ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. Шевченко
Инженерно-технический институт
Инженерно-технический факультет

Кафедра машиноведения и технологического оборудования

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания

Тирасполь, 2015

УДК 388(072.8)+006(072.8)+658.5(072.8)

ББК Ж10р30+Ж.ц.р.30+У291.823.2р30

М54

Составители: **Т. Ф. Рыбалова**, старший преподаватель ПГУ, **В.П. Юсюз**, старший преподаватель ПГУ

Рецензенты:

О.П.Ткаченко, старший преподаватель ПГУ

О.П. Занегина, главный метролог ОАО «Литмаш»

Метрология, стандартизация, сертификация: Методические указания /Сост.: Т.Ф. Рыбалова, В.П. Юсюз. Тирасполь:2015. - 61 с.

Методические указания к практическим занятиям соответствуют дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» по Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования.

Методические указания предназначены для студентов всех инженерных специальностей и направлений подготовки очной и заочной форм обучения, учебным планом у которых предусмотрено изучение раздела дисциплины «Метрология».

В данных методических указаниях приведены подробные примеры решения задач, связанных с размерностью, с системой единиц величин, нахождением погрешностей и на расчеты надежности приборов.

Утверждено Научно-методическим Советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко.

© Рыбалова Т.Ф., Юсюз В.П. составление, 2015

Оглавление

	Введение	4
1	Методические рекомендации по проведению и выполнению практических занятий.	6
2	Практическое занятие по теме «Система величин. Основные единицы (системы единиц величин). Производные, кратные, дольные. Обозначение. Правила написания»	7
3	Практическое занятие по теме «Размерность величин в соответствии с международным стандартом ИСО 31/0 в системе LMTIΘNJ»	14
4	Практическое занятие по теме «Погрешности измерений»	19
5	Практическое занятие по теме «Классы точности средств измерений и расчет надежности приборов»	31
	Литература	45
	Приложение А - Основные единицы Международной системы единиц СИ	46
	Приложение Б - Производные единицы СИ, имеющие специальное наименование и обозначения	48
	Приложение В - Приставки для образования кратных и дольных единиц и правила их написания.	51
	Приложение Г- Внесистемные единицы, временно разрешенные к применению.	53
	Приложение Д – Внесистемные единицы, временно разрешенные к применению.	54
	Приложение Е - Выписка из ГОСТ 8.417 – 2000 Правила написания и обозначения единиц ФВ.	55
	Приложение Ж - Таблица перевода единиц измерений в единицы системы СИ	57
	Приложение К - Метрологические характеристики средств измерений	60

«Каждая вещь известна
лишь в той степени, в какой ее
можно измерить». Кельвин

Введение

Настоящие методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины " Метрология, стандартизация и сертификация" в части **метрологии**. Согласно рекомендациям по межгосударственной стандартизации (РМГ29-2013) **метрология** – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. Она разделяется на три раздела: теоретическую метрологию, законодательную метрологию и практическую (прикладную) метрологию.

Цели метрологии, как науки – обеспечение единства измерений (ОЕИ); извлечение количественной информации о свойствах объекта, окружающем мире, о процессах с заданной точностью и достоверностью. Цели практической метрологии – метрологическое обеспечение производства, т.е. установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для ОЕИ и требуемой точности проводимых измерений.

Невозможно представить себе современную жизнь без измерений. Область измерений обширна и охватывает практически всю сферу деятельности человека. Измерения являются важным средством познания человеком природы и играют огромную роль в современном мире. Очень важно вспомнить здесь высказывания Д. И. Менделеева, что «что наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры». Что особенно важно, чем более развиты измерения, тем успешнее идет совершенствование тех отраслей, в которых они применяются. В развитых про-

мышленных странах к измерительным процессам относят до 35 % затрат общественного труда.

Знания, полученные студентами в области метрологии, пригодятся им в дальнейшей практической деятельности, независимо от того, где им придется работать.

Очень важным при изучении раздела дисциплины «Метрология» является знакомство с терминами, определениями, понятиями, зафиксированными в государственных, европейских и международных стандартах, что позволяют повысить уровень технической образованности, создает хорошую базу для совершенствования знаний в практической и теоретической метрологии.

Чем больше развивается измерительная техника, тем большее значение приобретает метрология, создающая и совершенствующая теоретические основы измерений, обобщающая практический опыт в области измерений и направляющая развитие в области измерительной техники.

Важность знаний в области метрологии важна не только для проектировщиков и изготовителей продукции, но и для специалистов, занимающихся реализацией продукции.

1 Методические рекомендации по проведению и выполнению практических занятий.

Практические занятия строятся с учетом того, что студенты прослушали теоретический курс по рассматриваемым темам и перед каждым практическим занятием они должны изучить соответствующий материал, рекомендуемый преподавателем по данной дисциплине. Тема следующего практического занятия оговаривается преподавателем заранее и (или) выдается группе календарно-тематический план занятий.

На практических занятиях студенты должны приобрести практический опыт работы с нормативной документацией и приобрести навыки в решении задач и при выполнении практических заданий по темам. Для практических занятий необходимо иметь тетрадь в клеточку (18-24 листа), в которой должны быть решены задачи по темам практических занятий, а также ответы на контрольные вопросы к каждой теме, а также перечень ключевых слов данной темы. Схемы, рисунки и эскизы должны быть выполнены аккуратно, карандашом, запись в тетради выполнять чернилами (пастой) черного цвета. Каждое практическое занятие должно быть выделено по типу: Практическое занятие №1, тема «Система единиц величин. ….». Дата проведения. Далее: цель занятия, ключевые слова по теме, выполнение задач (заданий) по теме, включая домашнее задание, контрольные вопросы. Рубежный контроль, проводимый преподавателем по теме (темам), тоже должен быть отражен в тетради.

Студентам во время практических занятий предлагается индивидуальная работа по теме, так как имеются задания по вариантам в разделе «Практическая часть задания». Занятия по темам оканчиваются, как правило, контрольной или самостоятельной работой. Оценки за эти работы проставляются преподавателем в тетради. Студенты, пропустившие занятия или получившие неудовлетворительную оценку по теме занятия, обязаны сдать зачет по этой теме.

2 **Практическое занятие по теме «Система величин. Основные единицы (системы единиц величин). Производные, кратные, дольные. Обозначение. Правила написания»**

2. 1 Цель занятия: получить практические навыки в решении задач по переводу величин в систему единиц СИ.

2.2 Ключевые слова: величина, значение величины, система величин, основная величина, Международная система единиц, основная единица **(**системы единиц величин), производные единицы, кратные и дольные единицы.

2.3 Теоретический раздел занятия:

Все термины и определения для данного раздела взяты с Международного словаря по метрологии VIM3-2008 и с РМГ29-2013.

Величина (РМГ29-2013 п.3.1) – свойства материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих физических объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Значение величины (РМГ29-2013 п.3.4) – выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц, или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений.

Система величин (РМГ29-2013 п.3.6) – согласованная совокупность величин и уравнений, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины условно принимают за независимые, а другие определяют как функции независимых величин. Примечание - В названии системы величин применяют символы величин, принятых за основные единицы. Так система величин механики должна называться системой LMT.

Система основных величин, соответствующая Международной системе единиц (СИ), должна обозначаться символами LMTIΘNJ.

Основная величина (РМГ29-2013 п.3.8) – одна из величин подмножества, условно выбранного для данной систе-

мы величин так, что никакая из величин этого подмножества не может выражаться через другие величины. Так в системе механики в качестве основных величин приняты длина L, масса M и время T . В системе LMTIΘNJ, соответствующей Международной системе единиц СИ, в качестве основных величин приняты – длина L, масса M, время T, сила электрического тока I, температура Θ, количество вещества N и сила света J.

В 1960 году Генеральной конференцией по мерам и весам была принята **Международная система единиц** (System International), или сокращенно **СИ (SI)** (РМГ29-2013 3.16)**.** Система единиц основана на Международной системе величин, вместе с наименованиями и обозначениями, а также с набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения

Причины внедрения Международной системы единиц:

- широкая универсальность использования во всех областях науки и техники;
- унификация всех областей и видов измерений;
- воспроизведение единиц с высокой степенью точности, следовательно, с наименьшей погрешностью;
- упрощение записи формул наряду со снижением количества допускаемых единиц;
- единая система образования кратных и дольных единиц измерения, имеющих самостоятельные наименования.

Основная единица (системы единиц величин) (РМГ29-2013 3.18) - единица измерения, принятая по соглашению для основной величины.

Пример - **Основные единицы** Международной системы единиц (**СИ**): метр (**м**), килограмм (**кг**), секунда (**с**), ампер (**А**), кельвин (**К**), моль (**моль**) и кандела (**кд**). Основу системы СИ составляют семь **основных единиц измерения**: длины – метр, массы – килограмм, времени – секунда, силы электрического тока – ампер, термодинамической температуры – кельвин, количества вещества – моль, силы света – кандела (смотри приложение А).

Производная единица (системы единиц физических величин) (РМГ29-2013 3.19) –единица измерения для производной величины.

Например: единица скорости 1 - м/с образована из двух основных единиц метр и секунда, единица силы 1 Н из трех основных единиц СИ- килограмма, метра и секунды.

В приложении Б смотри производные единицы СИ, имеющие специальное наименования и обозначения.

Термин "дополнительная единица" был введен в 1960 г. на XI ГКМВ (Генеральная конференция по мерам и весам). Дополнительными единицами являлись "радиан" и "стерадиан". На XIX ГКМВ это понятие упразднено.

Кратная единица величины (РМГ29-2013 3.24) - единица величины, в целое число раз **большая** системной или внесистемной единицы. Пример - Единица длины 1 км = 10^3 м, т.е. кратная метру; единица частоты 1 МГц (мегагерц) = 10^6 Гц, кратная герцу; единица активности радионуклидов 1 МБк (мегабеккерель) = 10^6 Бк, кратная беккерелю.

Дольная единица величины (РМГ29-2013 3.25) - единица величины, в целое число раз **меньшая** системной или внесистемной единицы. Пример - Единица длины 1 нм (нанометр) = 10^{-9} м и единица времени 1 мкс = 10^{-6} с являются дольными соответственно от метра и секунды. В приложении **В** смотри таблицу приставок, используемых для образования кратных и дольных единиц, а также правила их написания.

Системными единицами величины являются единицы величины, входящие в принятую систему единиц (основные, производные, кратные и дольные единицы являются системными). Например: 1 м; 1 м/с; 1 км; 1 нм. Единица величины, не входящая в принятую систему единиц называется **внесистемной**. Внесистемные единицы (по отношению к единицам СИ) разделяются на четыре группы (смотри приложение Г и Д): 1 - допускаемые наравне с единицами СИ;

2 - допускаемые к применению в специальных областях;

3 - временно допускаемые;

4 - устаревшие (недопускаемые).

2.4 Примеры решения задач.

