

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Воткинский филиал
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования
«Ижевский государственный технический университет
имени М.Т. Калашникова»
(ВФ ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)

Кафедра «Технология машиностроения и приборостроения»

Система СИ

Методические указания к выполнению практической работы
по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»
для направления: 15.03.05 Конструкторско-
технологическое обеспечение машиностроительных производств
(квалификация «бакалавр»)

Составитель: Е.В. Чумакова

Издание ВФ ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова

Воткинск 2019

УДК 621. 753

Рецензент

А.Н. Шельпяков, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и приборостроения» ВФ ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Составитель

Е.В.Чумакова, канд. техн. наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и приборостроения» ВФ ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

Система СИ: методические указания к выполнению практической работы по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»/ сост. Е.В. Чумакова. - Воткинск: Изд. ВФ ИжГТУ им. М.Т.Калашникова, 2018.- 24 с.

Методические указания предназначены для изучения раздела «Основные понятия и определения метрологии. Методы и средства измерения, требования регламентирующей документации». В методических указаниях рассмотрены общие положения метрологии и системы СИ, поставлена задача выразить производные единицы измерения через основные.

Предназначены для обучающихся направления: 15.03.05 -Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (квалификация «бакалавр»).

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры «Технология машиностроения и приборостроения» (протокол № 2 от _____.2019) и рекомендовано к изданию методическим советом ВФ ИжГТУ имени М. Т. Калашникова.

Протокол № _____ от «____» _____2019г.

УДК 621. 753

©Чумакова Е.В., составление, 2019

Содержание:	
1. Теоретическая часть	4
1.1. Величины	4
1.2. Шкалы	7
1.3. Системы физических величин и их единиц	12
3. Практическая часть	20
4. Контрольные вопросы	20
Литература	20
Приложение	22

Цель работы: ознакомить обучающихся с международной системой единиц, знать основные и производные единицы системы СИ, научиться определять производные единицы.

ПК-18Способность участвовать в разработке программ и методик контроля и испытания машиностроительных изделий, средств технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления, осуществлять метрологическую поверку средств измерения основных показателей качества выпускаемой продукции, в оценке ее брака и анализе причин его возникновения, разработке мероприятий по его предупреждению и устранению;

ПК-19Способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации, по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукцией.

1. Теоретическая часть

1.1. Величины.

Все объекты окружающего мира характеризуются своими свойствами.

Свойство — философская категория, выражающая такую сторону объекта (явления процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими объектами (явлениями, процессами) и обнаруживается в его отношениях к ним. Свойство — категории качественная. Для количественного описания различных свойств процессов и физических тел вводится понятие величины. *Величина* - это свойство чего-либо, что может быть выделено среди других свойств и оценено тем или иным способом, в том числе и количественно. Величина не существует сама по себе, она имеет место лишь постольку, поскольку существует объект со свойствами, выраженными данной величиной.

Величины можно разделить на два вида: реальные и идеальные.

Идеальные величины главным образом относятся к математике и являются обобщением (моделью) конкретных реальных понятий.

Реальные величины делятся, в свою очередь, на *физические* и **нефизические**. Физическая величина (ФВ) в общем случае может быть определена как величина, свойственная материальным объектам (процессам, явлениям), изучаемым в естественных (физика, химия) и технических науках. К нефизическим следует отнести величины, присущие общественным (нефизическим) наукам — философии, социологии, экономике и т.д.

Рекомендации РМГ 29—99 трактуют физическую величину, как одно из свойств физического объекта, в качественном отношении общее для многих физических объектов, а в количественном — индивидуальное для каждого из них. Индивидуальность в количественном отношении понимают в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого. Таким образом, физические величины — это измеренные свойства физических объектов и процессов, с помощью которых они могут быть изучены.

Физические величины целесообразно разделить на **измеряемые** и **оцениваемые**. Измеряемые ФВ могут быть выражены количественно в виде определенного числа установленных единиц измерения. Возможность введения и использования последних является важным отличительным признаком измеряемых ФВ. Физические величины, для которых по тем или иным причинам не может быть введена единица измерения, могут быть только оценены. Величины оценивают при помощи шкал.

Шкала величины — упорядоченная последовательность ее значений, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений.

