоставимость метрологических мероприятий, реализуемых на различных предприятиях в разных государствах в течение длительного времени.

В последнее время становится крайне необходимым, чтобы результаты измерений, выполненные в нашей стране и в различных странах, могли быть легко сопоставимы.

В Российской Федерации используются два подхода к оценке точности измерений. Один подход, связанный с анализом погрешностей, основан на понятиях и терминах, применяемых в отечественных нормативных документах в области обеспечения единства измерений, а в другом подходе для оценки точности используется относительно новый количественный показатель — неопределенность, правовым обеспечением которого является РМГ 43–2001 по применению «Руководства по выражению неопределенности измерений».

Следует отметить, что к сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений относятся измерения,

предусмотренные законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

Предлагаемое учебное пособие адресовано студентам, аспирантам и широкому кругу специалистов, изучающих теорию и практику метрологии, системы метрологического обеспечения, стандартизации и сертификации в области строительства, а именно в системах водоснабжения и водоотведения.

На современном этапе развития мирового сообщества, характеризующегося высокими темпами интенсификации производства, применением взаимосвязанных систем машин и приборов, использованием широкой номенклатуры веществ и материалов, значительно возросли требования к специалистам в области стандартизации. В этих условиях роль стандартизации как важнейшего звена в системе управления техническим уровнем и качеством продукции и услуг на всех этапах научных разработок, проектирования, производства, эксплуатации и утилизации имеет первостепенное значение. Стандартизация изучает вопросы разработки и применения таких правил и норм, которые отражают действие объективных технико-экономических законов, играют большую роль в развитии промышленного производства, вносят значительный вклад в рост общественного богатства, способствует улучшению использования основных фондов, природных богатств. Стандартизация имеет непосредственное отношение к совершенствованию управления производством, повышению качества технологических процессов.

Активно развивается сертификация систем качества и экологического управления предприятий на соответствие стандартам серий ИСО 9000 и ИСО 14000, а также сертификация персонала.

В учебном пособии обобщены результаты научных исследований и практический опыт в рассматриваемой области за последние годы как в России, так и за рубежом.

Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам МосводоканалНИИпроекта, Регионального отделения РАЕН и коллективу кафедры «Водоотведение и водная экология» и лично заведующему кафедрой проф., д-ру техн. наук Е.В. Алексееву за замечания и полезные советы, сделанные при рецензировании рукописи учебного пособия.

Авторы

1. Метрология

1.1. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА О СОСТОЯНИИ ИЗМЕРЕНИЙ В РАЗНЫХ СТРАНАХ МИРА

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

Теоретическая метрология — раздел метрологии, посвященный теоретическим проблемам решения измерительных задач. Содержит теорию измерений, теорию обработки результатов измерений и теорию погрешности.

Прикладная метрология — раздел метрологии, посвященный практике решения измерительных задач. Содержит методики их решения.

Законодательная метрология — раздел метрологии, посвященный разработке метрологических правил и норм, а также нормативных документов и рекомендаций по метрологии, так как практически не всегда удаётся обеспечить научное обоснование методик решения измерительных задач.

Основная проблема метрология — проблема точности решения измерительных задач. Для определения погрешностей измерений создаются эталоны единиц величин, исследуются изменения их свойств с течением времени и выводятся соответствующие поправки.

В далекие исторические времена человеку приходилось постепенно постигать не только искусство счета, но и измерений. При изготовлении простейших орудий труда, строительстве жилища, добывании пищи возникала необходимость измерять расстояния, а затем площади, ёмкости, массу, время. Если при счете человек пользовался пальцами рук и ног, то при измерении расстояний использовались руки и ноги. У каждого народа были свои единицы измерений. Например, строители египетских пирамид эталоном длины считали локоть (расстояние от локтя до конца среднего пальца), древние арабы — волос из ослиной морды, англичане до сих пор пользуются королевским футом (в переводе с английского фут означает нога), равным длине ступни короля. Длина фута была уточнена с введением такой единицы