Перед тем, как начать решать задачи, необходимо ознакомиться с ГОСТ 8.417-2000 и приложениями Ж и Е настоящих методических указаний.

2.4.1 Задача 1 – Скорость автомобиля, движущегося по трассе равна 90 км/час. После экстренного торможения он остановился, через 4 сек. Определить силу торможения, если масса автомобиля равна 1.5 т.

Решение: Сила торможения автомобиля определяется по формуле: $F \cdot t = m \cdot v$, где F – сила, m – масса, t – время, v - скорость

Переводим все величины в единицы СИ:

m = 1,5 т = 1500 кг; v = 90 км/ч = 25 м/с.

Находим значение силы торможения $F = \frac{mv}{t} = \frac{1500 \times 25}{2} = 18750$ Н $\cong$ 18,75 кН

Задача 2.4.2 - В прежних единицах угловая скорость выражалась в оборотах в минуту и была равна 1500 об/мин. Выразить угловую скорость в единицах системы СИ.

Решение: зная, что один оборот в минуту равен 0,105 рад/с в системе СИ (смотри приложение Ж), определяем угловую скорость ω = 1500 х 0,105 = 157, 5 рад/с. Или $\omega = 1500 \cdot 2\pi / 60 = 55\pi$ рад/с = 157,5 рад/с.

Задача 2.4.3 При работе отбойным молотком сила удара составляет 400 кгс. Выразить силу в единицах системы СИ.

Решение: Зная, что $F = m \cdot g$ получаем $F = 400 \cdot 9{,}80665 = 3922.66$ Н $\approx$ 3.9 кН.

Задача 2.4.4 Кинетическая энергия маховика составляет 25 кгс ·м. Выразить эту энергию в единицах системы СИ.

Решение: К = 25·9,80665 = 245,16625Дж.

Задача 2.4.5 Работа, выполненная мотором мощностью 5 кВт за 7 ч, составляет 35 кВт·ч. Выразить работу в единицах системы СИ (смотри приложение Ж).

Решение: Так как 1 кВт·ч = $3{,}6 \cdot 10^3$ Дж, то

$A = 35 \cdot 10^3 \cdot 3{,}6 \cdot 10^3 = 126 \cdot 10^6$ Дж = 126 МДж.

Задача 2.4. 6 Привычно слышать фразу «Мощность моего автомобиля составляет 90 л.с». Выразите ее в единицах системы СИ.

Решение: 90·735,499 = 66194,91 Вт ≈ 66,2 кВт (смотри приложение Ж).

Задача 2.4**.7** - Во многих странах Европы температура измеряется по шкале Фаренгейта. Если в Париже 68 °F, а в Москве 25 °C, то где теплее?

Решение: при переводе градусов из шкалы Фаренгейта в шкалу Цельсия пользуются формулой $t_c = (t_F - 32) \cdot 5/9$, получаем: $t_c = (68-32) \cdot 5/9 = 20$ °C. Следовательно, теплее в Москве.

Задача 2.4.8 – При контроле конструкторского документа были обнаружены следующие записи: 220В; 18°25′; 28″8; 45±1 К; 118 Н ± 3 Н; от -5 мм до +8 мм; 8,6 кг/м·с.

Выбрать те, которые вызвали сомнения нормоконтролера, обосновать их.

Решение: 220В – необходим пробел между числом и единицей измерения 220 В;

18°25′ - ошибки нет;

28″8 – ошибка, единица проставляется после всех цифр, 28,8″;

45±1 К – ошибка, один из способов записи (45±1) К;

118 Н ± 3 Н – ошибки нет, это второй способ записи;

от -5 мм до +8 мм – ошибка, так как при указании интервала числовых значений единица указывается только в конце от -5 до +8 мм;

8,6 кг/м·с- ошибка, так как при применении косой черты произведение обозначений единиц в знаменателе берется в скобки 8,6 кг/(м·с)

2.5 Практическая часть задания.

Задача **1** Автомобиль движется по городу со скоростью 40 км/ч. После выключения двигателя и торможения автомобиль останавливается через 5 с. Определить силу торможения, если масса автомобиля 2.5 т.

Задача **2** Допускаемая угловая скорость в зубчатых передачах в прежних единицах равна 2500 об/мин. Выразить угловую скорость в единицах системы СИ.

Задача **3** Сила давления на ролик при накатывании резьбы составляет

305 кгс. Выразить силу в единицах системы СИ.

Задача **4** Выразить кинетическую энергию маховика, составляющую 12,5 кгс·м в единицах системы СИ.

Задача **5** Работа, выполненная мотором мощностью 3 кВт за 12 ч, составляет 36 кВт·ч. Выразить работу единицах системы СИ.

Задача **6** Мощность двигателя автомобиля составляет 75 л.с. Выразите мощность в единицах системы СИ.

Задача **7** Дюймовые доски длиной 3 м и шириной 20 см отпускаются со склада по цене 500 руб. за кубометр. Сколько стоят 10 досок?

Задача **8** Скорость автомобиля на прямолинейном участке трассы составила 175 км/ч. Перевести в единицы измерения системы СИ.

Задача **9** На мировом рынке нефть продается по цене 80 американских долларов за баррель. Оценить ежеквартальный объем выручки от экспорта 150 тыс. т нефти.

Задача **10** Во многих странах Европы температура измеряется по шкале Фаренгейта. Если в Париже 77 °F, а в Москве 28 °C, то где теплее?

Задача **11** Определить в единицах СИ среднюю скорость (V) объекта, если за время t = 500 мс им пройдено расстояние S = 10 см.

Задача **12** Угловая скорость электродвигателя составляет 1400 оборотов в минуту. Перевести в единицы измерения системы СИ.

Задача **13** Преобразуйте приведенные значения величин, используя кратные и дольные приставки: 12,5 $\cdot 10^3$ Ом; 22,5 $\cdot 10^{13}$ Гц; 5,62 $\cdot 10^7$ Па.

Задача **14** Погрешность мембранного преобразователя давления не более 5 мм вод. ст . Выразить ее в единицах СИ.

Задача **15** По справочным данным плотность латуни (60% Cu и 40% Zn) равна 8, 14 г/см ^{3} . Выразить ее в единицах СИ.

Задача **16** Записать правильно и обосновать необходимые исправления в следующих записях, сделанных по метрологической экспертизе: 2,6 кгс$^{-2}$ /м; 2,56 Нм; 0,1 мкм, 0,5 мкм или 0,8 мкм; 77±1 мм; от 0,1 Н до 0,2 Н; 5 кг/с ^{2} м, 20 м.

Задача **17** Определить маховой и динамический моменты инерции для вращающейся массы 0,5 тонн при диаметре инерции равном 150см. (Напоминание Nм = $m \cdot D^2$ Nд = $m \cdot r^2$).

2.6 Контрольные вопросы к практической работе по теме: «Система величин. Основные единицы (системы единиц величин). Производные, кратные, дольные. Обозначение. Правила написания»

1 Что такое единица измерения величины?

2 На основе каких единиц величины строится система SI?

3 Производные единицы SI.

4 Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами SI.

5 Правила образования кратных и дольных единиц.

6 Правила написания обозначений единиц.

7 Наименования каких единиц пишутся с большой буквы.

8 Наименования каких приставок пишется с большой буквы.

3 Практическое занятие по теме «Размерность величин в соответствии с международным стандартом ИСО в системе LMTIΘNJ».

3.1 Цель занятия: уяснить понятие размерность величины и получить практические навыки в решении задач по нахождению размерности производной величины.

3.2 Ключевые слова: размерность величины, показатель размерности величины, размерность производной величины, общий вид размерности величины.

3.3 Теоретический раздел занятия:

Размерность величины (РМГ29-2013 3.11**)** – выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных физических величин в различных степенях и отражающее связь данной физической величины с физическими величинами, принятыми в данной системе величин за основные с коэффициентом пропорциональности, равным 1.

В соответствии с международным стандартом ИСО 31/0, размерность измеряемой величины является качественной ее характеристикой и обозначается знаком dim, происходящим от слова dimension, которое в зависимости от контекста может переводиться и как размер, и как размерность. В системе величин LMT (величины системы механики) размерность величины X будет:

$\dim x = L^{\alpha}M^{\beta}\,T^{\gamma\cdot}$, где L, M, T – символы величин, принятых за основные (соответственно длины, массы, времени).

Показатель размерности физической величины (РМГ29-2013 3.12**)** – показатель степени, в которую возведена размерность основной величины, входящая в размерность производной величины.

Показатели степени α, β, γ называют показателями размерности производной физической величины X. Показатель

размерности основной величины в отношении самой себя, равен единице.

При определении размерности **производных** величин руководствуются следующими правилами:

- Размерности левой и правой частей уравнений не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства. Объединяя левые и правые части уравнений, можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковые размерности.

- Алгебра размерностей мультипликативна, т. е. состоит из одного единственного действия – умножения. Размерность произведения нескольких величин равна произведению их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин Q, A, B, C имеет вид $Q = A \cdot B \cdot C$, то

$\dim Q = \dim A \cdot \dim B \cdot \dim C$.

Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, т. е. если $Q = A/B$, то

$\dim Q = \dim A/\dim B$.

Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна ее размерности в той же степени.

Так, если $Q = A^n$, то $\dim Q = \dim^n A$.

Так, например, поставив в определяющее уравнение скорости равномерного движения $v = ds/dt$ вместо ds размерность длины L и вместо dt размерность времени T, получим $\dim v = L/T = LT^{-1}$. Подставив в определяющее уравнение ускорения $a = dv/dt$ вместо dt размерность времени T и вместо dv найденную выше размерность скорости LT^{-1}, получим $\dim a = LT^{-2}$. Зная размерность ускорения по определяющему уравнению силы

$F = ma$, получим: $\dim F = \dim m \cdot \dim a = LMT^{-2}$. Зная размерность силы, можно найти размерность работы, затем размерность мощности и т.д.

Общий вид размерности физической величины в системе величин, построенной на семи основных величинах (длина, масса, время, сила тока, температура, сила света, количество вещества), может быть выражен формулой

$\dim x = L^{\alpha}M^{\beta}T^{\gamma}I^{\delta}\Theta^{\epsilon}N^{q}J^{p}$, (соблюдение этой последовательности обязательно)

где $\alpha, \beta, \gamma, \ldots$ – показатели размерности физической величины. Над размерностями можно производить действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня. Действия сложения и вычитания размерностей не имеют смысла.

3.4 Примеры решения задач на определение размерности производной величины.

Задача 3.4.1 Образовать размерность производной единицы силы.

Решение: Сила $F = m \cdot a$, где a – ускорение, с которым движется тело массой m. Так как размерность ускорения $\dim a = LT^{-2}$, $[a] = м \cdot с^{-2}$ (как это определить смотри выше), а размерность массы $\dim m = M$, [m] = кг, то размерность силы будет равна $\dim F = LMT^{-2}$,

$[F] = м \cdot кг \cdot с^{-2} = Н$ и имеет специальное название ньютон.