Нефизические величины, для которых единица измерения в принципе не может быть введена, могут быть только оценены. Стоит отметить, что оценивание нефизических величин не входит в задачи теоретической метрологии.

По **видам явлений** ФВ делятся на следующие группы:

- **вещественные**, т.е. описывающие физические и физико-химические свойства веществ, материалов и изделий из них. К этой группе относятся масса, плотность, электрическое сопротивление,

емкость, индуктивность и др. Иногда указанные ФВ называют **пассивными**. Для их измерения необходимо использовать вспомогательный источник энергии, с помощью которого формируется сигнал измерительной информации. При этом пассивные ФВ преобразуются в активные, которые и измеряются;

- **энергетические**, т.е. величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии. К ним относятся ток, напряжение, мощность,

энергия. Эти величины называют *активными*. Они могут быть преобразованы в сигналы измерительной информации без использования вспомогательных источников энергии;

- **характеризующие протекание процессов во времени**. К этой группе относятся различного рода спектральные характеристики, корреляционные функции и др.

По принадлежности к различным группам физических процессов ФВ делятся на пространственно-временные, механические, тепловые, электрические и магнитные, акустические, световые, физико-химические, ионизирующих излучений, атомной и ядерной физики.

По степени условной независимости от других величин данной группы ФВ делятся на основные (условно независимые), производные (условно зависимые) и дополнительные. В настоящее время в системе СИ используются семь физических величин, выбранных в качестве основных: длина, время, масса, температура, сила электрического тока, сила света и количество вещества. К дополнительным физическим величинам относятся плоский и телесный углы.

По наличию размерности ФВ делятся на размерные, т. е. имеющие размерность, и безразмерные.

Совокупность чисел Q , отображающая различные по размеру однородные величины, должна быть совокупностью одинаково именованных чисел. Это именование является единицей ФВ или ее доли. **Единица физической величины $[Q]$** — это ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено числовое

значение, равное единице и применяемое для количественного выражения однородных ФВ.

Значение физической величины Q — это оценка ее размера в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Числовое значение физической величины q — отвлеченное число, выражающее отношение значения величины к соответствующей единице данной ФВ.

$$\text{Уравнение} \quad Q = q[Q]$$

называют **основным уравнением измерения**. Суть простейшего измерения состоит в сравнении ФВ Q с размерами выходной величины регулируемой многозначной меры $q[Q]$. В результате сравнения устанавливают, что $q[Q] < Q < (q+1)[Q]$. **Измерение** — познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной ФВ с известной ФВ, принятой за единицу измерения.

1.2. Шкалы

В практической деятельности необходимо проводить измерения различных величин, характеризующих свойства тел, веществ, явлений и процессов. Некоторые свойства проявляются только качественно, другие — количественно. Разнообразные проявления (количественные или качественные) любого свойства образуют множества, отображения элементов которых на упорядоченное множество чисел или в более общем случае условных знаков образуют **шкалы измерения** этих свойств. Шкала измерений количественного свойства является шкалой ФВ.

Шкала физической величины это упорядоченная последовательность значений ФВ, принятая по соглашению на основании результатов точных измерений. Термины и определения теории шкал измерений изложены в документе МИ 2365-96.

В соответствии с логической структурой проявления свойств различают пять основных типов шкал измерений.

- **Шкалы наименований (шкалы классификации)**. Такие шкалы используются для классификации эмпирических объектов, свойства которых проявляются только в отношении эквивалентности. Эти свойства нельзя считать физическими

величинами, поэтому шкалы такого вида не являются шкалами ФВ. Это самый простой тип шкал, основанный на приписывании качественным свойствам объектов чисел, играющих роль имен.

В шкалах наименований, в которых отнесение отражаемого свойства к тому или иному классу эквивалентности осуществляется с помощью органов чувств человека, — это наиболее адекватный результат, выбранный большинством экспертов. При этом большое значение имеет правильный выбор классов эквивалентной шкалы — они должны различаться наблюдателями, экспертами, оценивающими данное свойство. Нумерация объектов по шкале наименований осуществляется по принципу: “не приписывай одну и ту же цифру разным объектам”. Числа, приписанные объектам, могут быть использованы только для определения вероятности или частоты появления данного объекта, но их нельзя применять для суммирования или других математических операций.