длины как шток. Это «длина ступней 16 человек, выходящих из храма от заутрени в воскресенье». Деля длину штока на 16 равных частей, получали среднюю длину ступни, ибо из церкви выходили люди разного роста. Длина фута стала равняться 30,48 см. Английский ярд тоже связан с размерами человеческого тела. Эта мера длины была введена королем Эдгаром и равнялась расстоянию от кончика носа его величества до кончика среднего пальца вытянутой в сторону руки. Как только сменился король, ярд удлинился, так как новый монарх был более крупного телосложения. Такие изменения длины вносили большую путаницу, поэтому король Генрих I узаконил постоянный ярд и приказал изготовить из вяза эталон. Этим ярдом в Англии пользуются до сих пор (длина его равна 0,9144 м). Для измерения небольшой длины употреблялась длина сустава большого пальца (в переводе с голландского дюйм означает большой палец). Длина дюйма в Англии была уточнена и стала равняться длине трех ячменных зерен, вынутых из средней части колоса и поставленных друг к другу своими концами. Из английских повестей и рассказов известно, что крестьяне часто определяли высоту лошадей ладонями.

В программе Олимпийских игр Древней Эллады был бег на стадию. Установлено, что греческая стадия (или стадий) — это длина стадиона в Олимпии — 192,27 м. Эта мера была введена в Вавилоне, а затем перешла к грекам. За стадий принимали расстояние, которое человек проходит спокойным шагом за время восхода солнца. Это время приблизительно равно двум минутам.

Почти у всех народов расстояние измерялось шагами, но для измерения полей и других больших расстояний шаг был слишком малой мерой, поэтому была введена мера трость или двойной шаг, а затем и двойная трость, или перша. В морском деле трость называлась штоком. В Англии была и такая мера, как палка пахаря, длина которой 12—16 футов. В Риме использовалась мера, равная тысяче двойных шагов, получившая название миля (от слова милле, милиа — тысяча).

У наших предков были и весьма любопытные способы измерения. У славян была такая мера длины, как «вержение камня» — бросок камнем, «перестрел» — расстояние, которое пролетала стрела, выпущенная из лука. Расстояния измерялись и так: «Печенегия отстояла от хазар на пять дней пути, от алан на шесть

дней, от Руси на один день, от мадьяр на четыре дня и от болгар дунайских на полдня пути». В старинных грамотах о пожаловании земли можно прочесть: «От погоста во все стороны на бычачий рев», это значило — на расстояния, с которых еще слышен рев быка. Подобные меры были и у других народов — «коровий крик», «петушинный крик». Мерой служило и время «пока закипит котел воды». Эстонские моряки говорили, что до берега еще «три трубки» (время, затраченное на выкуривание трубок). «Пушечный выстрел» — тоже мера расстояния. Когда в Японии еще не знали подков для лошадей и «обували соломенными подошвами», появилась мера «соломенный башмак» — расстояние, на котором этот башмак изнашивался. В Испании известна мера расстояния — сигара: путь, который может пройти человек, куря сигару. В Сибири в стародавние времена употреблялась мера расстояния — бука. Это расстояние, на котором человек перестает видеть раздельно рога быка.

Единица аптекарского веса до последнего времени называлась граном, что значит зерно. Единицей массы драгоценных камней и жемчуга является карат — вес семени одного из видов бобов, равный 0,2 г.

У римлян мерой земляных участков был югер (от «югум» — ярмо). Это участок земли, вспахиваемый за день двумя волами, впряженными в деревянное ярмо.