Задача 3.4.2 Образовать размерность производной единицы работы.

Решение: Работа A , совершаемая в направлении силы F определяется по формуле: $A = F \cdot l$, где l – путь пройденный телом. (Как определить размерность силы смотри задачу 3.4.1). Следовательно, размерность $\dim A = L^2MT^{-2}$, а $[A] = м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$. Такая единица называется джоуль (Дж). Дж $= м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$.

Задача 3.4.3 Образовать размерность производной единицы электрического напряжения.

Решение: электрическое напряжение U можно определить через мощность P и силу постоянного электрического тока I ($U = P/I$), мощность это работа, совершаемая в единицу времени. Размерность работы ($\dim A = L^2MT^{-2}$) выведена в

задаче 3.4.2, поэтому dim P = L^2MT^{-3}, а dim U = $L^2MT^{-3}I^{-1}$ и [U] = $м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$. Единица электрического напряжения называется вольт, (В) и В = $м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-1}$

3.4.4 Пользуясь методами теории размерностей, удается получить важные самостоятельные результаты. Например: установлено, что при движении по окружности сила, прижимающая тело к опоре зависит от v, m, r (смотри рисунок 3.1) $F = m^{\alpha} \cdot v^{\beta} \cdot r^{\gamma}$ Попробуем установить вид этой зависимости, пользуясь методами теории размерностей.

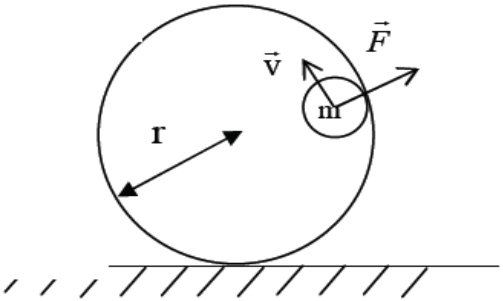


Рисунок 3.1

Решение: dim F = dim $(m^{\alpha} \cdot v^{\beta} \cdot r^{\gamma})$ = dim m^{α} · dim v^{β} · dim r^{γ} так как по предыдущим задачам знаем, что dim F = LMT^{-2}, dim m = M, dim v = LT^{-1} , dim r = L и приравняв левую и правую часть основного уравнения получаем:

$LMT^{-2} = M^{\alpha} (LT^{-1})^{\beta} \cdot L^{\gamma} = M^{\alpha} L^{\beta+\gamma} T^{-\beta}$ и соответственно $\alpha = 1$; $\beta + \gamma = 1$; $-\beta = -2$. В итоге получаем: $\alpha = 1$; $\gamma = -1$; $\beta = 2$. В конечном итоге $F = m \cdot v^2 / r$

3.5 Практическая часть занятия.

Для выполнения практической работы и домашнего задания предлагаются задачи на определение размерности производной величины (таблица 3. 1)

Таблица 3. 1

№ задачи	Наименование величины	Наименование единицы, обозначение (русское)
1	Сила	ньютон, Н
2	Площадь	квадратный метр, $м^2$
3	Скорость	метр в секунду, м /с
4	Ускорение	метр на секунду в квадрате, $м/с^2$
5	Плотность	килограмм на кубический метр, $кг/м^3$
6	Удельный объем	кубический метр на килограмм, $м^3/кг$
7	Угловая скорость	радиан в секунду, $с^{-1}$
8	Плотность электрического тока	ампер на квадратный метр, $А/м^2$
9	Напряженность магнитного поля	ампер на метр, А/м
10	Молярная концентрация компонента	моль на кубический метр, $моль/м^3$
11	Яркость	кандела на квадратный метр, $кд/м^2$
12	Энергия, работа, количество теплоты	джоуль, Дж = $м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
14	Давление	паскаль, Па = $м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2} \cdot$
15	Мощность	ватт, Вт = $м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$
16	Момент силы	ньютон·метр, Н·м
17	Поверхностное натяжение	ньютон на метр, Н/м
18	Электрическое сопротивление	ом, Ом = $м^2 \cdot кг \cdot с^{-3} \cdot А^{-2}$
19	Электрическая проводимость	сименс, См = $м^{-2} \cdot кг^{-1} \cdot с^3 \cdot А^2$
20	Объем	метр кубический, $м^3$

3.6 Контрольные вопросы к практическому занятию по теме «Размерность величин в соответствии с международным стандартом ИСО в системе LMTIΘNJ».

1 Суть понятия размерности величины.

2 Общий вид размерности величины.

3 Показатель размерности ФВ.

4 Правила образования размерности производных единиц величины.

5 Примеры размерности величин.

6 Основные величины, относящиеся к величинам системы механики и их размерность.

4 Практическое занятие по теме «Погрешности измерений»

4.1 Цель занятия: получить практические навыки решения задач на вычисление абсолютных, относительных, приведённых погрешностей.

4.2 Ключевые слова по теме: Погрешность результата измерения, абсолютная погрешность, относительная погрешность, приведенная погрешность средства измерений, нормирующее значение, правила округления результатов, поправка.

4.3 Теоретический раздел занятия: В настоящее время измерение является неотъемлемой частью практически любой деятельности человека. Фактически измерения — это процесс, завершающим этапом которого является «результат измерения». Измерение (РМГ29-2013 4.1) процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть условно прописаны величине.

Любой результат измерения содержит погрешность, которая складывается из ряда факторов.

Погрешность (результата измерения) (РМГ29-2013 5.16**):** разность между измеренным значением величины и опорным значением величины.

Опорное значение (величины) (РМГ29-2013 5.3**):** значение величины, которое используется в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода. Примечания

1 Опорное значение (величины) может быть истинным значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно.

2 Опорное значение (величины) со связанной с ним неопределенностью (погрешностью) измерений обычно приводят для:

- материала, например аттестованного стандартного образца;
- устройства, например стабилизированного лазера;
- референтной методики измерений;
- сличения эталонов.

Погрешность измерений, как правило, представляют в виде **абсолютной** погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины $\Delta_X = X_{изм} - X_{оп}$, или в виде относительной погрешности. **Относительная** погрешность - это погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой величины. Примечание - Относительную погрешность в долях или процентах находят из отношений

$$\delta = \frac{\Delta_X}{X_{оп}} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta_X}{X_{оп}} \cdot 100\%$$

где Δ_X – границы абсолютной погрешности измерений;

$X_{оп}$ – опорное или измеренное значение величины.

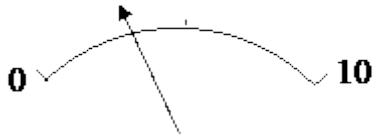
Если при измерении получена относительная погрешность более 10%, то говорят, что произведена лишь оценка измеряемой величины. В лабораториях физического практикума рекомендуется проводить измерения с относительной погрешностью до 10%. В научных лабораториях некоторые точные измерения (например, определение длины световой волны), выполняются с точностью миллионных долей процента.

Для указания и нормирования погрешности средств измерений используется еще одна разновидность погрешности — **приведенная** погрешность это относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Обозначается она γ и определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta_X}{X_N} \cdot 100\%,$$

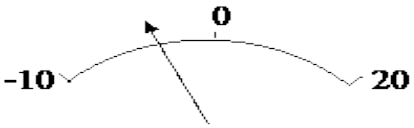
где X_N - ***нормирующее значение физической величины.*** Часто за нормирующее значение принимают верхний предел измерений. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах

Правила выбора нормирующего значения X_N *:*



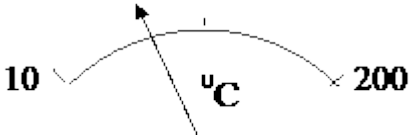
1 Для средств измерений с равномерной или степенной шкалой, а также для измерительных преобразователей, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений, то нормирующее значение устанавливают равным большему из пределов измерений. В данном примере нормирующее значение $X_N = 10$.

2 Если нулевое значение находится внутри диапазона измерений, то нормирующее значение берется равным большему из модулей пределов измерений, т.е $X_N = 20$.



3 Для электроизмерительных приборов с равномерной шкалой, практически равномерной или степенной шкалой и нулевой отметкой внутри диапазона измерений X_N допускается устанавливать равным сумме модулей пределов измерений: $X_N = |-10| + |20| = 30$

Практически равномерная шкала - шкала, длины делений которой различаются не более чем на 30 %, а цена делений постоянна.



4 Для средств измерений, у которых принята шкала с условным нулем (например, в градусах Цельсия), нормирующее значение устанавливают равным модулю разности пределов измерений, т.е. $X_N = |200-10| = 190$

5 Для средств измерений с установленным номинальным значением нормирующее значение равно этому номинальному значению.

В целях единообразия представления результатов и погрешностей измерений показатели точности и формы представления результатов измерений стандартизованы. Стандартом установлено, что в численном показателе точности измерения (в том числе и погрешности) должно быть не более двух значащих цифр. Практикой выработаны следующие **правила округления результатов** и погрешностей измерений:

1 Лишние цифры в целых числах заменяются нулями. А в десятичных дробях отбрасываются. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерения оканчивается нулями, то нули отбрасываются только до того разряда, который соответствует разряду погрешности, например. Результат измерений 2.0700, погрешность 0,001 то результат измерений следует округлить до 2.070.

2 Если цифра, старшего из отбрасываемых разрядов меньше пяти, то оставшиеся цифры числа не изменяют, например число 485231 при сохранении четырех значащих цифр должно быть округлено до 485200, а число 485.231 до 485.2.

3 Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше, или равна пяти, но за ней следуют отличные от нуля цифры то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу, например, при сохранении трех значащих цифр число 35798 округляют до 35800, число 357,98 до 358.

4 Если отбрасываемая цифра равна пяти, а следующие за ней цифры неизвестны или нули, то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если она четная увеличивают, если она нечетная, например число 44, 5 при сохранении двух значащих цифр округляют до 44. а число 45, 5 округляют до 46.

Поправка (РМГ29-2013 5.20**):** значение величины, вводимое в показание с целью исключения систематической погрешности.

4.4 Примеры решения задач взяты из учебника для вузов Пономарев С.В. и др. Метрология, стандартизация, сертификация

Задача 4.4.1 Вольтметром со шкалой (0…100) В, имеющим абсолютную погрешность ΔV = 1 В, измерены значения напряжения 0; 10; 20; 40;50; 60; 80; 100 В. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

***Решение*:** Для записи результатов формируем таблицу (таблицу 4.1), в столбцы которой будем записывать измеренные значения *V*, абсолютные ΔV, относительные δV и приведённые γV погрешности. В первый столбец записываем заданные в условии задачи измеренные значения напряжения: 0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В. Значение абсолютной погрешности известно из условий задачи (ΔV = 1 В) и считается оди-

наковым для всех измеренных значений напряжения; это значение заносим во все ячейки второго столбца.