Поскольку данные шкалы характеризуются только отношениями эквивалентности, то в них отсутствуют понятия нуля, “больше” или “меньше” и единицы измерения. Примером шкал наименований являются широко распространенные атласы цветов, предназначенные для идентификации цвета.

• **Шкалы порядка (шкалы рангов).** Если свойство данного эмпирического объекта проявляет себя в отношении эквивалентности и порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления свойства, то для него может быть построена шкала порядка. Она является монотонно возрастающей или убывающей и позволяет установить отношение больше/меньше между величинами, характеризующими указанное свойство. В шкалах порядка существует или не существует нуль, но принципиально нельзя ввести единицы измерения, так как для них не установлено отношение пропорциональности и соответственно нет возможности судить, во сколько раз больше или меньше конкретные проявления свойства.

В случаях, когда уровень познания явления не позволяет точно установить отношения, существующие между величинами данной характеристики, либо применение шкалы удобно и достаточно для практики, используют условные (эмпирические) шкалы порядка.

Условная шкала — это шкала ФВ, исходные значения которой выражены в условных единицах. Например, **шкала вязкости Энглера**, **12-балльная шкала Бофорта** для измерения силы морского ветра.

Широкое распространение получили шкалы порядка с нанесенными на них реперными точками. К таким шкалам относится **шкала Мооса** для определения твердости минералов, которая содержит 10 опорных (реперных) минералов с различными условными числами твердости: тальк — 1; гипс — 2; кальций — 3; флюорит — 4; апатит — 5; ортоклаз — 6; кварц — 7; топаз — 8; корунд — 9; алмаз — 10.

Отнесение минерала к той или иной градации твердости осуществляется на основании эксперимента, который состоит в том, что испытуемый материал царапается опорным. Если после царапанья испытуемого минерала кварцем (7) на нем остается след, а после ортоклаза (6) — не остается, то твердость испытуемого материала составляет более 6, но менее 7. Более точного ответа в этом случае дать невозможно.

В условных шкалах одинаковым интервалам между размерами данной величины не соответствуют одинаковые размерности чисел, отображающих размеры. С помощью этих чисел можно найти вероятности, моды, медианы, квантили, однако их нельзя использовать для суммирования, умножения и других математических операций.

Определение значения величин при помощи шкал порядка нельзя считать измерением, так как на этих шкалах не могут быть введены единицы измерения. Операцию по приписыванию числа требуемой величине следует считать **оцениванием**. Оценивание по шкалам порядка является неоднозначным и весьма условным.

• **Шкалы интервалов (шкалы разностей).** Эти шкалы являются дальнейшим развитием шкал порядка и применяются для объектов, свойства которых удовлетворяют отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности. Шкала интервалов состоит из одинаковых интервалов, имеет единицу измерения и произвольно выбранное начало — нулевую точку. К таким шкалам относится летосчисление по различным календарям, в которых за начало отсчета принято либо сотворение

мира, либо Рождество Христово и т.д. Температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта и Реомюра также являются шкалами интервалов.

На шкале интервалов определены действия сложения и вычитания интервалов. Действительно, по шкале времени интервалы можно суммировать или вычитать и сравнивать, во сколько раз один интервал больше другого, но складывать даты каких-либо событий бессмысленно. Шкала интервалов величины Q можно представить в виде уравнения

$$Q = Q_0 + q[Q],$$

где q — числовое значение величины;

Q_0 — начало отсчета шкалы;

$[Q]$ — единица рассматриваемой величины.

Такая шкала полностью определяется заданием начала отсчета Q_0 шкалы и единицы данной величины $[Q]$.

Задать шкалу можно двумя путями. При первом пути выбираются два значения Q_0 и Q_1 величины, которые относительно просто реализованы физически. Эти значения называются **опорными точками**, или **основными реперами**, а интервал $(Q_1 - Q_0)$ — основным интервалом.

Точка Q_0 принимается за начало отсчета, а величина $\frac{(Q_1 - Q_0)}{n} = [Q]$ за единицу $[Q]$.

При этом число единиц n выбирается таким, чтобы $[Q]$ было целой величиной.