На Руси существовали свои измерения. В России до конца XVI в. основной единицей был локоть (около 0,46 м), а позднее, вплоть до XVIII в., — аршин, равный полутора локтям или 27 английским дюймам (0,686 м). Сажень до XVII в. равнялась трём локтям, а в 1649 г. была установлена сажень, равная трем аршинам. Размер версты также был неодинаковым в разное время. В писцовом наказе 1554 г. названа верста в 500 саженей царских, а уложение 1649 г. установило версту в 1000 саженей трехаршинных. Древнейшими мерами длины являются локоть и сажень. Локтем являлась длина от локтя до переднего сустава среднего пальца и равнялась половине английского ярда. Название сажень происходит от славянского слова сяг — шаг. Сначала оно означало расстояние, на которое можно шагнуть. Затем стали различать сажени — маховую, косую, казенную, мерную, большую, греческую, церковную, царскую, морскую, трубную. Сажень маховая

или мерная — расстояние между вытянутыми пальцами раскинутых рук (176 см). Сажень простая (152 см) — расстояние между размахом вытянутых рук человека от большого пальца одной руки до большого пальца другой. Сажень косая (248 см) — расстояние между подошвой левой ноги и концом среднего пальца вытянутой вверх правой руки. Сажень трубная — длина труб на соляных промыслах.

Небольшие расстояния на Руси измерялись четвертями, пядями и аршинами. Четверть — расстояние между раздвинутыми большим и указательным пальцами, пядь — расстояние от конца большого пальца до конца мизинца при наибольшем возможном их раздвижении. Четыре четверти составляли аршин, который, в свою очередь, трижды вмещался в косую сажень. Мера длины, равная 0,1 дюйма, называлась линией (очевидно потому, что ее можно было отложить при помощи линейки). К наиболее мелким старинным русским мерам длины относится точка, равная 0,1 линии. Возможно, отсюда появилось слово точность.

Для измерения больших расстояний в древности была введена мера, называемая поприще, а затем взамен ее появляется верста. Название это происходит от слова вертеть, которое вначале означало поворот плуга, а потом ряд, расстояние от одного до другого поворота плуга при пахоте. Длина версты в разное время была различной — от 500 до 750 саженей. Да и верст-то было не одна, а две: путевая — ею измеряли расстояние пути и межевая — ею измеряли земельные участки.

До XVIII в. в России наряду с десятиной применялись и единицы площади, изменяющиеся в зависимости от качества земли. Так, единица площади под названием выть равнялась шести десятинам хорошей земли, или семи десятинам средней, или восьми десятинам плохой земли. Аналогично изменялась и единица площади, носившая название соха.

Человеку требовалось измерять не только расстояния, длину, площадь. Существовали также меры жидкости, сыпучих веществ, единицы массы, денежные единицы.

Из мер жидких тел Древней Руси известны: бочка, ведро, корчага, насадка, кружка, чарка. Основной мерой жидкости было ведро. Корчагами (12 кг) измеряли мед и воск. Насадка — 2,5

ведра. Бочка равнялась 4 насадкам или 10 ведрам. Бочка могла равняться и 40 ведрам. Более мелкие меры: штоф — десятая часть ведра, чарка — сотая часть ведра, шкалик равнялся двум чаркам. Русскими мерами веса в X—XVI вв. были берковец, пуд, большая гривенка и золотник. Позднее большую гривенку стали называть ансырь, а в XVII в. — фунт.

Мерами сыпучих тел были бочка и кадь (оков). Кадь была хлебной мерой, вмещала 14 пудов ржи (около 230 кг). Делилась она на две половины или восемь осьмин (четвериков). Позже появился гарнец, равный $1/8$ четверика. Название гарнец идет от глагола загребать и означает деревянную или железную посудину для зерна. Существовало много и местных мер: коробья, пуз, ро-гожа, лукно и другие.

Древнейшей единицей массы (веса) была гривна или гривенка, позже получившая название фунт. Русский фунт (400 г) был меньше английского (454 г). Фунт, как и пуд, происходит от латинского корня и обозначает вес, тяжесть. Фунт подразделялся на 96 золотников, а золотник на 96 долей. Помимо торгового фунта употреблялся аптекарский фунт, который делился на 12 унций.