Значения относительной погрешности будем рассчитывать по формуле:

$\delta V = {\Delta V}/{V} \cdot 100\%$, при V = 0 В получаем $\delta V = \frac{1B}{0B} \cdot 100\ \% \rightarrow \infty$

при V = 10 В получаем $\delta V = \frac{1B}{10B} \cdot 100\% = 10\ \%$

Значения относительной погрешности для остальных измеренных значений напряжения рассчитываются аналогично. Полученные таким образом значения относительной погрешности заносим в третий столбец. Для расчёта значений приведённой погрешности будем использовать формулу:

$$\gamma V = \frac{\Delta V}{V_N} \cdot 100\ \%$$

Предварительно определим нормирующее значение V_N. Так как диапазон измерений вольтметра – (0…100) В, то шкала вольтметра содержит нулевую отметку, следовательно, за нормирующее значение принимаем размах шкалы прибора, т.е. V_N = 100 В - 0 В =100 В.

Так как величины ΔV и V_N постоянны при любых измеренных значениях напряжения, то величина приведённой погрешности так же постоянна и составляет:

$$\gamma V = \frac{1B}{100B} \cdot 100\ \% = 1\ \%$$

Это значение заносим во все ячейки четвёртого столбца. По данным таблицы 4.1 строим графики зависимостей абсолютной ΔV, относительной δV и приведённой γV погрешностей от результата измерений V (рисунок 4.1).

В данном случае графики зависимостей абсолютной и приведённой погрешностей сливаются друг с другом и представляют собой горизонтальные прямые линии. График зависимости относительной погрешности представляет собой гиперболу.

Внимание: так как диапазон измерений прибора – (0…100) В, то *за пределы этого диапазона построенные графики не должны выходить.*

Таблица 4.1

V, В	ΔV, В	δ V %	γ V, %
0	1	∞	1
10	1	10,00	1
20	1	5,00	1
40	1	2,50	1
50	1	2,00	1
60	1	1,67	1
80	1	1,25	1
100	1	1,00	1

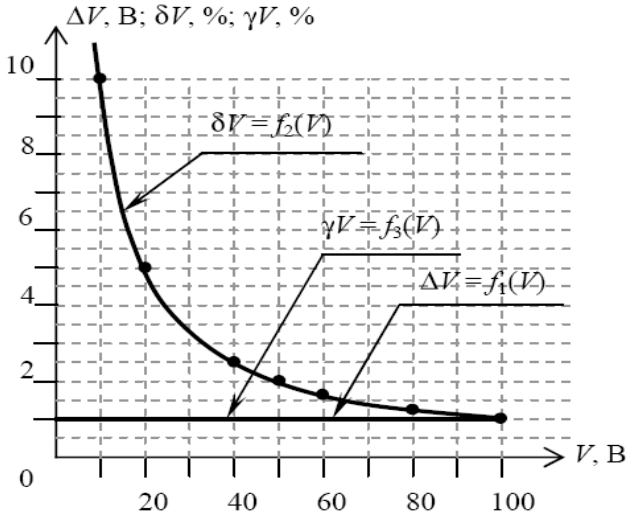


Рисунок 4.1 Графики зависимостей абсолютной, относительной и приведенной погрешностей от результата измерений.

Задача 4.4.2 При поверке концевой меры длины номинального размера 100 мм получено значение 100,0006 мм. Определить абсолютную и относительные погрешности меры.

Решение: Абсолютная погрешность меры:

Δx = 100,0006 мм – 100 мм = 0,0006 мм = $6 \cdot 10^{-7}$ м

Относительная погрешность меры:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X_{Д}} \cdot 100\ \% = \frac{6 \cdot 10^{-7}\, м}{10^{-1}\, м} \cdot 100\ \% = 6 \cdot 10^{-4}\ \%$$

Задача 4.4.3 Температура в масляном термостате измеряется образцовым палочным стеклянным термометром и поверяемым парогазовым термометром. Первый показал 111 °С, второй 110 °С. Определите истинное (действительное) значение температуры, погрешность поверяемого прибора, поправку к его показаниям и оцените относительную погрешность термометра.

Решение: Действительное значение – это показания образцового прибора, т.е. Т = 111°С. Погрешность поверяемого прибора: Δ_T = 110 °С – 111 °С = –1 °С. **Поправка** – это погрешность измерения, взятая с обратным знаком: ∇_T = +1°С. Относительная погрешность термометра:

$$\delta = \frac{\Delta_T}{T} \cdot 100\% = \frac{\left|110^{\circ} - 111^{\circ}\right|}{111^{\circ}} \cdot 100\ \% \approx 0{,}9\ \%$$

Ответ: T = 111°С ; Δ_T = – 1°С ; ∇_T = +1°С ; $\delta \approx 0{,}9\%$.

Задача 4.4.4 Показания вольтметра с диапазоном измерений от 0 В до 150 В равны 51,5 В. Показания образцового вольтметра, включенного параллельно с первым – 50,0 В. Определить относительную и приведенную погрешности рабочего вольтметра.

Решение: относительная погрешность рабочего вольтметра: $\delta = \frac{\Delta x}{x_Д} \cdot 100\ \% = \frac{51{,}5B - 50{,}0B}{50.0B} \cdot 100\% \approx 3\ \%$

Приведенная погрешность рабочего вольтметра

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\ \% = \frac{51{,}5B - 50{,}0B}{150.0B} \cdot 100\% \approx 1\ \%$$

где x_N – нормирующее значение (верхний предел измерений), $x_Д$ – действительное значение измеряемой величины.

4.5 Практическая часть занятия: Решить задачи, номера которых приведены в таблице 4.2, согласно полученному варианту.

Таблица 4.2

№ варианта	№,№ задач раздела	№ варианта	№,№ задач раздела	№ варианта	№,№ задач раздела
1	1,2,12	7	9,14,20	13	5,12,19
2	3, 7,13	8	1,10,15	14	6,13,20
3	4,14, 16	9	7,11,12	15	1,8,14
4	5,15,17	10	2,13,16	16	7,9,15
5	6,12,18	11	3,14,17	17	10,12,16
6	19,8,13	12	4,15,18	18	11,13,21

Задача 4.5**.1** Омметром со шкалой (0...1000) Ом измерены значения

0; 100; 200; 400; 500; 600; 800; 1000 Ом. Определить значения абсолютной и относительной погрешности, если приведённая погрешность равна 0,5. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.**2** Определить относительную и приведенную погрешности вольтметра, если его диапазон измерений от –12 В до +12 В, значение поверяемой отметки шкалы равно 8 В. Действительное значение измеряемой величины 7,97 В.

Задача 4.5.**3** Определить погрешность при измерении тока амперметром класса точности 1,5, если номинальный ток амперметра 30А, а показание амперметра 15А.

Задача 4.5.**4** Показания вольтметра с диапазоном измерений от 0 В до 200 В равны 140 В. Образцовый вольтметр, включенный параллельно, показывает 143 В. Определите относительную и приведенную погрешности рабочего вольтметра.

Задача 4.5.**5** Найденное значение тока I1 = 26А, а его действительное значение I = 25А. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения.

Задача 4.5.**6** При поверке концевой меры длины размера 20 мм получено значение 20,0005 мм. Определить абсолютную и относительную погрешности.

Задача 4.5.**7** Уровнемером со шкалой (5…10) м, имеющим приведенную погрешность γH = 1%, измерены значения уровня 5; 6; 7; 8; 9; 10 м. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.**8** Найти относительную погрешность вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 до 120 В, в точке шкалы 40 В.

Задача 4.5.**9** Какова относительная погрешность измерения напряжения переменного тока электромагнитным вольтметром при положении переключателя рода работы на постоянном токе, если прибор показывает 128 В при напряжении 127 В.

Задача 4.5.**10** Вольтметр имеет абсолютную погрешность $\Delta = \pm 0{,}1$ В, из-за влияния температуры имеется дополнительная погрешность D = 0,06 В. Определите суммарную погрешность.

Задача 4.5.**11** Результат измерения тока I x = 49,9 А, а его действительное значение I = 50,0 А. Определить относительную погрешность измерения и поправку, которую следует ввести в результат измерения.

Задача 4.5.**12** Напишите округленные до целых следующие результаты измерений: 1234,50 мм; 8765,50 кг; 43210,500 с.

Задача 4.5.**13** Пользуясь правилами округлений, запишите результат измерений 13,7645 м, 324,5 м, 2753,1 м, сохранив три значащих цифры.

Задача 4.5.**14** Результат измерения сопротивления 17,1 Ом, погрешность результата ±0,005 Ом. Запишите результат измерения сопротивления, пользуясь правилами округлений.

Задача 4.5.**15** В обиходе нередко можно встретить металлические линейки до 300 мм с ценой деления 1 мм. С какой погрешностью можно осуществлять измерения такой линейкой?

Задача 4.5.**16** Вольтметром со шкалой (0…50) В, имеющим приведенную погрешность γV = 2%, измерены значения напряжения 0; 5; 10; 20; 40; 50 В. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.17 Кислородомером со шкалой (0...25) % измерены следующие значения концентрации кислорода: 0; 5; 10; 12,5; 15; 20; 25%. Определить значения абсолютной и относительной погрешностей, если приведённая погрешность равна 2%. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.**18** Омметром со шкалой (0...20) кОм измерены значения 0; 1; 4; 5; 10; 12; 17; 20 кОм. Определить значения абсолютной и относительной погрешностей, если приведённая погрешность γR равна 1%. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.**19** Вольтметром со шкалой (0…100) мВ, имеющим приведённую погрешность γV = 2%, измерены значения напряжения 0; 10; 20; 40; 50; 70; 90; 100 мВ. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.**20** Кислородомером со шкалой (0...50) % измерены следующие значения концентрации кислорода: 0; 5; 10; 15; 20; 30; 40; 50%. Определить значения абсолютной и относительной погрешностей, если приведённая погрешность равна 0,5%. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

Задача 4.5.**21** Уровнемером со шкалой (1…20) м, имеющим приведённую погрешность γH = 1%, измерены значения уровня 1; 6; 8; 10; 14; 16; 18; 20 м. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной и приведённой погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

4.5.6 Контрольные вопросы к практическому занятию по теме «Погрешности измерений»

1 Дайте определение следующих терминов: погрешность, абсолютная погрешность, относительная погрешность, приведённая погрешность.

2 Что называется «нормирующим значением»?

3 Поясните на примере, как находится нормирующее значение, в случае если шкала средства измерения содержит нулевую отметку.

4 Поясните на примере, как находится нормирующее значение, в случае если шкала средства измерения не содержит нулевую отметку.

5 Запишите формулы для расчёта относительной и приведённой погрешностей.

6 Правила округление результата измерений.

5 Практическое занятие по теме «Классы точности средств измерений и расчет надежности приборов»

5.1 Цель занятия: получить практические навыки решения задач на вычисление погрешностей при различных способах задания классов точности приборов.

5.2 Ключевые слова: метрологическая характеристика средства измерений (МХ), нормируемые метрологические характеристики**,** действительные метрологические характеристики, нормальные условия измерений, класс точности средств измерений, обозначение классов точности на средствах измерений.