Перевод одной шкалы интервалов $Q = Q_{01} + q_1[Q]_1$ в другую $Q = Q_{02} + q_2[Q]_2$ осуществляется по формуле

$$q_1 = \left(q_2 - \frac{Q_{02} - Q_{01}}{[Q]_1} \right) \frac{[Q]_1}{[Q]_2}.$$

Пример. Шкала Фаренгейта является шкалой интервалов. На ней Q_0 — температура смеси льда, поваренной соли и нашатыря, Q_1 — температура человеческого тела. Единица измерения — градус Фаренгейта: $[Q_F] = (Q_1 - Q_0)/96 = 1^\circ F$.

Температура таяния смеси льда, соли и нашатыря оказалась равной 32°F , а температура кипения воды — 212°F .

По шкале Цельсия Q_0 — температура таяния льда,

Q_1 — температура кипения воды.

Градус Цельсия $[Q_C] = (Q_1 - Q_0)/100 = 1^{\circ}\text{C}$. Требуется получить формулу для перехода от одной шкалы к другой.

Решение. Значение разности температур по шкале Фаренгейта между точкой кипения воды и точкой таяния льда составляет $212^{\circ}\text{F} - 32^{\circ}\text{F} = 180^{\circ}\text{F}$.

По шкале Цельсия интервал температур равен 100°C . Следовательно, $100^{\circ}\text{C} = 180^{\circ}\text{F}$ и отношение размеров единиц

$$\frac{[Q]_1}{[Q]_2} = \frac{^{\circ}\text{F}}{^{\circ}\text{C}} = \frac{100}{180} = \frac{5}{9}$$

Числовое значение интервала между началами отсчета по рассматриваемым шкалам, измеренного в градусах Фаренгейта ($[Q_1] = F$), равно 32. Переход от температуры по шкале Фаренгейта к температуре по шкале Цельсия производится по формуле

$$t = \frac{5}{9}(t_F - 32).$$

При втором пути единица воспроизводится непосредственно как интервал, его некоторая доля или некоторое число интервалов размеров данной величины, а начало отсчета выбирается каждый раз по-разному в зависимости от конкретных условий изучаемого явления. Пример такого подхода — шкала времени, в которой $1\text{с} = 9\,192\,631\,770$ периодов излучения, соответствующих переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. За начало отсчета принимается начало изучаемого явления.

Шкалы отношений. Эти шкалы описывают свойства эмпирических объектов, которые удовлетворяют отношениям эквивалентности, порядка и аддитивности (шкалы второго рода — аддитивные), а в ряде случаев и пропорциональности (шкалы первого рода — пропорциональные). Их примерами являются шкалы массы (второго рода) и термодинамической температуры (первого рода).

В шкалах отношений существует однозначный естественный критерий нулевого количественного проявления свойства и единица измерений. С формальной точки зрения шкала отношений является шкалой интервалов с естественным началом отсчета. К значениям, полученным по этой шкале, применимы все арифметические действия, что имеет важное значение при измерении ФВ.

Шкалы отношений — самые совершенные. Они описываются уравнением $Q = q[Q]$,

где Q — ФВ, для которой строится шкала; $[Q]$ — ее единица измерения; q — числовое значение ФВ.

Переход от одной шкалы отношений к другой происходит в соответствии с уравнением $q_2 = q_1[Q_1]/[Q_2]$.

· **Абсолютные шкалы.** Под абсолютными понимают шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно имеющие естественное однозначное определение единицы измерения и не зависящие от принятой системы единиц измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам: коэффициенту усиления, ослабления и др. Для образования многих производных единиц в системе СИ используются безразмерные и счетные единицы абсолютных шкал.

Отметим, что шкалы наименований и порядка называют **неметрическими (концептуальными)**, а шкалы интервалов и отношений — **метрическими (материальными)**. Абсолютные и метрические шкалы относятся к разряду линейных. Практическая реализация шкал измерений осуществляется путем стандартизации как самих шкал и единиц измерений, так и, в необходимых случаях, способов и условий их однозначного воспроизведения.

1.3. Системы физических величин и их единиц

В науке, технике и повседневной жизни человек имеет дело с разнообразными свойствами окружающих нас физических объектов. Эти свойства отражают процессы взаимодействия объектов между собой. Их описание производится посредством физических величин. 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 “физическая величина”. Например, каждое тело обладает определенной массой, вследствие чего тела можно различать по их массе, т.е. по размеру интересующей нас 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. Например, работа силы F на расстоянии L описывается уравнением $A_1 = FL$. Кинетическая энергия тела массой m , движущегося со скоростью v , равна $A_2 = mv^2/2$.