Более крупными единицами веса был пуд, равный 40 фунтам, и берковец, равный 10 пудам. Берковец происходит от слова беркун — большая плетеная корзина, короб для подноски корма скоту, для переноски сена, соломы. Сходное происхождение имеет слово тонна, оно происходит от английского тун — бочка.

В старину у многих народов мера веса часто совпадала с мерой стоимости товара, так как деньги выражались в весе серебра и золота. Так, в Вавилоне денежная единица шекель, а в Риме асс были и единицами веса. Таково же происхождение и английской денежной единицы фунт стерлингов.

Древнейшей единицей веса и денежного счета на Руси, видимо, была гривна. Её вес был 409,5 г. Предполагают, что гривна от слова «грива»: по количеству серебра гривна равнялась стоимости коня. Различались гривны кунные, серебряные и золотые. Кунные готовились из низкопробного серебра и стоили вчетверо дешевле настоящих серебряных. Золотая гривна была в 12,5 раз дороже серебряной. Позднее гривну стали рубить пополам на гривенки и новый слиток в половину денежной гривны назвали

рублем. Рубль (очевидно от слова «рубить») стал основной денежной единицей на Руси.

В летописях встречается слово «деньга», видимо от названия индийской серебряной монеты «танка». Шесть денег составляли алтын (от татарского алты — шесть). Алтын приравнивался к трем копейкам. Название «копейка» происходит от маленьких монет, выпущенных при Иване Грозном, с изображением всадника с копьем. При Петре I появились гривенники (10-копеечные монеты) и полтинники (50-копеечные монеты).

Соотношения между единицами мер были самые разнообразные. У всех народов складывалась сложная и запутанная система мер. Каждое, даже самое маленькое, государство, каждый хоть немного самостоятельный народ, каждый город стремились измерять своими мерами. Это вносило большую неразбериху при учёте ценностей и особенно в торговле.

С развитием торговых отношений между государствами потребовалось создание эталонов. В разные века предпринимались попытки ввести эталоны. За это время система мер претерпела множество изменений.

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам, на которую прибывали представители 32 стран, была принята Международная система единиц. С 1963 г. ею пользуются во всех областях науки, техники и в различных отраслях экономики:

1.2. ОСОБЕННОСТИ И МЕСТО ИЗМЕРЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПОЗНАНИЯ

На проблемы измерения обращают внимание как философы, так и естествоиспытатели, потому что при наблюдении и проведении эксперимента, роль которых в познании объективной реальности очень велика, измерения занимают важное место. Современное естествознание развивается в таком направлении, что познание качественных сторон явления должно сочетаться с определением количественных отношений между объектами и явлениями объективной реальности.

С зарождением естествознания природа познавалась с помощью наблюдений. Прежде чем делать какие-то выводы о ходе

природных процессов, поведении объектов и так далее, необходимо выделить группы явлений и объектов, познать их в качественном отношении, а когда для практики этого стало недостаточно, появилась необходимость перейти к их количественному познанию.

При наблюдениях сначала применяли простейшие, а затем все более совершенные средства измерений. Например, в астрономии, прежде чем определить более или менее точное положение светил на небе, т.е. перейти к измерению их наблюдаемого движения, устанавливали, какие звезды и в какое время исчезают и появляются на небе, какие группы звезд неподвижны относительно друг друга, какие подвижны и так далее, другими словами, необходимо было провести некоторую качественную классификацию небесных светил. И только после этого оказалось возможным перейти к точному наблюдению с применением средств измерений — собственно измерению.

Так же, как и наблюдение, эксперимент становится оптимальным, если ему сопутствует измерение. Он представляет собой управляемый и контролируемый в определенных пределах процесс, в ходе которого применяются различные технические устройства для того, чтобы изучаемый процесс протекал в «чистом», в основном свободном от случайностей виде, как это необходимо для познания данного явления. Наблюдение есть составная часть любого эксперимента, но ни наблюдения, ни эксперимент нельзя свести друг к другу — это качественно отличные методы познания.