5.3 Теоретический раздел работы.

Метрологическая характеристика средства измерений -это характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность. Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики . Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют ***нормируемыми метрологическими характеристиками,*** а определяемые экспериментально - ***действительными метрологическими характеристиками.*** Перечень всех важнейших метрологических характеристик нормирует ГОСТ 8.009- 84 «Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений»

Сохранение метрологических характеристик СИ гарантируется для нормальных условий измерений. Однако реальное проведение измерений в этих нормальных условиях маловероятно. Поэтому в эксплуатационной документации (ЭД) на СИ указывают пределы нормальной области значений влияющих величин, выходить за которые при выполнении измерений не допускается из-за возникновения дополнительной погрешности СИ. Рекомендуется выделить (определить) рабочее пространство, действием влияющих величин внутри которого можно пренебречь.

По ГОСТу 8.050 – 73 “Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений” и ГОСТу 8.395 - 80 “Нормальные условия измерений при поверке” предусмотрены пределы нормальной области значений влияющих величин, которые устанавливаются в зависимости от допусков и диапазона измеряемых размеров (приложение К).

Учет всех нормируемых метрологических характеристик средств измерений — сложная и трудоемкая процедура, проводимая только при измерениях очень высокой точности, характерных для метрологической практики. В обиходе и на производстве такая точность не нужна. Поэтому для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление по точности на классы. **Класс точности средств измерений** — обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений. Класс точности средств измерений характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполненных с помощью этих средств. Например, класс точности концевых мер длины характеризует близость их размера к номинальному значению, допускаемое отклонение от плоскопараллельности, а также притираемость и стабильность. Класс точности вольтметров характеризует пределы допускаемой основной погрешности и допускаемых измерений показаний, вызываемых внешним магнитным полем и отклонением от нормальных значений температуры, частоты переменного тока и некоторых других величин.

Классы точности устанавливаются стандартами, содержащими технические требования к средствам измерений, подразделяемым по точности. Необходимость подразделения средств измерений по точности определяют при разработке этой документации. Для каждого класса точности в стандартах на средства измерений каждого конкретного вида уста-

навливают конкретные требования к метрологическим характеристикам, в совокупности отражающие уровень точности средств измерений этого класса.

Метрологические характеристики, определяемые классами точности, нормируют следующим образом. Пределы допускаемых основной и дополнительных погрешностей выражают в форме **приведенных, относительных и абсолютных погрешностей** в зависимости от характера изменения этих погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерений конкретного вида.

Обозначение классов точности средств измерений в документации

- Для средств измерений пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме абсолютных погрешностей или относительных погрешностей, причем последние установлены в виде графика, таблицы или формулы, классы точности в документации обозначаются прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами.

- В необходимых случаях к обозначению класса точности буквами латинского алфавита добавляют индексы в виде арабской цифры. Классам точности, которым соответствуют меньшие пределы допускаемых погрешностей, соответствуют буквы, находящиеся ближе к началу алфавита, или цифры, означающие меньшие числа.

- Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме приведенной погрешности или относительной погрешности в соответствии с формулой $\delta = \Delta / x = \pm q$, классы точности в документации следует обозначать числами, которые равны этим пределам погрешности, выраженными в процентах. Обозначение класса точности таким образом, дает непосредственное указание на предел допускаемой основной погрешности.

-Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме относительных погрешностей в соответствии с формулой:

$\delta = \pm [c + d \cdot (|x_к / x| - 1)]$, классы точности в документации обозначаются числами c и d, разделенных косой чертой.

- В документации на средства измерений допускается обозначать классы точности так же, как на средствах измерений. В эксплуатационной документации на средство измерений конкретного вида, содержащей обозначение класса точности, содержится ссылка на стандарт или технические условия, в которых установлен класс точности этого средства измерений.

Обозначение классов точности на средствах измерений.

Условные обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений. При указании классов точности на измерительных приборах с неравномерной шкалой, для информации, дополнительно указываются пределы допускаемой основной относительной погрешности для части шкалы, лежащей в пределах, отмеченных специальными знаками (например, точками или треугольниками). К значению предела допускаемой относительной погрешности в этом случае добавляют знак процента и помещают в кружок. Обращаем ваше внимание на то, что этот знак не является обозначением класса точности. Обозначение класса точности допускается не наносить на высокоточные меры, а также на средства измерений, для которых действующими стандартами установлены особые внешние признаки, зависящие от класса точности, например параллелепипедная и шестигранная форма гирь общего назначения. За исключением технически обоснованных случаев, вместе с условным обозначением класса точности на циферблат, щиток или корпус средств измерений наносится обозначение стандарта или технических условий, устанавливающих технические требования к этим средствам измерений. На средства измерений, для одного и того же класса точности в зависимости от условий эксплуатации установлены различные рабочие области влияющих величин, наносятся обозначения условий их экс-

плуатации, предусмотренные в стандартах или технических условиях на эти средства измерений.

Расшифровка обозначений классов точности на средствах измерений приведена в таблице 5.1

Таблица 5.1

Обозначение класса точности		Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Примечание
на средстве измерений	в документации			
0,5	Класс точности 0,5	Приведенная	$\gamma = \pm 0{,}5$ %	нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины
	Класс точности 0,5			нормирующее значение принято равным длине шкалы или её части
	Класс точности 0,5	Относительная	$\delta = \pm 0{,}5\%$	$\delta = \Delta / x$
0,02/0,01	Класс точности 0,02/0,01		$\delta = \pm[0{,}02 + 0{,}01 \cdot (\lvert x_к / x \rvert - 1)]$ %	$\delta = \pm[c + d \cdot (\lvert x_к / x \rvert - 1)]$

5.4 Примеры решения задач взяты из учебника для вузов Пономарев С.В. и др. Метрология, стандартизация, сертификация. Задача 5.4.1 **.** Амперметром класса точности 2.0 со шкалой (0…50) А измерены значения тока 0; 5; 10; 20; 25; 30; 40; 50 А. Рассчитать зависимости абсолютной, относительной

и приведённой основных погрешностей от результата измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков.

***Решение*:** для записи результатов формируем таблицу (таблица 5.2), в столбцы которой будем записывать измеренные значения *I*, абсолютные ΔI, относительные δI и приведённые γI погрешности. В первый столбец записываем заданные в условии задачи измеренные значения тока: 0; 5; 10; 20; 25; 30; 40; 50 А. Класс точности амперметра задан числом без кружка, следовательно, приведённая погрешность, выраженная в процентах, во всех точках шкалы, не должна превышать по модулю класса точности и тогда $|\gamma I| \le 2\%$. При решении задачи рассмотрим худший случай $|\gamma I| = 2\%$, когда приведённая погрешность принимает максимальное по абсолютной величине значение, что соответствует $\gamma I = +2\%$ и $\gamma I = -2\%$. Данные значения приведённой погрешности заносим в четвёртый столбец таблицы. Значение абсолютной погрешности находим из формулы : $\Delta I = \frac{\gamma I \cdot I_N}{100\%}$, где I_N – нормирующее значение шкалы и так как шкала содержит нулевую отметку то $I_N = |\ 0\ А - 50\ А| = 50\ А$. Подставив все известные значения величин, получаем $\Delta I = \pm\ 1\%$. Данный результат заносим во второй столбец таблицы.

Относительную погрешность рассчитываем по формуле:

$\delta I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\%$. При $I = 0$ А получаем $\delta I = \frac{\pm 1A}{0A} \cdot 100\% \rightarrow \pm\infty$, при $I = 5$ А, получаем $\delta I = \frac{\pm 1A}{5A} \cdot 100\% = \pm\ 20\%$. Аналогично рассчитываем все остальные значения относительной погрешности, и результат заносим в третий столбец таблицы.

Таблица 5.2 Результаты расчёта значений погрешностей

I,A	ΔI,A	δI,%	γI,%
0	±1	±∞	±2
5	±1	±20	±2
10	±1	±10	±2

20	±1	±5	±2
25	±1	±4	±2
30	±1	±3.33	±2
40	±1	±2.5	±2
50	±1	±2	±2

Имея таблицу с результатами, строим графики зависимостей абсолютной, относительной и приведенной погрешностей от результата измерений (в зоне положительных и отрицательных значений) рисунок 5.1.

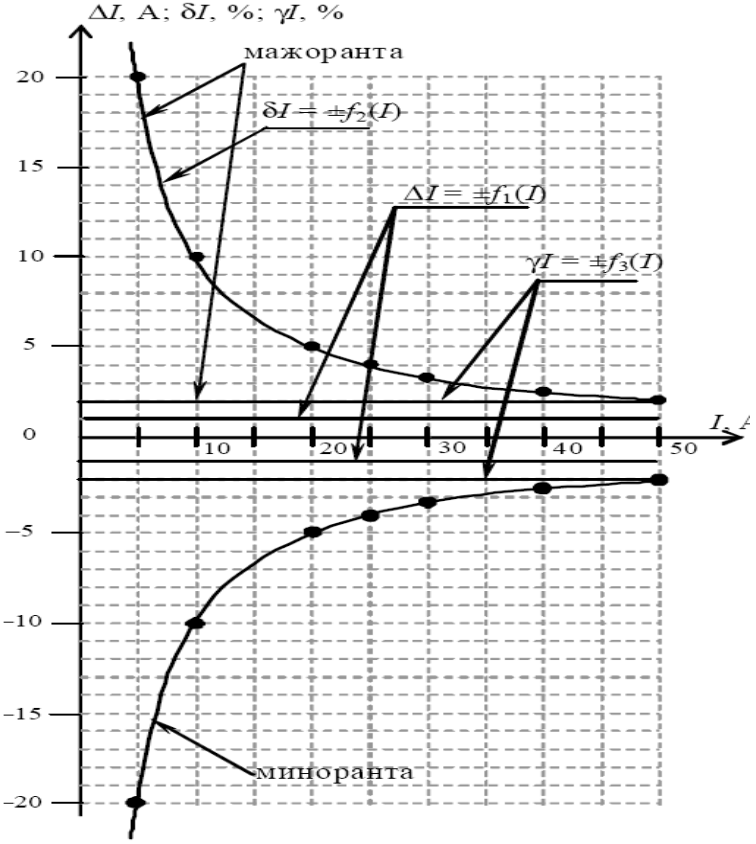


Рисунок 5.1

Задача 5.4.2. Отсчет по шкале прибора с равномерной шкалой и с пределами измерений от 0 В до 50 В равен 25 В. Оценить пределы допускаемой абсолютной погрешности этого отсчёта для приборов следующих классов точности:

а) 0,02/0,01; б) 0,5; в) (0,5).

Решение: а) в соответствии с таблицей 5.1, для прибора, класс точности которого имеет форму записи 0,02/0,01, он соответствует относительной погрешности измерений

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%}; \delta = [c+d\ (|x_к/x| -1)],$$

так как x =25 В; $x_к$ = 50 В; c = 0.02; d = 0/01, то получаем $\delta = [0.02+0.01\ (|50\ B25\ B| -1)] = 0.03$ % и соответственно

$$\Delta = \frac{0.03\% \cdot 25B}{100\%} = 0.0075 \text{ В} \approx 0.008 \text{ В}$$

б) в соответствии с таблицей 5.1, для прибора, класс точности которого имеет форму записи 0,5, он соответствует приведенной погрешности измерений и тогда:

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} \Rightarrow \Delta = \frac{\gamma \cdot x_N}{100\%} = \frac{0{,}5\% \cdot 50\,B}{100\%} = 0{,}25\,B;$$

в) в соответствии с таблицей 5.1, для прибора, класс точности которого имеет форму записи (0,5), он соответствует относительной погрешности измерений и тогда:

$$\delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \Rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{0{,}5\% \cdot 25\,B}{100\%} = 0{,}13\,B.$$

Ответ: $\Delta_а$ = 0,008 В; $\Delta_б$ = 0,25 В; $\Delta_в$ = 0,13 В

Задача 5.4.3 По приведенной погрешности определить класс точности миллиамперметра, который необходим для измерения тока от 0,1 до 0,5мА (относительная погрешность измерения не должна превышать 1%).

Решение: $\delta = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x} \rightarrow \Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{1\% \cdot 0{,}1мА}{100\%} =$ 0.001мА, (измеренное значение тока x, берем в начале шка-

лы, так как в начале шкалы относительная погрешность измерения больше).

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} = \frac{0.001мА \cdot 100\%}{0.5мА} = 0.2\ \%$$

Ответ: класс точности миллиамперметра 0.2

Задача 5.4.4 Манометр типа МТ-1 с диапазоном измерения от 0 до 160 кгс/см2 , класс точности 1,5, используется для контроля постоянного давления 120 кгс/см2. Определить абсолютную и относительную погрешности манометра.

Решение: переведем все в величины системы СИ.

1кгс = 9,8 Н;

$$160\ \text{кгс/см}^2 = \frac{160 \cdot 9.8}{10^{-4}}\ \text{Н/м}^2 = 157 \cdot 10^5\ \text{Н/м}^2;$$

$$120\ \text{кгс/см}^2 = \frac{120 \cdot 9.8}{10^{-4}}\ \text{Н/м}^2 = 118 \cdot 10^5\ \text{Н/м}^2;$$

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} \rightarrow \Delta = \frac{\gamma \cdot x_N}{100\%} = \frac{1.5\% \cdot (157 \cdot 10^5) Н/м^2}{100\%} =$$

$= 2.4 \cdot 10^5\ \text{Н/м}^2$

Задача 5.4.5 Определить пригодность к дальнейшему применению рабочего вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 В до 300 В, если при непосредственном сравнении его показаний с показаниями образцового вольтметра были получены следующие данные:

Рабочий вольтметр, В	60	120	180	240	300
Образцовый вольтметр, В	60,5	119,7	183,5	238,7	298,8

Решение: по результатам показаний рабочего и образцовых вольтметров определяем максимальную абсолютную погрешность измерений

$\Delta_{max} = 183,5 - 180 = 3,5$ В

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} = \frac{3.5В \cdot 100\%}{300В} = 1.17\ \%$$

Ответ: вольтметр, класс точности которого равен единице не пригоден к дальнейшему применению.

Задача 5.4.6 Для измерения напряжения от 80 В до 120 В с относительной погрешностью, не превышающей 4 %, был заказан вольтметр, имеющий класс точности 0,5 и верхний предел измерений 150 В Удовлетворяет ли он поставленным условиям?

Решение: $\gamma = \dfrac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} \rightarrow \Delta = \dfrac{\gamma \cdot x_N}{100\%}$ откуда

$$\delta = \frac{\gamma \cdot x_N \cdot 100\%}{x \cdot 100\%} = \frac{0.5\% \cdot 150B}{80B} = 0.94\ \% < 4\ \%$$

Ответ: Предложенный вольтметр удовлетворяет поставленным условиям.

5.5 Практическая часть занятия

Решить задачи, номера которых приведены в таблице 5.3, согласно полученному варианту.

Таблица 5.3

№ варианта	№,№ задач раздела	№ варианта	№,№ задач раздела	№ варианта	№,№ задач раздела
1	1; 13; 11	7	7; 14; 22	13	3; 15; 22
2	2; 14; 12	8	8; 15; 11	14	4; 16; 11
3	3; 15; 18	9	9; 16; 12	15	5; 17; 12
4	4; 16; 19	10	10;17;18	16	6; 13; 18
5	5; 17; 20	11	1; 13; 19	17	7; 14; 19
6	6; 13 ; 21	12	2; 14; 20	18	8; 15; 20

Задача 5.5.**1** - 5.5.**10** для прибора рассчитать значения абсолютных, относительных и приведенных погрешно-

стей измерений. Результаты представить в виде таблицы и графиков. Исходные данные для задач взять из таблицы 5.4.

Таблица 5.4 Исходные данные

Задачи раздела	Диапазон измерений	Класс точности	Результаты измерений
1	(0… 10) В	0,15	0; 1; 2; 4; 5; 6; 8; 10 В
2	(0…100) ºС		0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100
3	(0…1000) Ом		0; 100; 200; 400; 500; 600; 800; 1000 Ом
4	(0…100) мВ	0,6	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 мВ
5	(-100…+100) ºС	0,1/0,05	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100
6	(0…5) А	0,1	0; 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 А
7	(0…100)мВ		0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 мВ
8	(0… 100)В	0,2	0; 10; 20; 40; 50; 60; 80; 100 В
9	(0…250) ºС	1,5	0; 25; 50; 100; 125; 150; 200; 250 ºС
10	(-5…+5) м	6,0/4,0	0; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 3,0; 4,5; 5,0 м

Задача 5.5.**11** Вольтметр типа Д566/107, класса точности 0,2, имеет диапазон измерений от 0 В до 50 В. Определить

допускаемую абсолютную и относительную погрешности, если стрелка вольтметра остановилась на делении шкалы против цифры 20 В.

Задача 5.5.**12** Класс точности приборов Б и В одинаков, а верхний предел измерения прибора Б больше. В каком соотношении будут находиться максимальные значения абсолютных погрешностей измерений: $\Delta max\ Б$ и $\Delta max\ В$ Класс точности характеризовать приведенной погрешностью.

Задача 5.5.**13** Определить пригодность к дальнейшему применению рабочего вольтметра класса точности 1,5 с диапазоном измерений от 0 В до 250 В, если при непосредственном сличении его показании с показаниями образцового вольтметра были получены следующие результаты:

Рабочий вольтметр, В	50	100	150	200	250
Образцовый вольтметр, В	49,8	101,8	152,9	203.2	249,1

При этом известно, что образцовый вольтметр имеет систематическую погрешность 0,6 В на всем диапазоне измерений.

Задача 5.5.**14** При поверке дистанционного парогазового термометра класса точности 2,5 с пределом измерений 100°С были получены следующие показания образцовых ртутных термометров в оцифрованных точках поверяемого.

Поверяемые точки, °С	20	40	60	80	100
При повышении t, °С	21	40	59	76	98

При понижении t, ºС	22	41	60	77	98

Оцените годность прибора; в случае брака укажите точку, из-за которой принято данное решение.

Задача 5.5.**15** Определить пригодность к дальнейшему применению рабочего вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 до 300 В, если при непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового вольтметра были получены следующие данные:

Рабочий, В	60	120	180	240	300
Образцовый, В	60,5	119,7	183,5	238,7	298,8

Задача 5.5.**16** Определить пригодность амперметра с диапазоном измерения от 0 А до 150 А и классом точности 1,5. При непосредственном сличении его показаний с показаниями образцового амперметра были получены следующие результаты:

Рабочий, А	20	40	60	80	100	125	150
Образцовый, А	19,8	41,5	58,2	81.2	99,7	122,8	148,6

Образцовый вольтметр имеет систематическую погрешность 0,1 А.

Задача 5.5.**17** При поверке вольтметра класса точности 2,5 с пределом измерений 100В были получены следующие показания образцового и поверяемого вольтметров:

Поверяемый, В	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Образцовый, В	11	20	30,5	41	52	61	67	78	89	101

Оцените годность прибора. В случае брака укажите точку, из-за которой принято данное решение.

Задача 5.5.**18** В цепь с током 15 А включены три амперметра со следующими параметрами: класса точности 1,0 со шкалой на 50 А; класса точности 1,5 на 30 А и класса точности 2,5 на 20 А. Определить, какой из амперметров обеспечит большую точности измерения тока в цепи.

Задача 5.5.**19** При поверке амперметра с пределом измерений 5 А в точках шкалы: 1; 2; 3; 4; и 5 А получены следующие показания образцового

прибора: 0,95; 2,06; 3,05; 4,07; и 4,95 А. Определить абсолютные, относительные и приведенные погрешности в каждой точке шкалы и класс точности амперметра.

Задача 5.5.**20** Для измерения напряжения от 50 В до 130 В с относительной погрешностью, не превышающей 5 %, был заказан вольтметр с верхним пределом измерения 150 В и классом точности 1,0. Удовлетворяет ли он постав ленным условиям?

Задача 5.5.**21** Определите по приведенной погрешности класс точности измерительного прибора при условии, что относительная погрешность измерения в середине шкалы не должна превышать 1 %.

Задача 5**.**5**.22** Класс точности весов 0,2, определите допускаемую относительную погрешности этих весов в начале (1 деление) и в середине шкалы, если весы рассчитаны на 100 делений.

5.6 Контрольные вопросы к практическому заданию

1 Что называется классом точности средства измерения?

2 Какие существуют способы обозначения классов точности?

3 Запишите формулы для расчёта относительной и приведенной погрешностей.

Литература

1 Димов, Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для вузов / Ю.В. Димов. – СПб. : Питер, 2010. – 464 с.

2 Колчков, В.И. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник / В.И. Колчков. – М. : Гуманитар. изд. центр ВЛАДОС, 2010. – 398 с.

3 Маркин Н.С. Практикум по метрологии: учебное издание/изд.Стандарт, 1994.-198с

4 Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов- М: «Высшая школа», 2001.- 205с

5 РМГ 29–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения.

6 ГОСТ 8.417- 2001 «Единицы физических величин»

7 Международный словарь по метрологии VIM3-2008.