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;
- для 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:

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:

$$Q = KX^a Y^b Z^g \dots,$$

Коэффициент K не зависит от выбора единиц измерений, он определяет связь между величинами. Например, 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.

Уравнения связи между числовыми значениями физических величин — уравнения, в которых под буквенными символами понимают числовые значения величин, соответствующие выбранным 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. Например, 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:

$$S = 0,5 Lh, \text{ т. е. } K_e = 1; \text{ или}$$

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

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.

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 канделла (табл. 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 таблице 2.

Для установления производных единиц следует:

- выбрать ФВ, единицы которых принимаются в качестве основных;

Таблица 1 - Основные и дополнительные единицы физических величин системы СИ

Величина			Единица		
Наименование	Размерность	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
Количество вещества	N	n, v	моль	моль	mol
Сила света	J	J	канделла	кд	cd
	Дополнительные				
Плоский угол	φ	-	радиан	рад	rad
Телесный угол	Ω	-	стерадиан	ср	sr

- 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.

Производные единицы бывают когерентными и неkohерентными. **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.

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 $E = 0,5/mv^2$, где m — масса тела; v — его скорость, то когерентную единицу энергии можно образовать двумя путями: $E = 0,5 (2mv^1) = 0,5 (1 \text{ м/с})^2 = 1 (\text{кг м}^2/\text{с}^2) = 1 \text{ Дж}$;

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

$$(\text{кг м}^2/\text{с}^2) = 1 \text{ Дж.}$$

Таблица 2 - Производные единицы системы СИ

Величина				Единица
Наименование	Размерность	Наименов.	Обозначение	ч/з систему СИ
Частота	T^{-1}	герц	Гц	s^{-1}
Сила, вес	$LM T^{-2}$	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot c^{-2}$
Давление, механич. напряжение	$L^{-1} M T^{-2}$	паскаль	Па	$м^{-1} кг \cdot c^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	$L^2 M T^{-2}$	джоуль	Дж	$м^2 кг \cdot c^{-2}$
Мощность	$L^2 M T^{-3}$	ватт	Вт	$м^2 кг \cdot c^{-3}$
Количество электричества	TI	кулон	Кл	$c \cdot A$
Электрическое напряжение, потенциал, ЭДС	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	вольт	В	$м^2 кг \cdot c^{-3} A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$	фарад	Ф	$м^{-2} кг^{-1} c^4 A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2 M T^{-3} I^{-2}$	ом	Ом	$м^2 кг \cdot c^{-3} A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2} M^{-1} T^3 I^2$	сименс	См	$м^{-2} кг^{-1} c^3 A^2$
Поток магнитной индукции	$L^2 M T^{-2} I^{-1}$	вебер	Вб	$м^2 кг \cdot c^{-2} A^{-1}$
Магнитная индукция	$M T^{-2} I^{-1}$	тесла	Тл	$кг \cdot c^{-2} A^{-1}$
Индуктивность	$L^2 M T^{-3} I^{-1}$	генри	Гн	$м^2 кг \cdot c^{-2} A^{-2}$
Световой поток	J	люмен	лм	$кд \cdot cр$
Освещенность	$L^{-2} J$	люкс	лк	$м^{-2} \cdot кд \cdot cр$
Активность радионуклида	T^{-1}	беккерель	Бк	c^{-1}
Поглощенная доза ионизирующего излучения	$L^2 T^{-2}$	фей	Гр	$м^2 \cdot c^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	$L^2 T^{-2}$	зиверт	Зв	$м^2 \cdot c^{-2}$

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 - 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 таблице Приложения 1;

- 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;

- изъятые из употребления, например: миллиметр ртутного столба — единица давления; лошадиная сила — единица мощности и некоторые другие.

Различают кратные и дольные единицы ФВ. *Кратная единица* — это единица ФВ, в целое число раз превышающая системную или внесистемную единицу. Например, единица длины - километр — равна 10^3 м, т.е. кратна метру. *Дольная единица* — единица ФВ, значение которой в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы. Например, единица длины — миллиметр

равна 10^{-3} м, т.е. является дольной. Приставки для образования кратных и дольных единиц приведены в таблице Приложения 2.