Их отличие заключается в том, что при эксперименте явления природы воссоздаются в искусственных условиях, а возможность создать эти условия определяется наличием существующих в данное время технических устройств. Наличие и уровень развития технических устройств и средств измерений позволяют экспериментатору менять, регулировать условия, в которых происходит измеряемое явление, замедлять или ускорять его. При наблюдении же управлять условиями, в которых происходит явление, не представляется возможным. Эксперимент всегда имеет дело с конкретными физическими телами и явлениями, которые в нём измеряются.

Математическая теория измерений абстрагируется от двух моментов реального физического измерения — от качественной определенности измеряемых величин и от ограниченной точности физических явлений.

Основная задача измерения — найти числовое значение измеряемой величины. При физическом измерении предполагается, что в основном уравнении метрологии $[Q] = q \cdot [U]$ (где Q — измеряемая величина; U — единица измерения; q — числовое значение измеряемой величины). Однако q можно считать рациональным числом, только если предположить, что две величины (например, длины двух отрезков) соизмеримы между собой. Соизмерение величин на практике — следствие того, что мы не доводим наших приближений дальше тех предельных величин, которые можем измерить имеющимися средствами. Таким образом, непосредственный акт физического измерения не дает еще точного результата.

Практически, повышая точность измерения, можно показать, что диагональ квадрата и его основания соизмеримы. В геометрии найдено между ними соотношение $b = a\sqrt{2}$, из которого ясно, что основание и диагональ квадрата между собой несоизмеримы и результат измерения есть число иррациональное.

Таким образом, математическая теория измерений рассматривает рациональное или иррациональное число как результат измерения, а поэтому ее задача и состоит в анализе числа, отображающего результат сравнения величины Q с единицей меры U .

Для естествознания особенно ценны те эксперименты, где познание качественных сторон явления сочетается с познанием количественных (физические величины выражаются в числовой форме), зависимости между физическими величинами находятся в форме математического уравнения, функции и т. д.

Измерение служит связующим звеном между естествознанием и математикой. Простейшим математическим выражением количественных отношений между объектами является функция. Переход от эксперимента к функции возможен, если выразить свойства и отношения природных объектов в числовой форме, а это влечет за собой формирование единиц измерения — необходимого элемента процесса измерения.

Измерительным процедурам исторически предшествовали сравнительные процедуры количественной оценки величин. Они служили исходным средством констатирования величин, из которых впоследствии родилось измерение.

Проведя при помощи определенной физической процедуры сравнительную оценку однокачественных величин, характеризующих ряд объектов, можно расположить эти объекты в некотором порядке согласно количественной оценке сравниваемых величин. Такой порядок обычно называется шкалой. Подобными шкалами различных свойств пользуются в сейсмологии, минералогии и т. д.

Принцип процедур сравнения — или больше, или меньше. Согласно этому принципу объект определяется как обладающий рассматриваемым свойством в большей или меньшей степени по сравнению с другими объектами, обладающими тем же свойством.

Это простейшая форма количественной оценки величин, характеризующих рассматриваемые объекты и позволяющих расположить их в относительно линейном порядке, в чем и заключается познавательная ценность процедур сравнения. Недостаток же их в том, что устанавливаемый порядок — неметрический. При проведении процедур сравнения мы не в состоянии ответить, насколько отличаются между собой однородные величины, характеризующие объекты, что для научного познания очень существенно.

Если рассматривать сравнения в связи с процессом измерения, то видно, что в процессе сравнения отсутствуют единицы измерения и как следствие — отсутствует результат в виде именованного числа.

1.3. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ, ИХ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Для того чтобы можно было установить для каждого объекта различия в количественном содержании свойства, отображаемого физической величиной, в метрологии введены понятия ее размера и значения.