Приложение А
(справочное)
Основные единицы системы единиц СИ (выписка из ГОСТ 8.417)

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Определение
			международное	русское	
Длина	L	метр	m	м	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299 792 458 s [XVII ГКМВ (1983 г.) Резолюция 1]
Масса	M	килограмм	kg	кг	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма [I ГКМВ (1889 г.) и III ГКМВ (1901 г.)]
Время	T	секунда	s	с	Секунда есть время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 1]
Сила электрического тока	I	ампер	A	А	Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 m один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 m силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ N [МКМВ (1946 г.), Резолюция 2, одобренная IX ГКМВ (1948 г.)]
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К	Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды [XIII ГКМВ (1967 г.), Резолюция 4]
Количество вещества	N	моль	mol	моль	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 kg. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими

Приложение А (продолжение)

					частицами или специфицированными группами частиц [XIV ГКМВ (1971 г.), Резолюция 3]
Сила света	J	кандела	cd	кд	Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Hz, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 W/sr [XVI ГКМВ (1979 г.), Резолюция 3]

Примечания:

1. Кроме термодинамической температуры (обозначение T) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение t), определяемую выражением $t = T - T_0$, где $T_0 = 273{,}15$ К. Термодинамическую температуру выражают в Кельвинах, температуру Цельсия — в градусах Цельсия. По размеру градус Цельсия равен кельвину. Градус Цельсия - это специальное обозначение, используемое в данном случае вместо наименования "кельвин".

2. Интервал или разность термодинамических температур выражают в кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в кельвинах, так и в градусах Цельсия.

3. Обозначение Международной практической температуры в Международной температурной шкале 1990 г., если ее необходимо отличить от термодинамической температуры, образуется путем добавления к обозначению термодинамической температуры индекса «90» (например, T_{90} или t_{90}) [3].

Приложение Б
(справочное)

Производные единицы СИ, имеющие специальное наименования и обозначения

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
			международное	русское	
Плоский угол	l	радиан	rad	рад	$m \cdot m^{-1}=1$
Телесный угол	l	стерадиан	sr	ср	$m^2 \cdot m^{-2}=1$
Частота	T^{-1}	герц	Hz	Гц	s^{-1}
Сила	LMT^{-2}	ньютон	N	Н	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Давление	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Pa	Па	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	L^2MT^{-2}	джоуль	J	Дж	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Мощность	L^2MT^{3}	ватт	W	Вт	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
Электрический заряд, количество электричества	TI	кулон	C	Кл	$s \cdot A$
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	$L^2MT^{-3}I^{-1}$	вольт	V	В	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$	фарад	F	Ф	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Электрическое сопротивление	$L^2MT^{-3}I^{-2}$	ом	Ω	Ом	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
Электрическая проводимость	$L^{-2}M^{-1}T^3I^2$	сименс	S	См	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
Поток магнитной индукции, магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	Wb	Вб	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Плотность магнитного потока, магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	T	Тл	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
Индуктивность, взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$	генри	H	Гн	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Температура Цельсия	Θ	градус Цельсия	°C	°C	K
Световой поток	J	люмен	lm	лм	$cd \cdot sr$
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	lx	лк	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$
Активность нуклида в радиоактивном источнике	T^{-1}	беккерель	Bq	Бк	s^{-1}

Приложение Б – продолжение

Производные единицы СИ с использованием специальных наименований и основных единиц

Величина		Единица			
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначение		Выражение через основные и дополнительные единицы СИ
			Международное	русское	
Момент силы	L^2MT^{-2}	ньютон-метр	N·m	Н·м	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
Поверхностное натяжение	MT^{-2}	ньютон на метр	N/m	Н/м	$kg \cdot s^{-2}$
Динамическая вязкость	$L^{-1}MT^{-1}$	Паскаль - секунда	Pa·s	Па·с	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
Пространственная плотность электрического заряда	$L^{-3}TI$	кулон на кубический метр	C/m^3	$Кл/м^3$	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
Электрическое смещение	$L^{-2}TI$	кулон на квадратный метр	C/m^2	$Кл/м^2$	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
Напряженность электрического поля	$LMT^{-3}I^{-1}$	вольт на метр	V/m	В/м	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
Диэлектрическая проницаемость	$L^{-1}M^{-1}T^4I^2$	фарад на метр	F/m	Ф/м	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
Магнитная проницаемость	$LMT^{-2}I^{-2}$	генри на метр	H/m	Гн/м	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
Удельная энергия	L^2T^{-2}	джоуль на килограмм	J/kg	Дж/кг	$m^2 \cdot s^{-2}$
Теплоемкость системы, энтропия системы	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на кельвин	J/K	Дж/К	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Удельная теплоемкость, удельная энтропия	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на килограмм-кельвин	J/(kg·K)	Дж/(кг·К)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
Поверхностная	MT^{-3}	ватт на	W/m^2	$Вт/м^2$	$kg \cdot s^{-3}$

Приложение Б- продолжение

плотность потока энергии		квадратный метр			
Теплопроводность	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$	ватт на метр - кельвин	W/(m·K)	Вт/(м·К)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
Молярная внутренняя энергия	$L^2MT^{-2}N^{-1}$	джоуль на моль	J/mol	Дж/моль	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
Молярная энтропия, молярная теплоемкость	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	джоуль на моль-кельвин	J/(mol·K)	Дж/(моль·К)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучения)	$M^{-1}TI$	кулон на килограмм	C/kg	Кл/кг	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
Мощность поглощенной дозы	L^2T^{-3}	грэй в секунду	Gy/s	Гр/с	$m^2 \cdot s^{-3}$
Угловая скорость	T^{-1}	радиан в секунду	rad/s	рад/с	s^{-1}
Угловое ускорение	T^{-2}	радиан на секунду в квадрате	rad/s^2	$рад/с^2$	s^{-2}
Сила излучения	L^2MT^{-3}	ватт на стерадиан	W/sr	Вт/ср	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot sr^{-1}$
Энергетическая яркость	MT^{-3}	ватт на стерадиан - квадратный метр	$W/(sr \cdot m^2)$	$Вт/(ср \cdot м^2)$	$kg \cdot s^{-3} \cdot sr^{-1}$

Приложение В
(справочное)
Приставки для образования кратных и дольных единиц и правила их написания.

Наименования и обозначения приставок СИ

Кратные приставки			Дольные приставки		
наимен. приставки	обозначен. приставки (русское)	множитель	наимен. приставки	обозначен. приставки (русское)	множитель
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пета	П	10^{15}	санти	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^{9}	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^{6}	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^{3}	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^{2}	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^{1}	атто	а	10^{-18}

Правила написания приставок.

1 Присоединение к наименованию и обозначению единицы двух или более приставок не допускается.

Например: вместо микромикрофарад следует писать пикофарад.

2 Приставку или ее обозначение следует писать слитно с наименованием единицы или, соответственно, с обозначением последней.

3 Если единица образована как произведение или отношение единиц, приставку или ее обозначение присоединяют к наименованию или обозначению первой единицы, входящей в произведение или в отношение.

Правильно	Неправильно
(kPa·s/m); кПа·с/м)	(Pa·ks/m ; Па·кс/м)

4 Наименование кратных и дольных единиц исходной единицы, возведенной в степень, образуют, присоединяя при-

ставку к наименованию исходной единицы. Например, для образования наименования кратной или дольной единицы площади – квадратного метра, представляющей собой вторую степень единицы длины – метра, приставку присоединяют к наименованию этой последней единицы: квадратный километр, квадратный сантиметр и т. д.

5 Обозначение кратных и дольных единиц исходной единицы, возведенной в степень, образуют добавлением соответствующего показателя степени к обозначению кратной или дольной единицы исходной величины, причем показатель означает возведение в степень кратной или дольной единицы (вместе с приставкой). Примеры:

- $5\ km^2 = 5(10^3 m)^2 = 5 \cdot 10^6\ m^2$

- $350\ cm^3/s = 350(10^{-2} m)^3/s = 350 \cdot 10^{-6}\ m^3/s$

- $0{,}002\ cm^{-1} = 0{,}002(10^{-2} m)^{-1} = 0{,}002 \cdot 100\ m^{-1}$

6 Чтобы не было разночтения в обозначении приставок, начинающихся с одинаковой буквы, например милли и мега, гига и гекто , то приставки мега, **гига, тера, пета, экса** – пишутся с заглавной буквы

Приложение Г
(справочное)

Внесистемные единицы, допустимые к применению наравне с единицами СИ (выписка из ГОСТ 8.417 - 2000)

Наименование величины	Единица				
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
		международное	русское		
Масса	тонна	t	т	$1 \cdot 10^3$ kg	Все области
	атомная единица массы[1), 2)]	u	а.е.м	$1{,}6605402 \cdot 10^{-27}$ kg (приблизительно)	Атомная физика
Время[2), 3)]	минута час сутки	min h d	мин ч сут	60 s 3600 s 86400 s	Все области
Плоский угол[2)]	градус[2), 4)]	…°	…°	$(\pi/180)$ rad = $1{,}745329\ldots \cdot 10^{-2}$ rad	Все области
	минута[2), 4)]	…'	…'	$(\pi/18000)$ rad = $2{,}908882\ldots \cdot 10^{-4}$ rad	
	секунда[2), 4)]	…"	…"	$(\pi/648000)$ rad = $4{,}848137\ldots \cdot 10^{-6}$ rad	
	град (гон)	gon	град	$(\pi/200)$ rad = $1{,}57080\ldots \cdot 10^{-2}$ rad	Геодезия
Объем, вместимость	литр[5)]	l	л	$1 \cdot 10^{-3}$ m^3	Все области
Длина	астрономическая единица	ua	а.е	$1{,}49598 \cdot 10^{11}$ m (приблизительно)	Астрономия
	световой год	ly	св. год	$9{,}4605 \cdot 10^{15}$ m (приблизительно)	
	парсек	pc	пк	$3{,}0857 \cdot 10^{16}$ m (приблизительно)	
Оптическая сила	диоптрия	—	дптр	$1 \cdot m^{-1}$	Оптика
Площадь	гектар	ha	га	$1 \cdot 10^4$ m^2	Сельское и лесное хозяйство
Энергия	электрон-вольт	eV	эВ	$1{,}60218 \cdot 10^{-19}$ J (приблизительно)	Физика
	киловатт-час	kW·h	кВт·ч	$3{,}6 \cdot 10^6$ J	Для счетчиков электрической энергии
Полная мощность	вольт-ампер	V·A	В·А		Электротехника
Реактивная мощность	вар	var	вар		Электротехника
Электрический заряд, количество электричества	ампер-час	A·h	А·ч	$3{,}6 \cdot 10^3$ C	Электротехника

[1)] Здесь и далее см. ГСССД 1-87 [5].

[2)] Наименования и обозначения единиц времени (минута, час, сутки), плоского угла (градус, минута, секунда), астрономической единицы, диоптрии и атомной единицы массы не допускается применять с приставками.

[3)] Допускается также применять другие единицы, получившие широкое распространение, например неделя, месяц, год, век, тысячелетие.

[4)] Обозначение единиц плоского угла пишут над строкой.

[5)] Не рекомендуется применять при точных измерениях. При возможности смешения обозначения *l* ("эль") с цифрой 1 допускается обозначение L.

Приложение Д
(справочное)
Внесистемные единицы, временно допустимые к применению
(выписка из ГОСТ 8.417 - 2000)

Наименование величины	Единица				Область применения
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	
		международное	русское		
Длина	морская миля	n mile	миля	1852 m (точно)	Морская навигация
Масса	карат	—	кар	$2 \cdot 10^{-4}$ kg (точно)	Добыча и производство драгоценных камней и жемчуга
Линейная плотность	текс	tex	текс	$1 \cdot 10^{-6}$ kg/m (точно)	Текстильная промышленность
Скорость	узел	kn	уз	0,514(4) m/s	Морская навигация
Ускорение	гал	Gal	Гал	0,01 m/s^2	Гравиметрия
Частота вращения	оборот в секунду оборот в минуту	r/s r/min	об/с об/мин	1 s^{-1} 1/60 s^{-1} = 0,016(6) s^{-1}	Электротехника
Давление	бар	bar	бар	$1 \cdot 10^5$ Pa	Физика

Приложение Е
(справочное)
Выписка из ГОСТ 8.417-2000

8 Правила написания обозначений единиц

8.1 При написании значений величин применяют обозначения единиц буквами или специальными знаками (...°,...', ..."), причем устанавливают два вида буквенных обозначений: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и русское (с использованием букв русского алфавита). Устанавливаемые стандартом обозначения единиц приведены в таблицах 1—8.

8.2 Буквенные обозначения единиц печатают прямым шрифтом. В обозначениях единиц точку как знак сокращения не ставят.

8.3 Обозначения единиц помещают за числовыми значениями величин и в строку с ними (без переноса на следующую строку). Числовое значение, представляющее собой дробь с косой чертой, стоящее перед обозначением единицы, заключают в скобки.

Между последней цифрой числа и обозначением единицы оставляют пробел.

Правильно:	Неправильно:
100 kW; 100 кВт	100kW; 100кВт
80 %	80%
20 °C	20°C
$(1/60)\ s^{-1}$.	$l/60/s^{-1}$.

Исключения составляют обозначения в виде знака, поднятого над строкой, перед которыми пробел не оставляют.

Правильно:	Неправильно:
20°.	20 °.

8.4 При наличии десятичной дроби в числовом значении величины обозначение единицы помещают за всеми цифрами.

Правильно:	Неправильно:
423,06 m; 423,06 м	423 m 0,6; 423 м, 06
5,758° или 5°45,48'	5°758 или 5°45',48
или 5°45'28,8".	или 5°45'28",8.

8.5 При указании значений величин с предельными отклонениями числовые значения с предельными отклонениями заключают в скобки и обозначения единиц помещают за скобками или проставляют обозначение единицы за числовым значением величины и за ее предельным отклонением.

Правильно:	Неправильно:
(100,0 ± 0,1) kg; (100,0 ± 0,1) кг	100,0 ± 0,1 kg; 100,0 ± 0,1 кг
50 g ± 1 g; 50 г ± 1 г.	50 ± 1 g; 50 ± 1 г.

8.6 Допускается применять обозначения единиц в заголовках граф и в наименованиях строк (боковиках) таблиц.

Пример 1

Номинальный расход, m^3/h	Верхний предел показаний, m^3	Цена деления крайнего правого ролика, m^3, не более
40 и 60	100 000	0,002
100, 160, 250, 400, 600 и 1 000	1 000 000	0,02
2 500, 4 000, 6 000 и 10 000	10 000 000	0,2

Пример 2

Наименование показателя	Значение при тяговой мощности, kW		
	18	25	37
Габаритные размеры, mm:			
длина	3 080	3 500	4 090
ширина	1 430	1 685	2 395
высота	2 190	2 745	2 770
Колея, mm	1 090	1 340	1 823
Просвет, mm	275	640	345

8.7 Допускается применять обозначения единиц в пояснениях обозначений величин к формулам. Помещать обозначения единиц в одной строке с формулами, выражающими зависимости между величинами или между их числовыми значениями, представленными в буквенной форме, не допускается.

Правильно:	Неправильно:
$v = 3{,}6\ s/t$,	$v = 3{,}6\ s/t$ km/h,
где v — скорость, km/h;	где s — путь, m;
s — путь, m;	t — время, s.
t — время, s.	

8.8 Буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделяют точками на средней линии как знаками умножения. Не допускается использовать для этой цели символ «х».

Правильно:	Неправильно:
N·m; Н·м	Nm; Нм
$A{\cdot}m^2$; $А{\cdot}м^2$	Am^2; $Ам^2$
Pa·s; Па·с.	Pas; Пас.

В машинописных текстах допускается точку не поднимать.

Допускается буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделять пробелами, если это не вызывает недоразумения.

8.9 В буквенных обозначениях отношений единиц в качестве знака деления используют только одну косую или горизонтальную черту. Допускается применять обозначения единиц в виде произведения обозначений единиц, возведенных в степени (положительные и отрицательные). Если для одной из единиц, входящих в отношение, установлено обозначение в виде отрицательной степени (например, s^{-1}, m^{-1}, $К^{-1}$, $с^{-1}$, $м^{-1}$, $К^{-1}$), применять косую или горизонтальную черту не допускается.

Правильно:	Неправильно:
$W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$; $Вт{\cdot}м^{-2}{\cdot}К^{-1}$	$W/m^2/K$; $Вт/м^2/К$
$\frac{W}{m^2 \cdot K}$; $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	$\frac{W}{m^2}$; $\frac{Вт}{м^2}$
	$\frac{}{K}$ $\frac{}{К}$

Сокращенные обозначения единиц (как международных, так и русских), названных в честь ученых и изобретателей пишутся с заглавных букв, например ватт – Вт, генри – Гн, вольт - В, а единицы, не связанные с чьим -либо именем, пишутся с маленькой буквы, например секунда – с, радиан - рад.

Приложение Ж
(справочное)

Таблица перевода единиц измерения в единицы СИ

Наименование величины	Единицы измерения		Соотношение старых единиц с единицами СИ	Кратные и дольные единицы СИ
	старые	СИ		
Плоский угол	... ° (градус) ... ' (минута) ..." (секунда)	рад (радиан)	1,745329 ... • 10^{-2} рад 2,908882 ... • 10^{-3} рад 4,848137 ... • 10^{-6} рад	
Телесный угол	стер &127;° (квадратный градус)	ср (стерадиан)	3,0482 ... • 10^{-4} ср	
Длина	м	м		км, см, мм, мкм, нм
Площадь	$м^2$	$м^2$		$км^2$, $дм^2$, $см^2$, $мм^2$
Объем	$м^3$	$м^3$		$дм^3$, $см^3$, $мм^3$
Время	сек (далее "с")	с (секунда)		кс, мс, мкс, нс
Скорость	м/с, см/с	м/с		км/ч
Ускорение	$м/с^2$, $см/с^2$	$м/с^2$		
Угловая скорость	об/с, об/мин	рад/с	6,28 рад/с 0,105 рад/с	

Угловое ускорение	рад/с^2	рад/с^2		
Частота	гц	Гц (герц)		ТГц, ГГц, МГц, кГц
Частота вращения	об/с, об/мин	с$^{-1}$	1с$^{-1}$ 1/60 с$^{-1}$ = 0,016 (6) с$^{-1}$	
Масса	кг, кар (карат)	кг	2 • 10^{-4} кг	Мг, г, мг, мкг
Плотность	кг/м^3	кг/м^3		Мг/м^3, кг/дм^3, г/см^3
Удельный объем	м^3/кг	м^3/кг		
Количество движения	кг • м/с	кг • м/с		
Момент количества движения	кг • м^2/с	кг • м^2/с		
Момент инерции (динамический момент инерции)	кг • м^2	кг • м^2		
Сила, вес	кгс, дин	Н (ньютон)	9,80665Н (точно) 10^{-5} Н	МН, кН, мН, мкН
Удельный вес	дин/см^3	Н/м^3	10 Н/м^3	
Момент силы (изгибающий момент)	кгс • м, дин • см	Н • м	9,80665 Н • м 10^{-7} Н • м	МН • м, кН • м, мН • м, мкН • м
Импульс силы	кгс • с, дин • с	Н • с	9,80665 Н • с 10^{-5} Н • с	

Давление	ат (кгс/см^2), атм, мм вод. ст., мм рт. ст., бар, торр	Па (паскалъ)	98066,5 Па 101325 Па 9,80665 Па 133,322 Па 10^5 Па 133,322 Па	ГПа, МПа, кПа, мПа, мкПа
Напряжение (механическое)	кгс/мм^2	Па	9,80665 • 10^5 Па	ГПа, МПа, кПа
Модуль упругости, модуль упругости при сдвиге	дин/см^2, кгс/м^2	Па	0,1 Па 9,80665 Па	
Динамическая вязкость	П (пуаз), кгс • с/м^2	Па • с	0,1 Па • с 9,80665 Па • с	
Кинематическая вязкость	м^2/с, Ст (стокс)	м^2/с	10^{-4} м^2/с	мм^2/с
Ударная вязкость	кгс • м/см^2, эрг/см^2	Дж/м^2	9,80665 • 10^4 Дж/м^2 10^{-3} Дж/м^2	кДж/м^2
Поверхностное натяжение	дин/см	Н/м	10^{-3} Н/м	м • Н/м
Жесткость при растяжении и сжатии	кгс/мм	Н/м	9806,65 Н/м	
Коэффициент всестороннего сжатия	см^2/дин	м^2/Н	10 м^2/Н	
Работа, энергия	эрг, кгс • м, кВт • ч, эв (электр.-вольт)	Дж (джоуль)	10^{-7} Дж 9,80665 Дж 3,6 • 10^6 Дж 1,60219 • 10^{-6}Дж	ТДж, ГДж, МДж, кДж, мДж
Мощность	л.с., эрг/с, кгс • м/с, кал/с, ккал/с	Вт (ватт)	735,499 Вт 10^{-7} Вт 9,80665 Вт 4,1868 Вт 1,163 Вт	ГВт, МВт, кВт, мВт, мкВт

Температура	°С (обозначение t)	К (кельвин) (обозначение Т), допускается °С	$t = T - T_0$, где $T_0 = 273{,}15$ К	
Температурный коэффициент	$К^{-1}$	$К^{-1}$		

Приложение К

(справочное)

Номинальные значения влияющих физических величин

Влияющая величина	Номинальное значение величины
Температура для всех видов измерений	293 К (20°С)
Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических, давлений, параметров движения	100 кПа (750 мм рт.ст.)
То же для остальных видов измерений	101,3 кПа (760 мм рт.ст.)
Относительная влажность воздуха для измерений: линейных, угловых, массы и спектроскопии	58 %
То же для измерений электрического сопротивления	55 %
То же для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения	65 %
То же, для остальных видов измерений	60 %
Плотность воздуха	1,2 кг/$м^3$
Ускорение свободного падения	9,8 м/$с^2$

Магнитная индукция (например, магнитного поля) и напряженность электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин	0
То же для остальных видов измерений	Соответствует характеристикам поля Земли в данном районе