В системе СИ впервые введено понятие дополнительных единиц, к которым отнесены единицы плоского и телесного углов — радиан и стерадиан.

2. Практическая часть

1.Выразить в основных единицах системы СИ производные единицы: электротехники, теплотехники, гидравлики, механики, оптики. (Не менее трех единиц физических величин по каждому разделу физики).

2.Записать размерности производных единиц.

3.Письменно привести примеры внесистемных единиц измерения (Не менее пяти примеров).

3. Контрольные вопросы

1.Что такое величина? Какие бывают величины?

2.Основное уравнение измерения.

3.Какие бывают шкалы? Привести примеры.

4.Размерность физических величин.

5.Системные и внесистемные физические величины.

6.Когерентные и некогерентные физические величины.

7.Кратные и дольные значения величины.

Литература

Основная литература.

1.Выбор показателей точности для типовых соединений в машиностроении [Электронный ресурс]: учебное пособие / В. П. Меринов, Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Е. С. Кириллов. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов : Вузовское образование, 2019. — 123 с. — 978-5-4487-0352-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79754.html>

2. Таренко Б.И. Метрология, взаимозаменяемость, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс]: тексты лекций/ Б.И.Таренко, Р.А.Усманов.- Электронные текстовые данные. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет,

2011.- 222 с. – 978-5-7882-1048— Режим доступа:
<http://www/iprbookshop.ru/63727/html>

Дополнительная литература.

1.Власов А.Д., Мурин Б.П. Единицы физических величин в науке и технике: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1990. -176 с.

2.Единицы, величины, уравнения их практическое использование: / Под редакцией Селиванова П.Н. – Киев: Вища шк. – 1984 г. -199с.

3.Камке Д., Кремер К. Физические основы единиц измерения. – М.: Мир, 1980. – 208 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1 - Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ.

Наименование величины	Наименование единицы	Обозначение единицы	Соотношение с единицей СИ
Масса	Тонна Атомная единица массы	т А.е.м.	1000 кг $1,66057 \times 10^{-27}$ кг
Время	Минута Час Сутки	мин ч сут	60с 3600с 86400 с
Плоский угол	Градус Минута Секунда Град	...° ...' ...'' град	$(\pi/180)$ рад $(\pi/10800)$ рад $(\pi/648000)$ рад $(\pi/200)$ рад
Объем	Литр	л	10^{-3} м ³
Длина	Астрономическая единица Световой год Парсек	А.е. Св. год пк	м $1,45598 \times 10^{11}$ $9,4605 \times 10^{15}$ $3,0857 \times 10^{16}$
Оптическая сила	Диоптрия	дптр	1 м ⁻¹
Площадь	Гектар	га	10 ⁴ м ²
Энергия	Электрон-вольт	эВ	$1,60219 \times 10^{-19}$ Дж
Полная мощность	Вольт-ампер	В·А	-
Реактивная мощность	вар	вар	-

Таблица 2 - Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Международное обозначение	Русское обозначение	Множитель	Приставка	Международное обозначение	Русское обозначение
10^{18}	экса	E	Э	10^{-1}	деци	d	д
10^{15}	пета	P	П	10^{-2}	санτι	c	с
10^{12}	тера	T	Т	10^{-3}	милли	m	м
10^9	гига	G	Г	10^{-6}	микро	μ	мк
10^6	мега	M	М	10^{-9}	нано	n	н
10^3	кило	k	к	10^{-12}	пико	p	п
10^2	гекто	h	г	10^{-15}	фемто	f	ф
10^1	дека	da	да	10^{-18}	атто	a	а

Система СИ

Методические указания к выполнению практической работы
по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация»
для направления: 15.03.05 - Конструкторско-
технологическое обеспечение машиностроительного
производства

Составитель: Чумакова Елена Валентиновна

Председатель методического совета: Б.А.Сентяков

Подписано в печать __ . __ .2019.

Объем 1,4 усл.п.л.

Печать оперативная

Тираж 25 экз.

Воткинский филиал Ижевского государственного технического
университета имени М.Т.Калашникова. 427430, г.Воткинск,
ул.Шувалова,1, www.vfistu.ru

E-mail: vfistu@mail.ru, тел.8-(34145) 5-15-00