Размер физической величины — это количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию "фи-

зическая величина". Например, каждое тело обладает определенной массой, вследствие чего тела можно различать по их массе, т.е. по размеру интересующей нас физической величины (ФВ).

Значение физической величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с основным уравнением измерения $Q = q[Q]$, связывающим между собой значение ФВ Q , числовое значение q и выбранную для измерения единицу $[Q]$. В зависимости от размера единицы будет меняться числовое значение ФВ, тогда как размер ее будет оставаться неизменным.

Размер единиц ФВ устанавливается законодательно путем закрепления определения метрологическими органами государства.

Важной характеристикой ФВ является ее размерность $\dim Q$ — выражение в форме степенного многочлена, отражающее связь данной величины с основными ФВ. Коэффициент пропорциональности принят равным единице:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\eta \dots,$$

где L, M, T, I — условные обозначения основных величин данной системы; $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ — целые или дробные, положительные или отрицательные вещественные числа.

Показатель степени, в которую возведена размерность основной величины, называют *показателем размерности*. Если все показатели размерности равны нулю, то такую величину называют *безразмерной*.

Размерность ФВ является более общей характеристикой, чем представляющее ее уравнение связи, поскольку одна и та же размерность может быть присуща величинам, имеющим разную качественную природу и различающимся по форме определяющего уравнения. Работа силы F на расстоянии L описывается уравнением $A_1 = FL$. Кинетическая энергия тела массой m , движущегося со скоростью, равна $A_2 = \frac{v^2}{2}$. Размерности этих качественно различных величин одинаковы.

Над размерностями можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечение корня. Понятие размерности широко используется:

- для перевода единиц из одной системы в другую;
- проверки правильности сложных расчетных формул, полученных в результате теоретического вывода;

- при выяснении зависимости между величинами;
- в теории физического подобия.

Описание свойства, характеризующего данной ФВ, осуществляется на языке других, ранее определенных величин. Эта возможность обуславливается наличием объективно существующих взаимосвязей между свойствами объектов, которые, будучи переведенными на язык величин, становятся моделями, образующими в совокупности систему уравнений, описывающих данный раздел физики. Различают два типа таких уравнений:

1. *Уравнения связи между величинами* — уравнения, отражающие законы природы, в которых под буквенными символами понимаются ФВ. Они могут быть записаны в виде, не зависящем от набора единиц измерений входящих в них ФВ:

$$Q = K X^a Y^b Z^g \dots$$

Коэффициент K не зависит от выбора единиц измерений, он определяет связь между величинами. (Площадь треугольника S равна половине произведения основания L на высоту h : $S = 0,5 Lh$. Коэффициент $K = 0,5$ появился в связи с выбором не единиц измерений, а формы самих фигур.)

2. *Уравнения связи между числовыми значениями физических величин* — уравнения, в которых под буквенными символами понимают числовые значения величин, соответствующие выбранному единицам. Вид этих уравнений зависит от выбранных единиц измерения. Они могут быть записаны в виде

$$Q = K_e K X^a Y^b Z^g \dots,$$

где K_e — числовой коэффициент, зависящий от выбранной системы единиц.

Уравнение связи между числовыми значениями площади треугольника и его геометрическими размерами имеет вид при условии, что площадь измеряется в квадратных метрах, а основание и высота соответственно в метрах и миллиметрах:

$$S = 0,5Lh, \text{ т.е. } K_e = 1,$$

или

$$S = 0,5 \cdot 10^{-6} Lh, \text{ т.е. } K_e = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{мм}^2.$$

Совокупность ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимаются за независимые, а другие являются их функциями, называется *системой физических величин*.

Обоснованно, но произвольным образом выбираются несколько ФВ, называемых *основными*. Остальные величины, называемые производными, выражаются через основные на основе известных уравнений связи между ними. (Примерами производных величин могут служить: плотность вещества, определяемая как масса вещества, заключенного в единице объема; ускорение — изменение скорости за единицу времени и др.)

Таблица 1.1

Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

| Величина | | | Единица | | |
|-------------------------------|-------------|---------------------------|--------------|-------------|---------------|
| Наименование | Обозначение | Рекомендуемое обозначение | Наименование | Обозначение | |
| | | | | русское | международное |
| Основные | | | | | |
| Длина | L | l | метр | м | m |
| Масса | M | m | килограмм | кг | kg |
| Время | T | t | секунда | с | s |
| Сила электрического тока | I | I | ампер | A | A |
| Термодинамическая температура | Q | T | кельвин | K | K |
| Кол-во вещества | N | n, V | моль | моль | mol |
| Сила света | J | J | кандела | кд | cd |
| Дополнительные | | | | | |
| Плоский угол | — | — | радиан | рад | rad |
| Телесный угол | — | — | стерадиан | ср | sr |

В названии системы ФВ применяют символы величин, принятых за основные. Например, система величин механики, в которой в качестве основных используются длина (L), масса (M) и время (T), называется системой LMT. Действующая в настоящее время международная система СИ должна обозначаться символами LMTIQNJ, соответствующими символам основных величин:

длине (L), массе (M), времени (T), силе электрического тока (I), температуре (Q), количеству вещества (N) и силе света (J).

Совокупность основных и производных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами, называется *системой единиц физических величин*. Единица основной ФВ является *основной единицей* данной системы. В Российской Федерации используется система единиц СИ, введенная ГОСТ 8.417–81*. В качестве основных единиц приняты: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль и кандела (табл. 1.1).

Производная единица — это единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнениями, связывающими ее с основными единицами или с основными и уже определенными производными.

Производные единицы системы СИ, имеющие собственное название, приведены в табл. 1.2.

Для установления производных единиц следует:

- выбрать ФВ, единицы которых принимаются в качестве основных;
- установить размер этих единиц;
- выбрать определяющее уравнение, связывающее величины, измеряемые основными единицами, с величиной, для которой устанавливается производная единица. При этом символы всех величин, входящих в определяющее уравнение, должны рассматриваться не как сами величины, а как их именованные числовые значения;
- приравнять единице (или другому постоянному числу) коэффициент пропорциональности K_e , входящий в определяющее уравнение. Это уравнение следует записывать в виде явной функциональной зависимости производной величины от основных.

Установленные таким способом производные единицы могут быть использованы для введения новых производных величин. Поэтому в определяющие уравнения наряду с основными единицами могут входить и производные, единицы которых определены ранее.

*Перечень основных государственных законов, постановлений правительства, государственных стандартов и нормативных документов в области метрологии, стандартизации и сертификации см. в прил. 1.

Производные единицы системы СИ, имеющие специальное название

| Величина | | Единица | | |
|---|----------------------|--------------|-------------|---|
| Наименование | Размерность | Наименование | Обозначение | Выражение через единицы СИ |
| Частота | T^{-1} | герц | Гц | c^{-1} |
| Сила, вес | LMT^{-2} | ньютон | Н | $m \cdot kg \cdot c^{-2}$ |
| Давление, механическое | $L^{-1}MT^{-2}$ | паскаль | Па | $m^{-1} \cdot kg \cdot c^{-2}$ |
| Энергия, работа, количество теплоты | L^2MT^{-2} | джоуль | Дж | $m^2 \cdot kg \cdot c^{-2}$ |
| Мощность | L^2MT^{-3} | ватт | Вт | $m^2 \cdot kg \cdot c^{-3}$ |
| Количество электричества | ТI | кулон | Кл | $c \cdot A$ |
| Электрическое напряжение, потенциал, электродвижущая сила | $L^2MT^{-3}I^{-1}$ | вольт | В | $m^2 \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-1}$ |
| Электрическая ёмкость | $L^{-2}M^{-1}T^4I^2$ | фарад | Ф | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot c^4 \cdot A^2$ |
| Электрическое сопротивление | $L^2MT^{-3}I^{-2}$ | ом | Ом | $m^2 \cdot kg \cdot c^{-3} \cdot A^{-2}$ |
| Электрическая проводимость | $L^{-2}M^{-1}T^3I^2$ | сименс | См | $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot c^{-3} \cdot A^2$ |
| Поток магнитной индукции | $L^2MT^{-2}I^{-1}$ | вебер | Вб | $m^2 \cdot kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| Магнитная индукция | $MT^{-2}I^{-1}$ | тесла | Тл | $kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-1}$ |
| Индуктивность | $L^2MT^{-2}I^{-2}$ | генри | Гн | $m^2 \cdot kg \cdot c^{-2} \cdot A^{-2}$ |
| Световой поток | J | люмен | Лм | кд·ср |
| Освещённость | $L^{-2}J$ | люкс | Лк | $m^{-2} \cdot кд \cdot ср$ |
| Активность радионуклида | T^{-1} | беккерель | Бк | c^{-1} |
| Поглощённая доза ионизирующего излучения | L^2T^{-2} | грей | Гр | $m^2 \cdot c^{-2}$ |
| Эквивалентная доза излучения | L^2T^{-2} | зиверт | За | $m^2 \cdot c^{-2}$ |

Производные единицы бывают когерентными и некогерентными. *Когерентной* называется производная единица ФВ, связанная с другими единицами системы уравнением, в котором числовой множитель принят равным единице. Например, единицу скорости образуют с помощью уравнения, определяющего скорость прямолинейного и равномерного движения точки: $v = L/t$,

где L — длина пройденного пути; t — время движения. Подстановка вместо L и t их единиц в системе СИ дает $v = 1$ м/с. Следовательно, единица скорости является когерентной v . Если уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от единицы, то для образования когерентной единицы системы СИ в правую часть уравнения подставляют величины со значениями в единицах СИ, дающие после умножения на коэффициент общее числовое значение, равное единице. Например, если для образования когерентной единицы энергии применяют уравнение $E = 0,5m v^2$, где m — масса тела; v — его скорость, то когерентную единицу энергии можно образовать двумя путями:

$$E = 0,5 (2 m v^2) = 0,5 (1 \text{ м/с})^2 = 1 (\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2) = 1 \text{ Дж};$$

$$E = 0,5m (2 v^2) = 0,5 (1 \text{ кг})(2 \text{ м/с})^2 = 1 (\text{кг}\cdot\text{м}^2/\text{с}^2) = 1 \text{ Дж}.$$

Следовательно, когерентной единицей СИ является джоуль, равный ньютону, умноженному на метр. В рассмотренных случаях он равен кинетической энергии тела массой 2 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, или тела массой 1 кг, движущегося со скоростью $\sqrt{2}$ м/с.

Единицы ФВ делятся на системные и внесистемные. *Системная единица* — единица ФВ, входящая в одну из принятых систем. Все основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными. *Внесистемная единица* — это единица ФВ, не входящая ни в одну из принятых систем единиц. Внесистемные единицы по отношению к единицам СИ разделяют на четыре вида:

- допускаемые наравне с единицами СИ, например: единицы массы — тонна; плоского угла — градус, минута, секунда; объема — литр и др. Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в табл. 1.3;

- допускаемые к применению в специальных областях, например: астрономическая единица, парсек, световой год — единицы длины в астрономии; диоптрия — единица оптической силы в оптике; электрон-вольт — единица энергии в физике и т.д.;

- временно допускаемые к применению наравне с единицами СИ, например: морская миля — в морской навигации; карат — единица массы в ювелирном деле и др. Эти единицы должны изыматься из употребления в соответствии с международными соглашениями;

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru