

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И.А.БУНИНА»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ
ПО КУРСАМ
« МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И СЕРТИФИКАЦИЯ»,
«МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»**

Автор:

Ярлыкова Н.А., ассистент кафедры радиоэлектроники и компьютерной техники

Рецензенты:

С.Ю. Радин, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой механизации и автоматизации технологических процессов
(Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина)

Ю.М., Чаплыгин, главный метролог АО «Энергия» (г. Елец)

В методических указаниях представлены краткие теоретические сведения, рассмотрены примеры решения задач и представлены задачи для самостоятельного решения.

Методические указания предназначены для студентов направлений подготовки бакалавров: 43.03.01 Сервис (профиль Сервис электронной техники), 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, а также для специальности среднего профессионального образования 11.02.02 Техническое обслуживание и ремонт радиоэлектронной техники (по отраслям).

Предназначено для студентов очной и заочной формы обучения.

Оглавление

Глава 1. Единицы физических величин. Система СИ.	5
1.1 . Теоретические сведения по теме «Единицы физических величин. Система СИ».	5
1. 2. Примеры решение задач по теме «Единицы физических величин. Система Си».	10
1.3. Задачи для самостоятельного решения по теме «Единицы физических величин. Система Си».	11
Глава 2. Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений.	12
2.1.Теоретические сведения по теме «Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений».	12
2.2. Примеры решения задач по теме «Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений»	21
2.3. Задачи для самостоятельного решения по теме «Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений»	24
Глава 3. Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений	27
3.1.Теоретические сведения по теме «Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений»	27
3.2. Примеры решения задач по теме «Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений»	34
3.3. Задачи для самостоятельного решения по теме	35
Глава 4. Обработка результатов прямых многократных измерений	38

4.1. Теоретические сведения по теме «Обработка результатов прямых многократных измерений»	38
4.2. Примеры решения задач по теме «Обработка результатов прямых многократных измерений»	49
4.3. Задачи для самостоятельного решения по теме	56
Глава 5. Кодирование информации. Расшифровка штрих-кода.	58
5.1. Решение задач по теме «Кодирование информации. Расшифровка штрих-кода»	58
ТЕСТЫ.....	61
Вариант №1	61
Вариант 2	65
Итоговый тест.	69
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	78
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	88

Глава 1. Единицы физических величин. Система СИ.

1.1. Теоретические сведения по теме «Единицы физических величин. Система СИ».

Метрология - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Метрология подразделяется на теоретическую, прикладную и законодательную.

Теоретическая метрология занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения.

Прикладная (практическая) метрология занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии.

Законодательная метрология включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений (уполномоченными на то органами государственной власти), имеют обязательную силу и находятся под контролем государства.

Измерение - совокупность операций, выполняемых с помощью технического средства, хранящего единицу величины, позволяющего сопоставить измеряемую величину с ее единицей и получить значение величины. Это значение называют результатом измерений.

Основным объектом измерения в метрологии являются физические величины.

Физическая величина – одно из свойств физического объекта (явления, процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Физическая величина применяется для описания материальных систем и объектов (явлений, процессов и т.п.), изучаемых в любых науках (физике, химии и др.).

Существуют основные и производные величины. Совокупность основных и производных единиц, относящихся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами - *система единиц физических величин*.

Основными являются физ. величины и единицы, выбираемые произвольно и независимо друг от друга. Каждой основной физ. величине присваивается символ латинского или греческого алфавита. Основные величины определены в соответствии с ГОСТ 8.417.

Производными являются физ. величины и их единицы, которые определяются либо через основные единицы, либо через другие производные единицы с помощью *определяющих уравнений*, представляющих физические законы или определения соответствующих физ. величин.

Основные физические величины приняты Международной системой единиц СИ (Système International d'Unités - SI), которая утверждена в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) (таблица 1.1.):

1. Длина L (размерность), метр (наименование), m (международное), m (русское обозначение) (см. Таблица 1, Приложение 2).

2. Масса M , килограмм, kg , $кг$.

3. Время T , секунда, s , $с$.

4. Сила электрического тока, I , Ампер, A , A .

5. Термодинамическая температура, θ , Кельвин, K , K .

6. Количество вещества, N , моль, mol , моль.

7. Сила света J , Кандела, cd , $кд$.

Таблица 1.1

Величина		Единица		
Наименование	Размер- ность	Наимено- вание	Обозначение	
			меж- ду-	рус- ское
Основные единицы				
Длина	L	Метр	T	м
Масса	M	Килограмм	K	кг
Время	T	Секунда	S	с
Сила электриче- ского тока	I	Ампер	A	A
Температура тер- модинамическая	θ	Кельвин	K	K
Количество веще- ства	N	Моль	mol	моль
Сила света	J	Кандела	C	кд
Дополнительные единицы				
Плоский угол	-	РадIAN	га	ра
Телесный угол	-	Стерadian	Sr	ср

Дополнительные:

1. Плоский угол (геометрическая фигура, образованная двумя лучами (сторонами угла), выходящими из одной точки) - радиан рад (угол между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу);

2. Телесный угол (часть пространства, заключенная внутри одной полости конической поверхности с замкнутой направляющей) – стерадиан sr (телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на поверхности сферы площадь равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы).

Для удобства применения единиц физических величин СИ приняты приставки для образования десятичных кратных и дольных (меньших) единиц, множители и приставки которых приведены в Приложении 1.

Измеряемые величины имеют качественную и количественную характеристики. Формализованным отражением качественного различия изме-

ряемых величин является их **размерность**. Согласно международному стандарту ИСО размерность обозначается символом *dim*, от латинского *dimensim* (размерность). Например, размерность основных физических величин – длины, массы и времени – обозначается соответствующими заглавными буквами: $\dim l - L$; $\dim m - M$; $\dim t - T$.

Размерность производной физической величины выражается через размерность основных физических величин с помощью степенного одночлена:

$$\dim X = L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma} \quad (1.1)$$

где L, M, T – размерности соответствующих основных физических величин;

α, β, γ – показатели размерности (показатели степени, в которую возведены размерности основных физических величин).

Показатель размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то величина называется *безразмерной*. Она бывает относительной, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и логарифмической, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений).

Количественной характеристикой измеряемой величины служит ее **размер**. Получение информации о размере физической или нефизической величины является содержанием любого измерения.

Значение физической величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с основным уравнением измерения:

$$Q = X [Q], \quad (1.2)$$

где Q – значение физической величины; X – числовое значение измеряемой величины в принятой единице; $[Q]$ – выбранная для измерения единица.

Истинное значение физической величины – это такое значение, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношении соответствующие свойства объекта.

Результат измерения дает только *оценку* истинного значения физ. величины с некоторой погрешностью. Понятие истинного значения физ. величины необходимо как теоретическая основа развития теории измерений, в частности при раскрытии понятия погрешности.

Погрешность измерения физической величины определяется разностью $\Delta_x = x - X$ (или $X = X_{\text{изм}} - X_{\text{и}}(X_{\text{д}})$),

где x – измеренное значение физической величины, X – ее истинное значение.

Действительное значение физической величины – это значение, найденное экспериментальным путем и приближающееся к истинному настолько, что для данной цели может применяться вместо него. Оно получается при помощи образцовых средств измерения.

Таким образом, показание образцового прибора – это всегда действительное значение.

Действительное значение величины определяется экспериментально из предположения, что результат эксперимента либо измерения близок к истинному значению величины.

Чтобы найти *размерность производной физической величины* в некоторой системе величин, надо в правую часть определяющего уравнения этой величины вместо обозначений величин подставить их размерности. Так, например, поставив в определяющее уравнение скорости равномерного движения $v = ds/dt$ вместо ds размерность длины L и вместо dt размерность времени T , получим

$$\dim v = L / T = LT^{-1} \quad (1.3)$$

Подставив в определяющее уравнение ускорения $a = dv/dt$ вместо dt размерность времени T и вместо dv найденную выше размерность скорости LT^{-1} , получим

$$\dim a = LT^2 \quad (1.4)$$

Зная размерность ускорения по определяющему уравнению силы $F = ma$, получим:

$$\dim F = M \cdot LT^{-2} = LMT^{-2} \quad (1.5)$$

Зная размерность силы, можно найти размерность работы, затем размерность мощности и т.д. Таблица наиболее часто встречающихся производных единиц системы СИ представлена в приложении 2.

1. 2. Примеры решение задач по теме «Единицы физических величин. Система Си».

Пример 1. Допускаемая угловая скорость в зубчатых передачах в прежних единицах равна 1650 об/мин. Выразите угловую скорость в единицах системы СИ.

$$\text{Решение: } \omega = \frac{1650 \cdot 2\pi}{60} = 55\pi \text{ рад/с} = 173 \text{ рад/с.}$$

Пример 2. Сила давления на ролик при накатывании резьбы составляет 305 кгс. Выразить силу в единицах системы СИ.

$$\text{Решение: } F = 305 \cdot 9,80665 = 2991 \text{ Н} \approx 3 \text{ кН.}$$

Пример 3. Выразить кинетическую энергию маховика, составляющую 12,5 кгс·м в единицах системы СИ.

$$\text{Решение: } K = 12,5 \cdot 9,80665 = 122,6 \text{ Дж.}$$

Пример 4. Работа, выполненная мотором мощностью 5 кВт за 7 ч, составляет 35 кВт·ч. Выразить работу единицах системы Си.

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

Пример 5. Расшифруйте международные и русские обозначения относительных и логарифмических единиц: процент (%), промилле (‰), миллионная доля (ppm, млн⁻¹).

Решение: Это обозначения относительных единиц, характеризующих, например, КПД, относительное удлинение и т.п., при этом принято выражение в процентах (%), когда отношение равно 10⁻²; в промилле (‰),

когда отношение равно 10^{-3} ; в миллионных долях (ppm) при отношении, равном 10^{-6} .

1.3. Задачи для самостоятельного решения по теме «Единицы физических величин. Система СИ».

1. Мощность двигателя автомобиля составляет 75 л.с. Выразите мощность в единицах системы СИ.
2. Дюймовые доски длиной 3 м и шириной 20 см отпускаются со склада по цене 500 руб. за кубометр. Сколько стоят 10 досок?
3. Скорость автомобиля на прямолинейном участке трассы составила 175 км/ч. Перевести в единицы измерения системы СИ.
4. На мировом рынке нефть продается по цене 80 американских долларов за баррель. Оценить ежеквартальный объем выручки от экспорта 150 тыс. т нефти.
5. Во многих странах Европы температура измеряется по шкале Фаренгейта. Если в Париже 68°F , а в Москве 20°C , то где теплее?
6. Определить в единицах СИ среднюю скорость (V) объекта, если за время $t = 500$ мс им пройдено расстояние $S = 10$ см.
7. Угловая скорость электродвигателя составляет 1400 оборотов в минуту. Перевести в единицы измерения системы СИ.
8. Назовите приведенные значения физических величин, используя кратные и дольные приставки: $5,3 \cdot 10^{13} \text{ Ом}$, $10,4 \cdot 10^{13} \text{ Гц}$, $2,56 \cdot 10^7 \text{ Па}$.
9. По размерности и обозначениям единиц определите, какие это физические величины и единицы: 1) L^2MT^{-2} , $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$; 2) LT^{-1} , $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; 3) LT^{-2} , $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$.
10. Напишите формулы размерности, выразите через основные и дополнительные единицы СИ и приведите наименования единиц следующих электрических величин: 1) частоты; 2) энергии, работы, количества теплоты; 3) количества электричества.

Глава 2. Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений.

2.1. Теоретические сведения по теме «Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений».

Основной метрологической характеристикой средств измерений является их погрешность.

Погрешность средств измерений – это разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины.

Поскольку истинное значение физической величины неизвестно, то на практике пользуются ее действительным значением.

Погрешность результата измерений определяет качество измерений и в значительной мере зависит от погрешности средств измерений.

Конкретные причины и характер проявления погрешностей весьма разнообразны. Соответственно их классифицируют по многим признакам.

Основные классификации погрешностей измерений.

1. По способу количественного выражения погрешности делятся на:

- абсолютные;
- относительные;
- приведенные.

2. По характеру проявления измерения:

- систематические – постоянные;
 - пропорциональные;
 - погрешности, изменяющиеся по сложному закону.
- случайные;
- грубые.

3. По причинам возникновения:

- методические;

- инструментальные;
- внешние;
- субъективные.

4. По характеру изменения измеряемой величины:

- статические;
- динамические.

5. По условиям, в которых используются средства измерений:

- основная;
- дополнительная;
- допускаемая.

6. В зависимости от значения измеряемой величины:

- аддитивные;
- мультипликативные.

1. По способу количественного выражения.

Абсолютная погрешность средств измерений – это разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Абсолютная погрешность оценивает точность прибора только в одной точке диапазона измерений и выражается в единицах измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{п}} = x_{\text{п}} - x_{\text{д}} , \quad (2.1)$$

где $x_{\text{п}}$ – показания прибора; $x_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемой величины.

Знак абсолютной погрешности будет положительным, если измеренное значение больше действительного, и отрицательным в противном случае.

Поправка – это абсолютная погрешность измерения, взятая с обратным знаком. Например, если абсолютная погрешность $\Delta_x = 1^\circ\text{C}$, то поправка $\nabla_x = +1^\circ\text{C}$.

Относительная погрешность средств измерений – погрешность средств измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности к действительному значению физической величины, в пределах диапазона измерений. Относительная погрешность средства измерения выражается в % и определяется как

$$\delta_n = \pm \frac{\Delta x_n}{x_n} 100\% , \quad (2.2)$$

где Δx_n – абсолютная погрешность; x_n – показания прибора.

Относительная погрешность оценивает точность прибора также в одной точке и переменна по диапазону измерений.

Если диапазон измерения прибора охватывает и нулевое значение величины, то относительная погрешность обращается в бесконечность в соответствующей ему точке шкалы.

Приведенная погрешность средств измерений – относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Условно принятое значение величины называют нормирующим значением. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах и определяют по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta x_n}{x_N} 100\% , \quad (2.3)$$

где x_N – нормирующие значения.

Нормирующее значение считают равным:

- конечному значению шкалы прибора, если отметка находится на краю или вне шкалы, например шкала от 0 А до 15 А, то $x_n=15$ А;
- сумме модулей конечных значений шкалы приборов, если нулевая отметка находится внутри шкалы, например шкала прибора от -5 А до +5 А, то $x_n=10$ А;

- номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено;

- длине шкалы, если шкала имеет резко сужающиеся деления; в этом случае погрешность и длину шкалы выражают в одних единицах.

Для приборов со шкалой, градуированной в единицах величины, для которой принята шкала с условным нулем (например, в °C), нормирующее значение принимают равным разности конечного и начального значений шкалы, т.е. диапазону измерений.

Приведенная погрешность характеризует постоянную точность измерительного прибора по всему диапазону измерений.

2. По характеру проявления измерения.

Систематическая погрешность измерения Δ_s - составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при многократных (повторных) измерениях одной и той же физической величины. Систематические погрешности предсказуемы и благодаря этому полностью устранены введением соответствующих поправок. Источником систематической погрешности может послужить, например, неточное нанесение отметок на шкалу стрелочного прибора, деформация стрелки.

В зависимости от характера изменения систематические погрешности подразделяют на постоянные, пропорциональные и погрешности, изменяющиеся по сложному закону.

Постоянные погрешности длительное время сохраняют свое значение, в частности, в течение всего периода выполнения измерений. Они встречаются наиболее часто. Хорошим примером такого вида систематической погрешности является постоянное, отличное от нуля значение холостого опыта.

Пропорциональные погрешности изменяются пропорционально значению измеряемой величины.

В зависимости от причин возникновения систематические погрешности подразделяют на инструментальные, погрешности метода измерений, субъективные, погрешности вследствие несоблюдения установленных условий измерений.

Погрешности метода измерений (теоретические) обусловлены несовершенством принятого метода измерений. Они являются следствием упрощенных представлений о явлениях и эффектах, лежащих в основе измерений.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же величины. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результатах измерений. Они вызывают рассеяние числовых значений измеряемой величины (различие их в последних значащих цифрах) при многократном и достаточно точном ее измерении при неизменных условиях. Описание случайных погрешностей производится с помощью математической статистики.

Грубыми (промахами) называются погрешности, связанные с неаккуратным ведением измерений и записи результатов, а также со сбоями аппаратуры. Погрешности такого рода должны быть исключены путем проверок результатов измерений. Пример, увидел 2,1, записал 1,2.

Прогрессирующая (дрейфовая) погрешность — непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени.

3. По причинам (источникам) возникновения:

Методические погрешности Δ_M – погрешности, которые связаны с выбором метода измерений; это погрешность, обусловленная несовершенством метода измерений.

Причиной их возникновения является несовершенство метода измерений (т.е. экспериментатор измеряет или вынужден измерять не ту величину, которая в принципе должна быть измерена, а некоторую другую,

близкую, но не равную ей, которую проще измерить; экспериментатор должен четко различать фактически измеряемую им величину от подлежащей измерению и уметь оценивать методические погрешности).

Инструментальные (аппаратурные) погрешности измерений

$\Delta_{инс}$ обусловлены погрешностями применяемого средства измерения.

Они возникают из-за износа деталей и прибора в целом, излишнего трения в механизме прибора, неточного нанесения штрихов при калибровке. Эти погрешности принадлежат данному средству измерений, могут быть определены при его испытаниях и занесены в его паспорт.

Инструментальная погрешность указана на самом приборе в виде абсолютной погрешности или в виде цены деления.

Если на приборе не указан класс точности и абсолютная погрешность, то инструментальную погрешность принимают равной половине цены наименьшего деления.

Цена деления – это число единиц измеряемой величины, приходящееся на одно деление шкалы.

Чтобы определить цену деления шкалы, нужно предел измерения прибора разделить на общее число делений шкалы.

Внешние погрешности – это погрешности, связанные с отклонением нескольких влияющих на измерение величин (например, температура, влажность, внешние электромагнитные поля, механическое воздействие и т.д.).

Субъективные погрешности $\Delta_{суб}$ – погрешности, возникающие вследствие ошибки оператора (невнимательность, небрежность в измерениях).

4. По характеру изменения измеряемой величины.

Эти погрешности присущи как средствам, так и методам измерений. Различают их по зависимости от скорости изменения измеряемой величины.

1) Статические погрешности – погрешности, не зависящие от скорости изменения измеряемой величины (измеряемая величина не меняется во времени).

2) Динамические - это погрешности, отсутствующие при скорости изменения измеряемой величины, близкой к нулю, и возрастающие при ее отклонении от нуля (измеряемая величина меняется во времени).

5. По условиям, в которых используются средства измерений (по условиям возникновения).

Основная погрешность – погрешность, возникающая при нормальных условиях. Нормальные условия – оговоренные в технической документации (паспорте) условия поверки или градуировки средств измерения.

Наиболее типичными нормальными условиями являются:

- температура $(20 \pm 5)^\circ \text{C}$;
- относительная влажность $(65 \pm 15) \%$;
- атмосферное давление $(100 \pm 4) \text{ кПа}$ или $(750 \pm 30) \text{ мм рт. ст.}$;
- напряжение питания электрической сети $220 \text{ В} \pm 2 \%$ с частотой 50 Гц.

Иногда вместо номинальных значений влияющих величин указывается нормальная область их значений. Например, влажность $(30 - 80) \%$.

Дополнительная погрешность средств измерений – погрешности, возникающие вследствие отклонения условий эксплуатации от нормальных.

Для того чтобы заранее оценить погрешность, которую внесет данное средство измерения в конкретный результат, пользуются так называемыми *нормированными* значениями погрешности. *Нормированными* называются значения погрешности, являющиеся *предельными для данного типа средства измерения*.

Фактические погрешности приборов меньше нормированных, они могут быть положительными или отрицательными, а в редких случаях даже

близки к нулю. Нормируются как основная, и так и дополнительная погрешности.

Допускаемой основной погрешностью (допускаемой погрешностью) называется предельное значение основной погрешности.

Дополнительная погрешность нормируется указанием *коэффициентов влияния* отдельных влияющих величин на изменение показаний прибора. Допускаемая погрешность, а также коэффициенты влияния заносятся в паспорт каждого СИ.

6. В зависимости от значения измеряемой величины.

Так как основная погрешность средств измерения нормируется различными способами, то основное различие в способах нормирования обусловлено разным соотношением аддитивной и мультипликативной составляющих в погрешностях тех или иных СИ. Рассмотрим основные случаи.

1) Мультипликативная погрешность. Погрешность СИ имеет мультипликативный характер, если абсолютная инструментальная погрешность возрастает прямо пропорционально текущему значению x измеряемой величины, а относительная погрешность постоянна при любом значении x и вычисляется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta_x}{X_{действит.}} \quad (2.4)$$

Класс точности указывается в виде значения γ_s , выраженного в процентах. Обозначаемое на шкале значение класса точности обводится кружком. Например $\bigcirc .$ обозначает, что $\gamma_s = 1\%$.

Абсолютная погрешность результата измерения рассчитывается по формуле:

$$\Delta_x = \gamma_s, \Delta_x = \frac{\gamma_s \cdot x_N}{100} \quad (2.5)$$

2) Аддитивная погрешность. Погрешность СИ имеет аддитивный характер, если абсолютная инструментальная погрешность СИ остается

постоянной во всем диапазоне измерений, т.е. не зависит от текущего значения x измеряемой величины, а относительная погрешность обратно пропорциональна значению измеряемой величины.

В целях единообразия представления результатов и погрешностей измерения показатели точности и формы представления результатов измерений стандартизованы. Стандартом установлено, что в численных показателях измерений (в том числе и в погрешности) должно быть не более двух значащих цифр.

Правила округления результатов измерений:

- погрешность результата измерения указывается одной или двумя значащими цифрами. Две значащие цифры обязательны для выполнения точных измерений;

- результат измерения округляется так, чтобы он оканчивался цифрой того же разряда, что и значение погрешности, например, при погрешности $\pm 0,06$ результат 12,124 будет записан как 12,12, а при $\pm 0,5$ как 12,1;

- если числовое значение результата измерений представляется десятичной дробью, оканчивающейся нулями, то нули отбрасываются только до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности, например: результат 35,000 при значении погрешности $\pm 0,06$ записывается в виде 35,00, а при $\pm 0,5$ в виде 35,0;

- если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то оставшиеся цифры числа не меняются, например при результате 8,443 после округления записывается 8,4;

- если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше или равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу, например при сохранении трех значащих цифр число 27598 округляют до 27600;

- если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры известны или нули, то последнюю сохраняемую цифру не изменяют, если

она четная и увеличивают, если она нечетная, например 23,5 при сохранении двух значащих цифр округляют до 23, а число 25,5 – до 25;

- округление делают лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

Таким образом, формула записи результата измерения имеет вид:

$$X = X_{np} \pm \Delta x, U = U_{np} \pm \Delta U \quad (2.6)$$

Например, показание прибора равно 37,67 мА; вычисленное значение абсолютной погрешности $\pm 0,541$ мА; округленное значение абсолютной погрешности $\pm 0,5$ мА; результат измерений $I = (37,7 \pm 0,5)$ мА.

Подробно обозначения и правила округления представлены в приложении 3.

2.2. Примеры решения задач по теме «Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений»

Пример 1. Определить относительную погрешность измерения напряжения переменного тока вольтметром при положениях переключателя работы на постоянном и переменном токах, если прибор показывает в первом случае 128 В, во втором 120 В при напряжении 127 В.

Решение: Относительная погрешность измерения выражается отношением абсолютной погрешности измерения $\Delta x = x - x_0$ к действительному x_d или измеренному x значению: $\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100\%$.

$$\delta_1 = \frac{128 - 127}{127} \cdot 100\% \approx 0,8\%, \delta_2 = \frac{|120 - 127|}{127} \cdot 100\% \approx 5,5\%$$

Ответ: $\delta_1 = 0,8\%$, $\delta_2 = 5,5\%$.

Пример 2. 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 прибо-

ра, поправку к его показаниям и оцените относительную погрешность термометра.

Решение: За действительное значение принимают показания образцового прибора, т.е. $Q = 111^\circ\text{C}$.

Погрешность поверяемого прибора: $\Delta_x = 110^\circ\text{C} - 111^\circ\text{C} = -1^\circ\text{C}$.

Поправка – это погрешность измерения, взятая с обратным знаком: $\nabla_x = +1^\circ\text{C}$.

Относительная погрешность термометра:

$$\delta = \frac{\Delta_x}{x_0} \cdot 100\% = \frac{|110 - 111|}{111} \cdot 100\% \approx 0,9\%$$

Ответ: $Q = 111^\circ\text{C}$; $\Delta_x = -1^\circ\text{C}$; $\nabla_x = +1^\circ\text{C}$; $\delta \approx 0,9\%$.

Пример 3. Показания часов в момент поверки 12 ч 03 мин. Действительное значение времени 12 ч 00 мин. Определить абсолютную и относительную погрешности часов.

Решение: Абсолютная погрешность часов: $\Delta_x = x - x_0 = 3 \text{ мин} = 180 \text{ с}$.

Относительная погрешность часов: $\delta = \frac{\Delta_x}{x_0} \cdot 100\% = \frac{180 \text{ с}}{43200 \text{ с}} \cdot 100\% \approx 0,4\%$.

Ответ: $\Delta_x = 180 \text{ с}$; $\delta \approx 0,4\%$.

Пример 4. Определить приведенную погрешность амперметра, если его диапазон измерений от -5 А до +5 А, значение поверяемой отметки шкалы равно 3 А, а действительное значение измеряемой величины – 2,98 А.

Решение: При определении приведенной погрешности необходимо найти нормирующее значение (в данном случае оно равно сумме модулей пределов измерения): $x_n = |-5\text{А}| + 5\text{А} = 10\text{А}$.

Тогда приведенная погрешность амперметра:

$$\gamma = \frac{\Delta_x}{x_N} 100\% = \frac{3\text{А} - 2,98\text{А}}{10\text{А}} \cdot 100\% \approx 0,2\%$$

Ответ: $\gamma = 0,2\%$.

Пример 5. 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:

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100\% = \frac{51,5 - 50,0}{50,0} \cdot 100\% \approx 3\%$$

Приведенная погрешность рабочего вольтметра:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} 100\% = \frac{51,5В - 50,0В}{150В} \cdot 100\% \approx 1\%$$

X_N – нормирующее значение, в нашем случае это верхний предел измерений.

Ответ: $\delta \approx 3\%$; $\gamma \approx 1\%$.

Пример 6. Пользуясь правилами округлений до целых, запишите результаты следующих измерений:

Дано: 3478,4 м; *Решение:* 3478 м;

Дано: 4578,6 м; *Решение:* 4579 м;

Дано: 5674,54 м; *Решение:* 5675 м;

Дано: 1234,50 мм; *Решение:* 1234 мм;

Дано: 43210,500 с; *Решение:* 43210 с;

Дано: 8765,50 кг; *Решение:* 8766 кг;

Дано: 232,5 мм; *Решение:* 232 мм;

Пример 7. Пользуясь правилами округления запишите правильно результат измерения

Дано: $237,46 \pm 0,13$ мм. *Решение:* $237,5 \pm 0,1$ мм.

Дано: 359623 ± 307 с. *Решение:* $(359,6 \pm 0,3) 10^3$ с.

Дано: 123357 ± 678 А/м. *Решение:* 123400 ± 700 А/м.

Дано: 123357 ± 678 В. *Решение:* $123,4 \pm 0,7$ кВ.

Дано: $0,00283 \pm 0,00034$ кг. Решение: $(2,8 \pm 0,3) 10^{-3}$ кг.

Дано: $1,045 \pm 0,000003$ с. Решение: $1,045000 \pm 0,000003$ с.

Дано: $0,000000047 \pm 0,0000000098$ м. Решение: 50 ± 10 нм.

Дано: $67.89 \cdot 10^{-7} \pm 49,3 \cdot 10^{-8}$ А. Решение: $6,8 \pm 0,5$ мкА.

Дано: $589 \pm 0,69$ Н. Решение: $589,0 \pm 0,7$ Н.

Пример 8. Определить цену деления амперметра, имеющего на шкале n_A делений = 150, и предел измерений $I_m = 3$ А.

Решение: Цена деления определяется из соотношения: $C_A = \frac{I_m}{n_A}$,

где C_A - цена деления амперметра;

I_m – предел измерения шкалы амперметра;

n_A - количество делений шкалы амперметра.

Следовательно, $C_A = \frac{3 \text{ А}}{150} = 0,02 \text{ А}$

Ответ: $C_A = 0,2 \text{ А}$.

2.3. Задачи для самостоятельного решения по теме «Расчет погрешностей средств измерений. Округление результатов измерений»

1. Измеряется мощность трехфазного тока двумя ваттметрами. Какова наибольшая погрешность измерения, если стрелка первого ваттметра показывает 120 делений и погрешность этого прибора не более 0,5%, а стрелка второго ваттметра показывает 40 делений и погрешность прибора 1%.

2. Определить относительную и приведенную погрешности вольтметра, если его диапазон измерений от -12 В до $+12 \text{ В}$, значение поверяемой отметки шкалы равно 8 В . Действительное значение измеряемой величины $7,97 \text{ В}$.

3. Определите суммарное сопротивление двух последовательно соединенных образцовых катушек сопротивления при $R_1 = (10 \pm 0,05) \text{ Ом}$; $R_2 = (1 \pm 0,02) \text{ Ом}$.

4. Определите абсолютную погрешность измерения постоянного тока амперметром, если он в цепи с образцовым сопротивлением 5 Ом показал ток 5 А, а при замене прибора образцовым амперметром для получения тех же показаний пришлось уменьшить напряжение на 1 В.

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

6. 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.

7. Найденное значение тока $I_1 = 26 \text{ А}$, а его действительное значение $I = 25 \text{ А}$. Определить абсолютную и относительную погрешность измерения.

8. При поверке концевой меры длины размера 20 мм получено значение 20,0005 мм. Определить абсолютную и относительную погрешности.

9. Показание вольтметра с диапазоном измерений от 0 до 200 В равно 161,5 В. Показание образцового вольтметра, подключенного параллельно равно 160 В. Определите относительную и приведенную погрешности рабочего вольтметра.

10. Измерение напряжения в цепи производят образцовым и поверяемым вольтметрами. Первый показал напряжение 46 В, второй 47 В. Определите погрешность поверяемого прибора и поправку к его показаниям.

11. Какова относительная погрешность измерения напряжения переменного тока электромагнитным вольтметром при положении пере-

ключателя рода работы на постоянном токе, если прибор показывает 128 В при напряжении 127 В.

12. Вольтметр имеет абсолютную погрешность $\Delta = \pm 0,1$ В, из-за влияния температуры имеется дополнительная погрешность $D = 0,06$ В. Определите суммарную погрешность.

13. Результат измерения тока 49,9 А, а его действительное значение $I = 50,0$ А. Определить относительную погрешность измерения и поправку, которую следует ввести в результат измерения.

14. Методом сравнения определены показания образцового вольтметра 2 В и поверяемого вольтметра 1,95 В. Определить абсолютную систематическую погрешность и поправку для поверяемого средства измерения, если случайная составляющая погрешности равна нулю.

15. Напишите округленные до целых следующие результаты измерений: 1234,50 мм; 8765,50 кг; 43210,500 с.

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

17. Округлите в соответствии с правилами округления следующие числа: 148935 и 535, 3455 (до 5 значащих цифр); 1234,50; 8765,50 кГц; 43210,500 с (до целого); 6783,6; 5499,7; 12,34501 (до 4 значащих цифр).

18. Результат измерения сопротивления 17,1 Ом, погрешность результата $\pm 0,005$ Ом. Запишите результат измерения сопротивления, пользуясь правилами округлений.

19. Результат измерения давления 1,0600 Па, погрешность результата измерения $\Delta = 0,001$ Па. Запишите результат измерения давления, пользуясь правилами округлений.

20. Определить цену деления вольтметра, имеющего на шкале n_B делений = 100, и предел измерений $U_m = 150$ В.

21. Определить цену деления ваттметра, имеющего $n_{вт}$ делений шкалы = 30, и пределы измерений по току $I_{мвт} = 2,5$ А и напряжению $U_{мвт} = 150$ В.

Глава 3. Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений

3.1. Теоретические сведения по теме «Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений»

Нормирование погрешностей средств измерений.

Для того чтобы заранее оценить погрешность, которую внесет данное средство измерения в конкретный результат, пользуются так называемыми *нормированными* значениями погрешности. *Нормированными* называются значения погрешности, являющиеся *предельными для данного типа* средства измерения.

Фактические погрешности приборов меньше нормированных, они могут быть положительными или отрицательными, а в редких случаях даже близки к нулю. Нормируются как основная, и так и дополнительная погрешности.

Максимальная основная погрешность измерительного прибора, при котором он допускается к применению, называется **пределом допускаемой основной погрешности** - это интервал, в котором находится значение основной погрешности средства измерения.

Пределы допускаемых значений основной и дополнительной погрешности выражают в форме приведенных, относительных или абсолютных погрешностей. Это зависит от характера изменения погрешностей средств измерений в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средства измерения.

В случае превышения установленного предела средство измерений остается непригодным к применению.

Например, предел допускаемой приведенной погрешности амперметра класса 1,0 равен $\pm 1\%$ от верхнего предела измерений, т. е. при верхнем пределе измерений 10 А предел допускаемой приведенной погрешности составит 0,1%.

Далее рассмотрим формы аналитического выражения и способы нормирования пределов допускаемых основной и дополнительной погрешности СИ.

Пределы допускаемой абсолютной относительной погрешности выражаются в единицах измеряемой величины или условно в делениях шкалы СИ, определяемой в виде:

$$\Delta x = \pm a \quad (3.1)$$

или

$$\Delta x = \pm(a + bx) = \pm a \pm bx \quad (3.2)$$

где a и b - положительные числа; x - значение измеряемой величины.

Формула (3.1) описывает чисто аддитивную погрешность (рис. 3.1, а), на рисунке 3.1, б – мультипликативная погрешность, а формула (3.2) – сумму аддитивной и мультипликативной погрешностей (рис. 3.1, в).

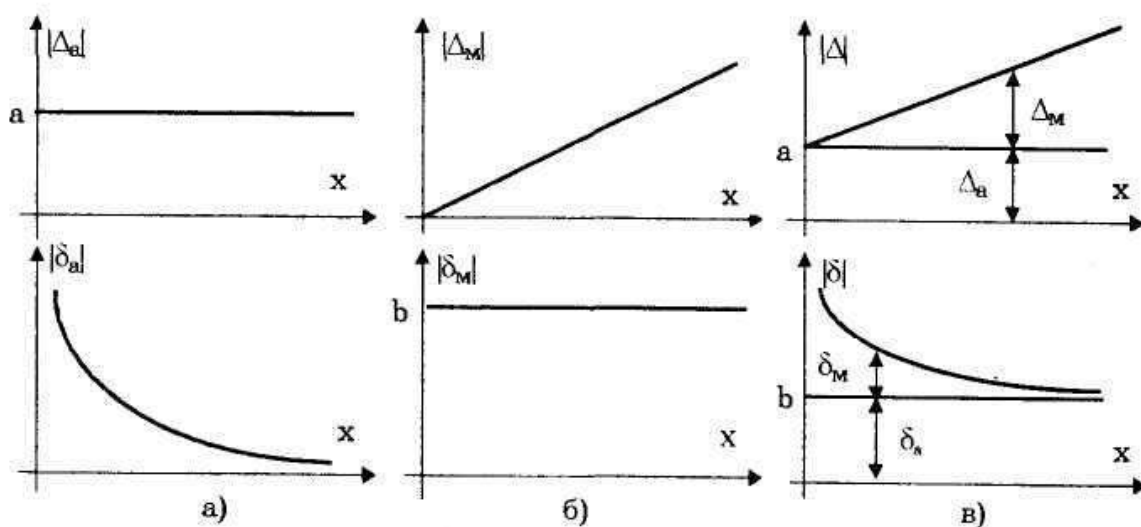


Рис. 3.1. Аддитивная (а), мультипликативная (б) и суммарная (в) погрешности в абсолютной и относительной формах.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности определяются по формуле (выражаются в %):

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = \frac{\Delta \cdot 100}{x} = \pm q ,$$

где q - отвлеченное положительное число и если Δx определяется по формуле (3.1); если по формуле (3.2), то

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_K}{x} \right| - 1 \right) \right] \quad (3.3)$$

где x_K - больший (по модулю) из пределов измерений для заданного диапазона средств измерений, $c = (b + d)$, $d = \frac{a}{|x_K|}$, Δx определяется по формуле (3.2).

Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, %, определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% = \pm p \quad (3.4)$$

где Δx - пределы допускаемой абсолютной погрешности, определяемые по формулам (3.1) и (3.2), p - отвлеченное положительное число.

Графически пределы основной допускаемой абсолютной и относительной погрешностей представлены на рисунках 3.2, а и 3.2, б.

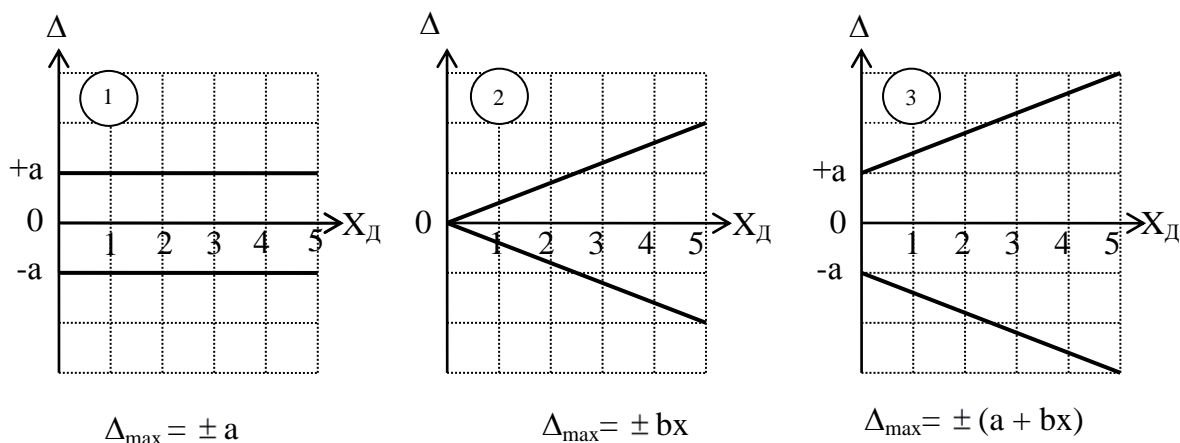


Рис. 3.2, а. Пределы допускаемой абсолютной погрешности.

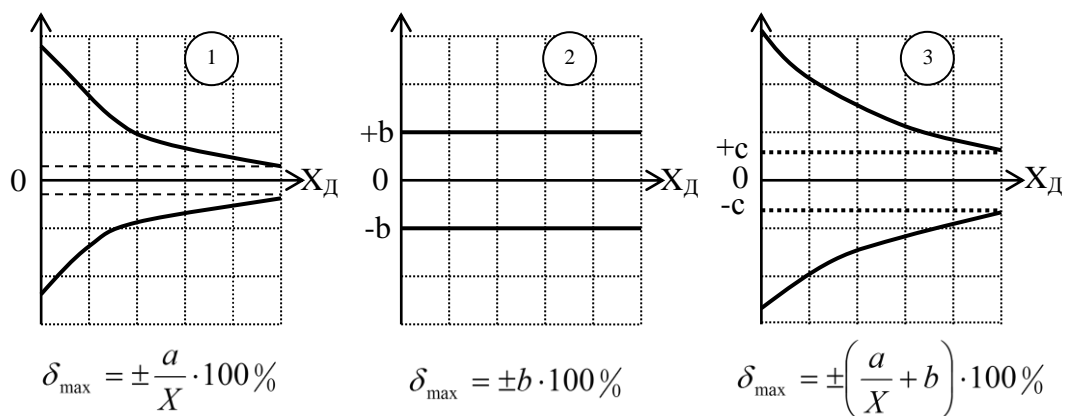


Рис. 3.2, б. Пределы допускаемой относительной погрешности.

Классы точности приборов. Обозначение классов точности средств измерений.

Для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление по точности на классы.

Класс точности средств измерений – это обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений одного типа, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью каждого из этих средств. Они удобны для сравнительной оценки качества СИ, их выбора, международной торговли. Устанавливаются по ГОСТ 8.401 – 80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие положения». В соответствии с которым для обозначения классов точности допускается применение следующих чисел: $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$, где $n = 0, -1, -2$, и т.д.

Классы точности конкретных типов СИ устанавливаются стандартами, содержащими технические требования к средствам измерений.

СИ с двумя или более диапазонами измерений одной и той же физической величины допускается присваивать два или более класса точности. СИ, предназначенным для измерения двух или более физических величин, допускается присваивать различные классы точности для каждой измеряемой величины (например, цифровой вольтметр – омметр имеет два класса точности).

С целью ограничения номенклатуры СИ по точности для СИ конкретного типа устанавливают ограниченное число классов точности.

Классы точности цифровых измерительных приборов со встроенными вычислительными устройствами для обработки результатов измерений устанавливают без учета режима обработки.

Присваивается класс по результатам приемочных испытаний и может понижаться по результатам поверки.

Основой для присвоения измерительным приборам того или иного класса точности является допускаемая основная погрешность и способ ее выражения. Пределы допускаемой основной погрешности выражают в форме приведенной, относительной или абсолютной погрешностей. Форма зависит от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерений конкретного вида.

Метрологические характеристики, определяемые классом точности, нормируются следующим образом:

- в *форме приведенных погрешностей* – если границы погрешностей можно получить практически неизменными в пределах диапазона измерений;
- в *форме относительных погрешностей* – если указанные границы нельзя полагать постоянными;
- в *форме абсолютных погрешностей* (т.е. в единицах измеряемой величины или в делениях шкалы СИ) – если погрешность результатов измерений в данной области измерений принято выражать в единицах измеряемой величины или в делениях шкалы. Например, для мер массы или длины.

Допускается буквенное или числовое обозначение классов точности.

Для СИ пределы допускаемой основной погрешности, которые выражают в форме приведенной или относительной погрешности (q, p), классы точности обозначают числами, равными этим пределам в %.

Чтобы отличить относительную погрешность от приведенной, на СИ ее обводят $\textcircled{1,5}$, т. е. $\delta_n = \pm 1,5\%$.

Под обозначением класса точности по приведенной погрешности ставят $\overset{0.5}{\vee}$, т. е. $\gamma = \pm 0,5\%$, и записывают без знака \vee , если X_N выражено в единицах величины.

Если класс точности определяется по относительной погрешности (с, d), то они разделяются косой чертой «/» (с/d):

$$\delta = [0,02 + 0,01(\left|\frac{X_c}{X}\right|)] \%, \quad (3.5)$$

то класс точности 0,02/0,01.


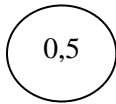
Класс точности по абсолютной погрешности обозначается римскими цифрами или латинскими буквами в зависимости от пределов значений погрешности.

Обозначение класса точности на средствах измерений дает непосредственное указание на предел допускаемой погрешности. Так, при измерении манометрическим термометром со шкалой 0...150 °C ($X_N = 150^\circ\text{C}$) класса точности 2,5 основная абсолютная погрешность на любой отметке шкалы термометра не превышает по модулю:

$$\Delta_{\text{п}} = \pm 2,5 X_N / 100 = \pm (2,5 \cdot 150) / 100 = 3,75.$$

Правила построения и примеры обозначения классов точности приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Примеры обозначения классов точности
в документации и на средствах измерений

Форма выраже- ния погрешности	Математическое выра- жение	Пределы до- пускаемой пог- решности, %	Обозначение класса точности	
			в докумен- тации	на средстве измерения
Абсолютная	$\Delta x = x_{изм} - x = \pm a$	–	Класс точности	М
	или $\Delta x = x_{изм} - x = \pm (a + bx)$		М	
Относительная	Определяется графиком или таблицей	–	Класс точности С	С
Приведенная	$\gamma = \Delta / X_n \cdot 100\%$, если нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины	$\gamma = \pm 1,5$	Класс точности 1,5	1,5
	$\gamma = \Delta / X_n$, если норми- рующее значение при- нято равным длине шка- лы или ее части	$\gamma = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	
Относительная	$\delta = \Delta / x \cdot 100\% = \pm q$	$\delta = \pm 0,5$	Класс точ- ности 0,5	

	$\delta = \Delta/x \cdot 100\% =$ $\pm [c + d (X_k/x - 1)].$ X_k - больший (по модулю) из пределов измерений; c, d -положительные числа, $c = b + d$; $d = a/ X_k .$	$c = 0,02$ $d = 0,01$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01
--	---	--------------------------	-----------------------------	-----------

3.2. Примеры решения задач по теме «Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений»

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

Решение: Из формулы относительной погрешности: $\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%$,

вычислим абсолютную: $\Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{1 \cdot 0,1}{100} = 0,001 \text{ мА}.$

(x - измеренное значение тока, которое берем в начале шкалы, так как в начале шкалы относительная погрешность измерения больше).

Определим класс точности: $\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N} = \frac{0,001 \text{ мА}}{0,5 \text{ мА}} \cdot 100\% = 0,2\%$

Ответ: класс точности миллиамперметра 0,2.

Пример 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) 1.5

Решение: Из условия задачи $x = 25; x_N = 50 \text{ В}; c = 0,02; d = 0,01$

а) Из формулы относительной погрешности: $\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%$, вычислим абсолютную погрешность: $\Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%}$, где $\delta = \left[c + d \left(\left| \frac{x_N}{x} \right| - 1 \right) \right]$.

Следовательно, $\Delta = \frac{[0,02 + 0,01(|50B/25B| - 1)]\% \cdot 25B}{100\%} = 0,0075B$

б) $\gamma = \frac{\Delta \cdot 100\%}{x_N}$, следовательно $\Delta = \frac{\gamma \cdot x_N}{100\%} = \frac{0,5\% \cdot 50B}{100\%} = 0,25B$

в) $\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%$, следовательно $\Delta = \frac{\delta \cdot x}{100\%} = \frac{1,5\% \cdot 25B}{100\%} = 0,37B$

Ответ: а) $\Delta = 0,0075 B$; б) $\Delta = 0,25 B$; в) $\Delta = 0,37 B$.

3.3. Задачи для самостоятельного решения по теме

«Нормирование погрешностей средств измерений. Классы точности средств измерений»

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

2. Найти относительную погрешность вольтметра класса точности 1,0 с диапазоном измерений от 0 до 150 В, в точке шкалы 50 В.

3. Имеются три вольтметра: класса точности 1,0 с номинальным напряжением 300 В, класса 1,5 на 250 В и класса 2,5 на 150 В. Определить, какой из вольтметров обеспечит большую точность измерения напряжения 130 В.

4. Определите относительную погрешность измерения в начале шкалы (для 30 делений) для прибора класса 0,5, имеющего шкалу на 100 делений.

5. При измерении напряжения импульсным вольтметром В4-14, класса точности 2/0,2, с верхним диапазоном измерения 220 В, его показания были равны 100 В. Определите относительную погрешность вольтметра.

6. 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.

7. Указатель отсчетного устройства омметра класса точности 2.5 существенно неравномерной шкалой длиной 100 мм показывает 100 Ом. Чему равно измеряемое сопротивление?

8. При измерении напряжения вольтметром класса точности 0,5/0,1 с верхним диапазоном измерений 250 В его показания были 125 В. Определите относительную погрешность вольтметра.

9. Амперметр класса точности 1,5, имеет диапазон измерений от 0 В до 250 А. Определить допускаемую абсолютную и относительную погрешности, если стрелка амперметра остановилась на делении шкалы против цифры 75 А.

10. Указатель отсчетного устройства ампервольтметра класса точности 0,02/0,01 со шкалой от -50 до +50 В, показывает - 25 А. Чему равна измеряемая сила тока?

11. В цепь с последовательным включением сопротивления 100 Ом и источника с ЭДС 10 В и внутренним сопротивлением 2 Ом включили амперметр, сопротивление которого 0,5 Ом. Определить показание амперметра, вычислить относительную погрешность, обусловленную отличием сопротивления амперметра от нуля.

12. Оценить относительные погрешности измерений напряжения, выполняемых в нормальных условиях, вольтметром с конечным значением шкалы 100 В, если класс точности прибора равен 0,5, а показания прибора 30 В и 90 В.

13. Основная приведенная погрешность амперметра с максимальным отклонением стрелки 5 А, равна 0,5%. Оценить абсолютную и относительную погрешности измерения, если показание прибора равно 1 А, а нулевая отметка находится на краю шкалы.

14. Методом сравнения определены показания образцового вольтметра 2 В и поверяемого вольтметра 1,95 В. Определить абсолютную систематическую погрешность и поправку для поверяемого средства измерения, если случайная составляющая погрешности равна нулю.

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

16. Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения $U=8,6$ В, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения от - 25 В до +25 В.

17. Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока $I = 67$ мА, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1.0 и пределом измерения 100 мА.

Глава 4. Обработка результатов прямых многократных измерений

4.1. Теоретические сведения по теме «Обработка результатов прямых многократных измерений»

Для повышения точности измерений проводят измерения многократными наблюдениями, число которых должно быть больше или равно трем. Порядок обработки результатов прямых многократных измерений и оценки их погрешностей регламентирует ГОСТ. При статистической обработке результатов наблюдений выполняют операции:

- исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- вычисляют среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- находят оценку среднего квадратического отклонения результата измерения;
- устанавливают доверительные границы случайной погрешности результата измерения (при этом проверяют гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению);
- исключают из ряда наблюдений грубые погрешности.

Рассмотрим эти операции подробнее.

Исключение систематической погрешности.

На данном этапе за пределы неисключенной систематической погрешности принимают пределы наибольшей абсолютной погрешности прибора, которые находят из формулы: $\Delta = \frac{x_N \cdot \gamma}{100\%}$.

Определение среднего арифметического значения измеряемой величины?

Среднее арифметическое \bar{x} из полученных при измерении отдельных единичных наблюдений вычисляют по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.1)$$

где x_i — результат наблюдения; n — число единичных наблюдений.

Если во всех результатах содержится постоянная систематическая погрешность, допускается исключать ее после вычисления среднего арифметического неисправленных результатов наблюдений.

Формула 4.1 целесообразна при незначительном количестве результатов наблюдений, $n \geq 3$, если же их количество значительно больше, то используют другой способ.

Вычисление математического ожидания.

Пусть произведено n испытаний, в которых случайная величина X приняла m_1 раз значение x_1 , m_2 раз значение x_2 , m_k раз значение x_k , причем $m_1 + m_2 + \dots + m_k = n$. Тогда среднее значение случайной величины \bar{X} определится как среднее арифметическое этих значений:

$$\bar{X} = \frac{x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_k m_k}{n} \quad (4.2)$$

или

$$\bar{X} = x_1 \cdot \frac{m_1}{n} + x_2 \cdot \frac{m_2}{n} + \dots + x_k \cdot \frac{m_k}{n} \quad (4.3)$$

Отметим, что отношение m_i/n есть частота появления значения X (статистическая вероятность) и, обозначив каждое из них через \hat{p}_i , получим

$$\bar{X} = x_1 \hat{p}_1 + x_2 \hat{p}_2 + \dots + x_k \hat{p}_k = \sum_{i=1}^n x_i \hat{p}_i \quad (4.4)$$

Иначе эту формулу можно переписать следующим образом:

$$M(X) = \sum_{i=1}^n x_i p_i \quad (4.5)$$

где $M(X)$ - математическое ожидание.

Математическое ожидание – это среднее значение дискретной случайной величины, полученное суммированием произведений всех ее возможных значений на их вероятности.

Среднее арифметическое значение \bar{x} будет приближаться к математическому ожиданию $M(X)$ с увеличением числа испытаний в серии, т. е. $\bar{x} \rightarrow M(X)$, при $n \rightarrow \infty$.

Математическое ожидание – это такая величина, около которой колеблется среднее значение случайной величины, найденное для каждой серии испытаний. В то же время математическое ожидание и среднее значение случайную величину характеризуют не полностью.

Вычисление среднее квадратического отклонения результата измерения?

Среднее квадратическое отклонение S результата единичного наблюдения, взятого из совокупности таких измерений, вычисляют по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (4.6)$$

Среднее квадратическое отклонение $S(x)$ результата измерения является параметром функции распределения и подсчитывается по формуле:

$$S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}, \quad (4.7)$$

где x_i - i -и результат наблюдения; \bar{x} - среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений (или результат измерения); n - число наблюдений.

Из формул (4.6) и (4.7) следует, что точность среднего арифметического значения измеряемой величины в \sqrt{n} раз выше точности единичного наблюдения.

Определение доверительных границ и доверительного интервала результата измерения.

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности измерения для результатов небольшого числа наблюдений ($3 < n < 20$), принадлежащих нормальному распределению, находят по формуле:

$$\varepsilon = t_p S(\bar{x}), \quad (4.8)$$

где t_p — коэффициент Стьюдента.

Коэффициент t_p в зависимости от доверительной вероятности P и числа результатов наблюдений n находят по таблице 4.1.

Таблица 4.1

Значение коэффициента t_p для доверительных границ

Число результатов наблюдений $n-1$	Доверительная вероятность P			Число результатов наблюдений $n-1$	Доверительная вероятность P		
	0,9	0,95	0,99		0,9	0,95	0,99
2	2,92	4,30	9,92	12	1,78	2,28	3,06
3	2,35	3,18	5,84	14	1,76	2,15	2,98
4	2,13	2,78	4,60	16	1,75	2,12	2,92
5	2,02	2,57	4,03	18	1,73	2,10	2,88
6	1,94	2,48	3,71	20	1,72	2,09	2,85
7	1,90	2,37	3,50	22	1,72	2,07	2,82
8	1,86	2,31	3,36	25	1,71	2,06	2,79
9	1,83	2,26	3,25	30	1,70	2,04	2,75
10	1,81	2,23	3,17	∞	1,65	1,96	2,58

Окончательно полученный результат измерения записывают в виде:

$$x = \bar{x} \pm \varepsilon(n, P). \quad (4.9)$$

Доверительная вероятность — это вероятность, с которой доверительный интервал включает истинное значение измеряемой величины.

Значение доверительной вероятности обычно принимают равным 0,95 и 0,99 (для исследовательских целей и при ответственных лабораторных

измерений); во всех остальных случаях, если нет специальных оговорок рекомендуется выбирать 0,9 и 0,95.

При повторных измерениях одного и того же размера могут быть получены различные значения. Это объясняется действием случайных погрешностей. Это действие оценивается вероятностным разбросом результатов многократных измерений в виде доверительного интервала.

Доверительный интервал представляет собой интервал значений, в пределы которого входит измеренный размер с доверительной вероятностью. Это интервал, который включает в себя с заданной степенью достоверности истинное значение измеряемой величины. Доверительный интервал определяется по формуле:

$$\bar{X} - t_p \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \leq X \leq \bar{X} + t_p \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (4.10)$$

где n – число измерений;

\bar{X} – среднее арифметическое значение результата измерений;

S – СКО результата измерений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (4.11)$$

t_p – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности P .

Вычисление дисперсии.

Дисперсию можно определить по формуле:

$$D(X) = \sum_1^n [x_i - M(X)]^2 p_i. \quad (4.12)$$

В то же время такая характеристика не имеет широкого распространения из-за того, что имеет размерность квадрата случайной величины, а поэтому не дает желаемой наглядности. Значительно чаще используется среднеквадратическое отклонение случайной величины, равное значению корня квадратного из дисперсии:

$$\sigma(X) = \sqrt{D(X)}. \quad (4.13)$$

Эта характеристика имеет размерность, совпадающую с размерностью случайной величины, и является более наглядной.

Среднее квадратическое отклонение S результата единичного наблюдения, взятого из совокупности таких измерений, вычисляют по формуле 12

Среднее квадратическое отклонение $S(x)$ результата измерения является параметром функции распределения и подсчитывается по формуле (4.7).

Исключение из ряда наблюдений грубых погрешностей.

Грубые погрешности и промахи возникают из-за неисправностей измерительных приборов, ошибок оператора, а также при кратковременных резких изменениях условий проведения измерений. Результаты измерений, содержащие грубые погрешности и промахи, отбрасываются.

Для исключения из ряда наблюдений грубых погрешностей разработан ряд критериев (Райта, Романовского, Ирвина, Пирсона, Колмагорова и др.). Наиболее простым, но грубым приемом является отбрасывание результатов наблюдений, содержащих погрешности, превышающие $\pm 3S$. Этим критерием можно пользоваться при числе наблюдений $n > 20$. При малом объеме данных n он слабо отсеивает ошибки измерений.

Более точно проверить ошибку наблюдений при $n < 20$ можно по критериям β (критерию Романовского согласно ГОСТ 11.002—73) и λ (критерию Ирвина). Для того чтобы принять или исключить наиболее отклоняющиеся от остальных результатов наблюдения, находят отношение:

$$u_{\max} = \frac{x_{\max} - \bar{x}}{S} \quad \text{или} \quad u_{\max} = \frac{\bar{x} - x_{\min}}{S}, \quad (4.14)$$

где S — среднее квадратическое отклонение результата наблюдения по формуле (4.7).

Результат сравнивают с величиной β , взятой из таблицы (4.2) для данного числа наблюдений n и принятого уровня значимости α ($\alpha=1-P$).

Если $u_{\max} \geq \beta$ или, то сомнительный результат наблюдений следует считать грубым и его надо отбросить. Затем вновь вычисляют x и S .

Таблица 4.2.
Предельные значения β для исключения грубых погрешностей

Число наблюдений n	Предельные значения β при уровне значимости α			Число наблюдений n	Предельные значения β при уровне значимости α		
	0,1	0,05	0,025		0,1	0,05	0,025
3	1,15	1,15	1,15	10	2,03	2,18	2,29
4	1,42	1,46	1,48	12	2,13	2,29	2,41
5	1,60	1,67	1,72	14	2,21	2,37	2,50
6	1,73	1,82	1,89	16	2,28	2,44	2,58
7	1,83	1,94	2,02	18	2,34	2,50	2,66
8	1,91	2,03	2,13	20	2,38	2,56	2,71
9	1,98	2,11	2,21	-	-	-	-

При $n > 20$ предельно допустимое значение t_r определяется по формуле:

$$t_r = t_{P/2} \cdot \sqrt{1 - 1/n},$$

где $t_{P/2}$ – квантиль нормированной функции Лапласа для доверительной вероятности P .

Проверяемое значение x_i является промахом, если выполняется неравенство $u_{\max} \geq t_r$, и его надо отбросить.

Статистикой критерия Пирсона χ^2 являются разности эмпирической и теоретической абсолютных частот. Порядок проверки гипотезы по критерию Пирсона χ^2 :

1. Строится гистограмма по исправленным экспериментальным данным. В каждый из интервалов гистограммы должно входить не менее пяти данных. В противном случае такой интервал объединяется с соседним.

2. Рассчитываются:

- среднее арифметическое значение:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i,$$

где x_i - значение i -го результата измерений; n - число измерений;

среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

3. Вычисляется вероятность p_i попадания результата измерений в каждый из интервалов гистограммы $[x_{k-1}; x_k]$ при нормальном законе распределения, используя функцию Лапласа $\Phi(t)$:

$$p_i = \Phi[(x_{ni} - \bar{X})/S] - \Phi[(x_{ni} - \bar{X})/S],$$

где x_{ni} , x_{ni} – верхняя и нижняя границы i -го интервала;

$\Phi(**)$ – табличные значения функции Лапласа представлены в приложении 4.

4. Вычисляется показатель разности частот $\chi^2 = \sum_{i=1}^r \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$;

5. Проверяется выполнение неравенства $\chi^2 < \chi_{\alpha}^2$, где χ_{α}^2 - табличное значение χ^2 для уровня значимости α и числа степеней свободы ($r-3$) по таблице распределения χ^2 (приложение 5). Если неравенство не выполняется, то гипотезу о нормальности эмпирического распределения отвергают. При этом вероятность, с которой эмпирическое распределение соответствует нормальному теоретическому распределению, можно определить по критерию Колмогорова-Смирнова.

Более подробное исключение грубых погрешностей будем рассматривать на примерах решения задач.

Определение вероятности попадания результата измерений в заданный интервал?

В метрологии в ходе проведения измерений основное внимание уделяется закономерностям тех случайных явлений, которые обладают относительной устойчивостью некоторых свойств в их массовом проявлении.

При большом числе испытаний, производимых в одинаковых условиях, обнаруживаются вполне устойчивые закономерности, что является основой при применении методов теории вероятностей и математической статистики к обработке массовых наблюдений.

Случайная величина в теории вероятностей определяется *законом ее распределения*. Этот закон устанавливает связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими этим значениям вероятностям их появления.

Существует две формы описания закона распределения случайной величины – *дифференциальная и интегральная*. В метрологии в основном используется дифференциальная форма – закон распределения *плотности вероятностей* случайной величины.

Дифференциальный закон распределения характеризуется *плотностью распределения вероятностей* $f(x)$ случайной величины x . Вероятность P попадания случайной величины в интервал от x_1 до x_2 при этом задается формулой:

$$P\{x_1 \leq x \leq x_2\} = \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx \quad (4.15)$$

Графически эта вероятность представляет собой отношение площади под кривой $f(x)$ в интервале от x_1 до x_2 к общей площади, ограниченной всей кривой распределения. Как правило, площадь под всей кривой распределения вероятностей нормируют на единицу (рисунок 4.1). В данном случае представлено распределение **непрерывной** случайной величины.

Кроме них существуют и *дискретные* случайные величины, принимающие ряд определенных значений, которые можно пронумеровать.

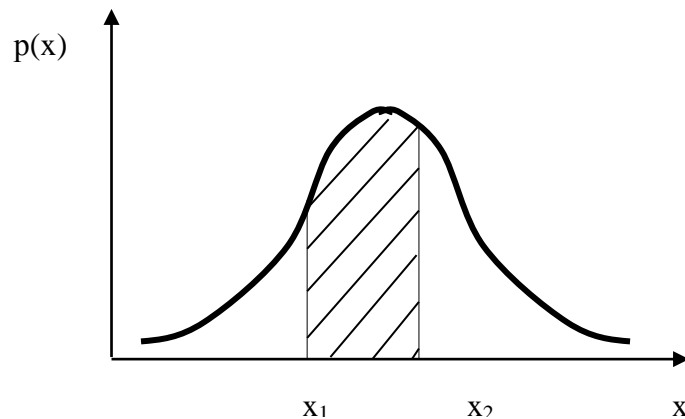


Рис. 4.1. Вероятность попадания отдельного значения в заданный интервал по плотности распределения вероятности

Основное свойство плотности вероятности состоит в том, что

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1 \quad (4.16)$$

Интегральный закон распределения случайной величины представляет собой функцию $F(x)$, определяемую формулой

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx \quad (4.17)$$

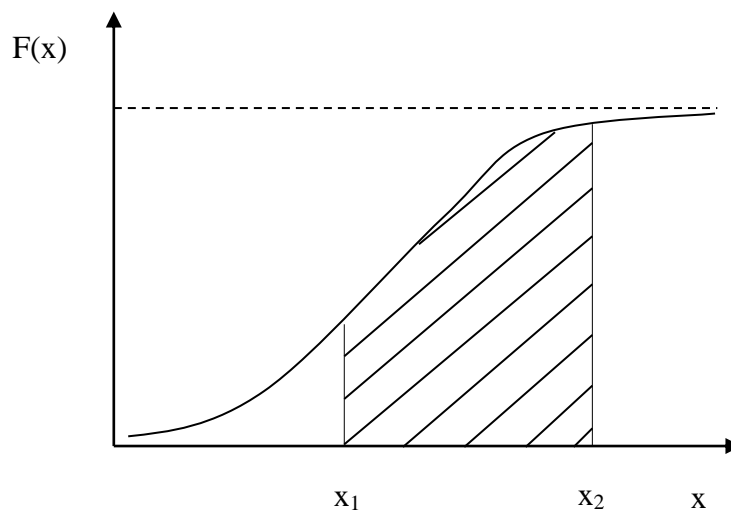


Рис.4.2. вероятности попадания отдельного значения в заданный интервал по функции распределения вероятности

На практике для описания свойств случайной величины используют различные *числовые характеристики распределений*, к которым относятся *моменты* случайных величин: *начальные и центральные*, которые представляют собой некоторые *средние значения*. При этом если усредняются величины, отсчитываемые от начала координат, то моменты называются *начальными*, а если от центра распределения – то *центральными*.

Начальный момент k-го порядка определяется формулой:

$$m_k = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k f(x) dx \quad (4.18)$$

Наибольший практический интерес представляет начальный момент первого порядка - *математическое ожидание* случайной величины m_1 ($k=1$):

$$m_1 = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx \quad (4.19)$$

Центральный момент второго порядка называется *дисперсией* D случайной величины и характеризует *рассеяние* отдельных ее значений:

$$D = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_1)^2 f(x) dx \quad (4.20)$$

На практике чаще используется *среднее квадратическое отклонение* σ (*СКО*) случайной величины, определяемое формулой (4.13).

Таким образом, последовательность обработки результатов прямых многократных измерений состоит из следующих этапов:

1. Определение точечных оценок закона распределения результатов измерений.
2. Определение закона распределения результатов измерений или случайных погрешностей.
3. Оценка закона распределения по статистическим критериям.
4. Определение доверительных границ случайной погрешности.
5. Определение границ неисклученной систематической погрешности результата измерения.

6. Определение доверительных границ погрешности результата измерения.

7. Запись результата измерения.

4.2. Примеры решения задач по теме «Обработка результатов прямых многократных измерений»

Пример 1. При измерении напряжения источника питания получены следующие результаты, В: 9,78; 9,65; 9,83; 9,69; 9,74; 9,80; 9,68; 9,71; 9,81. Найти результат и погрешность измерения напряжения и записать в стандартной форме, если систематическая погрешность отсутствует, а случайная распределена по нормальному закону.

Решение:

Найдем среднее арифметическое и примем его за результат измерения:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 9,7433B$$

2. Определим СКО погрешности результата измерения:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0,0215B$$

Ответ: $\bar{x} = 9,7433B$, $S_x = 0,0215B$.

Пример 2. При измерении активного сопротивления резистора были произведены десять равнооточных измерений, результаты которых приведены в таблице. Оцените абсолютную и относительную погрешности и запишите результат измерения для доверительных вероятностей 0,95 и 0,99.

Результат измерений, Ом									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
953,6	953,7	953,9	953,5	953,7	953,7	953,5	953,8	954,0	953,9

Решение. Найдем среднее арифметическое значение по формуле:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i = \frac{1}{10} \cdot 9537,73$$

i	R_i	$R_i - \bar{R}$	$(R_i - \bar{R})^2$
1	953,6	-0,13	0,0169
2	953,7	-0,03	0,0009
3	953,9	0,17	0,0289
4	953,5	-0,23	0,0529
5	953,7	-0,03	0,0009
6	953,7	-0,03	0,0009
7	953,5	-0,23	0,0529
8	953,8	0,07	0,0049
9	954,0	0,27	0,0729
10	953,9	0,17	0,0289
Σ	9537,3		0,261

Вычислим среднее квадратическое отклонение единичных результатов:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,261}{9}} = \sqrt{0,029} = 0,17$$

Предполагая, что погрешность распределена по нормальному закону, исключаем «промахи», т.е. измерения с грубыми погрешностями, для которых $|R_i - \bar{R}| > 3\sigma$.

В этой задаче измерений, погрешность которых превышает 3σ (0,511) нет.

Вычислим среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (СКО результата измерений):

$$S_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}{n(n - 1)}}$$

$$S_{\bar{R}} = \sqrt{\frac{0,261}{10(10-1)}} = \sqrt{\frac{0,261}{90}} = 0,054$$

Определим доверительные границы случайной погрешности при заданной доверительной вероятности:

а) $P = 0,95$;

б) $P = 0,99$.

$$\varepsilon = t_q \cdot S_{\bar{R}}$$

где t_q - коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n . Выбираем коэффициент t из таблицы.

а) для $P = 0,95; n - 1 = 9: t = 2,262$.

$$\varepsilon = 2,262 \cdot 0,054 = 0,12$$

б) для $P = 0,99; n - 1 = 9: t = 3,169$.

$$\varepsilon = 3,169 \cdot 0,054 = 0,17$$

Окончательный результат записываем в форме:

а) $R = (953,7 \pm 0,1) \text{ Ом}, P = 0,95$;

б) $R = (953,7 \pm 0,2) \text{ Ом}, P = 0,99$.

Пример 3. Произвести обработку результатов измерений, данные которых представлены в таблице.

№, п/п	X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1	36,088	-0,001	0,000001
2	36,088	-0,001	0,000001
3	36,088	-0,001	0,000001
4	36,088	-0,001	0,000001
5	36,010	0,001	0,000001
6	36,009	0	0
7	36,012	0,003	0,000009
8	36,009	0	0
9	36,011	0,002	0,000004
10	36,007	-0,002	0,000004

11	36,012	0,003	0,000009
12	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{11} x_i = 36,009$		$\sum_{i=1}^{11} (x_i - \bar{x})^2$

Решение: Определяем среднее арифметическое значение результатов измерений: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^{11} 36,009$

Среднее квадратическое отклонение результатов наблюдений:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{11-1} \cdot 0,000031} = 0,00194$$

Произведем проверку на наличие грубых погрешностей в результатах измерения по критерию Диксона.

Таблица значений критерия Диксона

n	Zq при q , равном			
	0,1	0,05	0,02	0,01
4	0,68	0,76	0,85	0,89
6	0,48	0,56	0,64	0,7
8	0,4	0,47	0,54	0,59
10	0,35	0,41	0,48	0,53
14	0,29	0,35	0,41	0,45
16	0,28	0,33	0,39	0,43
18	0,26	0,31	0,37	0,41
20	0,26	0,3	0,36	0,39
30	0,22	0,26	0,31	0,34

Составим вариационный возрастающий ряд из результатов измерений: 36,007; 36,008; 36,009; 36,010; 36,011; 36,012. Найдем расчетное значение критерия для значения 36,012:

$$K_D = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1} = \frac{36,012 - 36,011}{36,012 - 36,007} = 0,2$$

Из таблицы значений критерия Диксона по этому критерию результат 36,012 не является промахом при всех уровнях значимости.

Определим доверительные границы случайной погрешности. При числе измерений $n = 11$ используется распределение Стьюдента, при этом доверительные границы случайной погрешности $\varepsilon = \pm t_p \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}}$.

Коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности $P_d = 0,95$ и при $n = 11$ равен 2,23.

Тогда доверительные границы случайной погрешности будут равны:

$$\varepsilon = \pm 2,23 \cdot \frac{0,00194}{\sqrt{11}} = \pm 0,0012$$

Определим доверительные границы погрешности результата измерения. Согласно ГОСТ 8.207–76 погрешность результата измерения определяется по следующему правилу. Если границы неисключенной систематической погрешности $\theta < 0,8 S_{\bar{x}}$, то следует пренебречь систематической составляющей погрешности и учитывать только случайную погрешность результата. В нашем случае $\theta = 0,7$ мкм (это допускаемая погрешность для рычажного микрометра), а $S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = 0,0006$ мкм, т. е. соотношение $\theta < 0,8 S_{\bar{x}}$ не выполняется, поэтому систематической погрешностью пренебрегать нельзя.

Ответ: Запишем результата измерения:

$$x = \bar{x} \pm \varepsilon = (36,009 \pm 0,002) \text{ мкм}, P = 0,95.$$

Пример 4. Найдите математическое ожидание случайной величины X – числа стандартных деталей среди трех, отобранных из партии в 10 деталей, среди которых 2 бракованных. Составьте ряд распределения для X .

Решение: Из условия задачи следует, что X может принимать значения 1, 2, 3. Тогда $M(x) = 1 \cdot \frac{1}{15} + 2 \cdot \frac{7}{15} + 3 \cdot \frac{7}{15} = 2,4$

Ответ: $M(x) = 2,4$

Пример 5. Найдите дисперсию случайной величины X (числа стандартных деталей среди отобранных) и среднее квадратическое отклонение используя условие в примере 4.

Решение: Вычислим значения квадрата отклонения каждого возможного значения от математического ожидания:

$(1 - 2,4)^2 = 1,96$; $(2 - 2,4)^2 = 0,16$; $(3 - 2,4)^2 = 0,36$. Следовательно,

$$D(X) = 1,96 \cdot \frac{1}{15} + 0,16 \cdot \frac{7}{15} + 0,36 \cdot \frac{7}{15} \approx 0,37$$

Тогда $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{0,37} = 0,6$

Ответ: $D(x) \approx 0,37$, $\sigma = 0,6$.

Пример 6. Техническими условиями на изготовление некоторого типа резисторов было установлено, что величина сопротивления была $100 \text{ Ом} \pm 5 \text{ Ом}$. Для оценки партии резисторов из нее сделали случайную выборку объемом $n = 50$ резисторов. Среднее значение величины сопротивления получено $\bar{x} = 100 \text{ Ом}$. Среднее квадратическое отклонение $\sigma = \pm 5 \text{ Ом}$. Сколько процентов сопротивлений в партии будет забраковано при сплошной проверке?

Решение: Найдем значение нормированной случайной величины по формуле: $t = \frac{x - M(x)}{\sigma}$, где $M(x)$ – математическое ожидание $M(x) = \bar{x}$, в нашем случае это t_{max} и t_{min} .

$$x_{max} = 100 + 5 = 105 \text{ Ом}; x_{min} = 100 - 5 = 95 \text{ Ом}.$$

$$\text{Следовательно, } t_{max} = \frac{105 - 100}{5} = 1; t_{min} = \frac{95 - 100}{5} = -1.$$

Далее по таблице Лапласа получим $\Phi(t_{max}) = +0,3413$; $\Phi(t_{min}) = -0,3413$. Т.к. $\Phi(-t) = -\Phi(t)$, разность $\Phi(t_{max}) - \Phi(t_{min}) = 0,6826$.

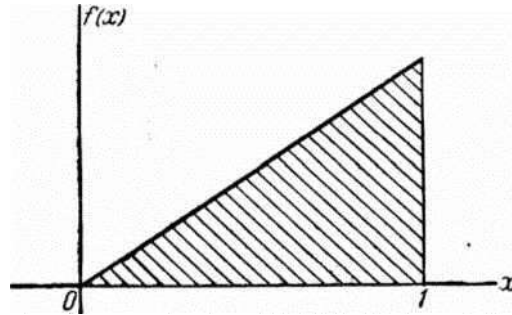
Найдем вероятность появления брака:

$$1 - [\Phi(t_{max}) - \Phi(t_{min})] = 1 - 0,6826 = 0,3174.$$

Ответ: при сплошной проверке в партии будет забраковано 31,74 % сопротивлений.

Пример 7. Случайная величина x подчинена закону распределения,

плотность которого задана графически на рисунке. Записать выражение для плотности распределения $f(x)$, найти математическое ожидание m_x , дисперсию D_x , среднее квадратическое отклонение σ случайной величины x .



Решение: Выражение плотности распределения имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} ax & \text{при } 0 < x < 1, \\ 0 & \text{при } x < 0 \text{ или } x > 1. \end{cases}$$

Пользуясь свойством плотности распределения:

$$\int_0^1 f(x) dx = 1; \int_0^1 ax dx = a \frac{x^2}{2} \Big|_0^1 = \frac{a}{2} = 1$$

$$a=2.$$

$$\text{Математическое ожидание величины } x: m_x = \int_0^1 2x^2 dx = 2 \frac{x^3}{3} \Big|_0^1 = \frac{a}{2} = \frac{2}{3}$$

Найдем дисперсию через второй центральный момент:

$$D_x = \int_0^1 \left(x - \frac{2}{3}\right)^2 \cdot 2x dx = 2 \int_0^1 \left(x^2 - \frac{4}{3}x + \frac{4}{9}\right) \cdot x dx = 2 \int_0^1 \left(x^3 - \frac{4}{3}x^2 + \frac{4}{9}x\right) dx$$

$$\text{Сделав подстановку, получим } D_x = 1/18, \text{ откуда } \sigma_x = \sqrt{D_x} = 1/3\sqrt{2}$$

$$\text{Ответ: } m_x = 2/3, D_x = 1/18, \sigma_x = 1/3\sqrt{2}.$$

4.3. Задачи для самостоятельного решения по теме

«Обработка результатов прямых многократных измерений»

1. Известен результат измерения: $15,32 \text{ В} \pm 0,2 \%$ при числе наблюдений 11, вероятности 0,98 и нормальных условиях. Определите среднеквадратическое отклонение результаты наблюдения.

2. В процессе контроля параметра ширины изделия получены результаты в шестикратной повторности: 125,00 мм, 125,00 мм, 125,10 мм, 124,95 мм, 124,89 мм, 124,90 мм. Рассчитать доверительный интервал для среднего значения при доверительной вероятности, равной 0,95. Величина критерия равна 2.8.

3. В процессе контроля параметра массы продукции получены результаты в десятикратной повторности: 202,01 г, 199,91 г, 201,05 г, 200,01 г, 200,00 г, 202,01 г, 199,81 г, 200,05 г, 200,01 г, 200,00 г. Рассчитать доверительный интервал для среднего значения при доверительной вероятности, равной 0,99. Критерий доверительного интервала равен 4.5.

4. Принадлежит ли результат наблюдения 0,16 мВ к ряду из 14-ти наблюдений с вероятностью 0,95 в мВ: -0,14; -0,12; -0,1; -0,08; -0,06; -0,04; -0,02; 0,00; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,10; 0,12.

5. Прецизионное шестикратное наблюдение частоты в нормальных условиях дало следующие результаты в Гц: 172,361; 172,357; 172,352; 172,346; 172,344; 172,340.

6. Результат измерений напряжения в нормальных условиях равен: $225,3 \pm 1,5 \text{ мВ}$, доверительная вероятность 0,95, число наблюдений 19, условия измерения нормальные. Определить среднеквадратическое отклонение результата наблюдения.

7. При измерении напряжения в нормальных условиях выполнено 4 наблюдения в В: 2,57; 2,59; 2,58; 2,60. Необходимо оценить среднеквадратические отклонения результата наблюдений и результата измерений, а также доверительные границы (доверительный интервал) погрешности результата измерения при вероятности 0,95.

8. В результате пяти измерений физической величины x одним прибором, не имеющим систематической погрешности, получены следующие результаты: 92; 94; 103; 105; 106. Определите: математическое ожидание, СКО, дисперсию.

9. Найдите математическое ожидание и дисперсию для случайной величины, распределенной по биномиальному закону, если $n = 100$, $P=0,8$.

10. Оценка среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности результата наблюдений частотомера, определённая при 100 наблюдениях, равна 0,68 Гц. Сколько наблюдений необходимо провести этим частотомером, чтобы доверительный интервал случайной составляющей погрешности результата измеренный с вероятностью 0,99 не превосходил 0,5 Гц.

11. Оценка среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности результата измерения напряжения при 200 наблюдениях составила 0,075%. Можно ли этим средством измерения проводить однократные измерения напряжения, случайная погрешность которых с вероятностью 0,95 не превышает 2,5%?

12. При измерении сопротивления резистора получен результат измерения: $254,68 \pm 0,93$ Ом, $P=0,96$, $n=16$, условия измерения нормальные. Оценить границы погрешности результата измерения этим же методом при четырех наблюдениях и той же вероятности, если считать, что погрешность вызвана случайными факторами и распределена по нормальному закону.

Глава 5. Кодирование информации. Расшифровка штрих-кода.

5.1. Решение задач по теме «Кодирование информации. Расшифровка штрих-кода»

С помощью штрихового кода зашифрована информация о некоторых наиболее существенных параметрах продукции.

Штрих-код - это наносимая на упаковку в виде штрихов закодированная информация, считываемая при помощи специальных устройств (сканеров). С помощью штрихового кода кодируют информацию о некоторых наиболее существенных параметрах продукции. Наиболее распространены американский Универсальный товарный код UPC и Европейская система кодирования EAN.

Расшифровка кода не является стандартной, он может отражать определенные характеристики (признаки) самого товара либо представляет регистрационный номер товара, известный лишь этому предприятию.

Код EAN-8, -13 разрядный (рис.5.1) предназначен для небольших упаковок, на которых нельзя разместить более длинный код. EAN - 13 состоит из кода страны (когда для кода страны-изготовителя отводится два или три знака, а для кода предприятия – четыре), кода изготовителя и контрольного числа (иногда вместо кода изготовителя регистрационный номер продукта).

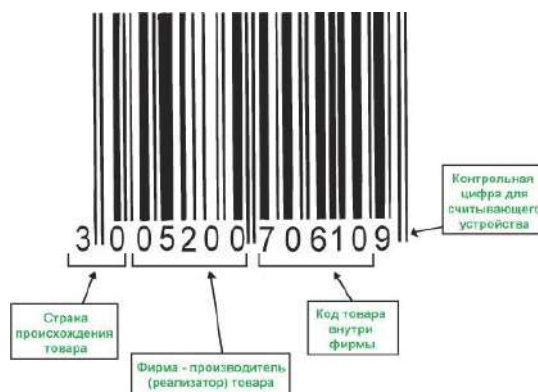


Рис.5.1.

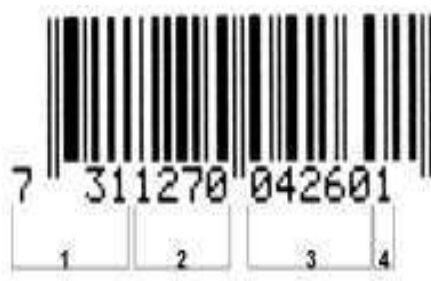


Рис. 5.2.

Для того чтобы определить подлинность товара необходим расчет контрольной суммы (рис. 5.2).

1. Сложить цифры, стоящие на четных местах:

$$3+1+7+0+2+0=13.$$

2. Полученную сумму умножить на 3:

$$13 \cdot 3=39.$$

3. Сложить цифры, стоящие на нечетных местах штрих – кода (кроме контрольной цифры):

$$7+1+2+0+4+6=20.$$

4. Сложить числа, полученные в пунктах 2 и 3:

$$39+20=59.$$

5. Отбросить десятки:

$$59-50=9.$$

6. Из числа 10 вычесть число, полученное в пункте 5:

$$10-9=1.$$

Результат должен совпадать с контрольной цифрой.

Если полученная после расчета цифра не совпадает с контрольной цифрой в штрих - коде, это значит, что товар произведен незаконно.

Иногда на товаре можно увидеть надпись, "Сделано в Польше", а код, нанесенный на этикетку, этой стране не соответствует. Причины могут быть следующие:

1) фирма была зарегистрирована и получила код не в своей стране, а в той, куда направлен основной экспорт ее продукции;

2) товар был изготовлен на дочернем предприятии;

3) возможно, товар был изготовлен в одной стране, но по лицензии фирмы из другой страны;

4) когда учредителями предприятия становятся несколько фирм из различных государств.

Штрих – коды для самостоятельного решения представлены в приложении 6 (номер штрих-кода определяется преподавателем). Определить штрих код стран можно используя приложение 7.

ТЕСТЫ

Вариант №1

1. Если x – результат измерения величины, действительное значение которой x_d , то абсолютная погрешность измерения определяется выражением...

- а) $x - x_d$;
- б) $x_d - x$;
- в) $(x - x_d)/x$.

2. Единица физической величины – это (укажите все возможные варианты):

- а) размер физической величины, которому по определению придано значение, равное единице;
- б) общепринятое минимальное значение физической величины;
- в) такое ее значение, которое принимают за основание для сравнения с ним физических величин того же рода при их количественной оценке.

3. Какие единицы измерения из перечисленных относятся к основным единицам Международной системы единиц СИ (укажите все возможные варианты):

- а) кельвин (К); б) ватт (Вт); в) кандела (cd); г) радиан (rad); д) метр (m);
- е) ампер (А); ж) секунда (s); и) стерадиан (sr); к) моль (mol); л) килограмм (kg).

4. Радиан – это ...

- а) угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу;
- б) телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на сфере поверхность, площадь которой равна площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы;
- в) плоский угол при вершине конуса, образованного внутри сферы.

5. Систематическую составляющую погрешности измерения можно уменьшить...

- а) переходом на другой предел измерения прибора;
- б) введением поправок в результат измерения;
- в) n – кратным наблюдением исследуемой величины.

6. Единица измерения, которой выражается поток магнитной индукции ...

- а) вебер (Вб); в) люмен (лм);
- б) тесла (Т); г) радиан (rad).

7. Это условное обозначение на циферблате прибора соответствует тому, что...

1,0 ✓

- а) измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 1 кВ;
- б) класс точности прибора 1,0;
- в) измерительный прибор имеет 1 предела измерен.

8. При измерении усилия динамометр показывает 2000 Н, погрешность градуировки равна 10 Н. Среднее квадратическое отклонение показаний $F=2$ Н. Укажите доверительные границы для истинного значения измеряемого усилия с вероятностью $P = 0,98$ ($t_p= 3,143$).

- а) $F = 2010 \pm 3,143$ Н, $P = 0,98$;
- б) $F = 1990 \pm 6$ Н, $P = 0,98$;
- в) $F = 2010 \pm 6$ Н, $P = 0,98$;
- г) $F = 1990 \pm 2$ Н, $t_p = 2$.

9. В цепи протекает ток 100 мА. Амперметр показывает 102 мА. Предел измерения 150 мА. Относительная погрешность измерения равна...

- а) 2 мА;
- б) 2,0%;
- в) 1,3%.

10. Если наибольшая абсолютная погрешность при измерении напряжения милливольтметром с верхним пределом измерения 100

мВ при измерении напряжения 20 мВ составляет 1,2 мВ, то класс точности прибора равен

а) 0,5; б) 0,05; в) 1,0; г) 1,5.

11. На вольтметре, имеющем предельное значение шкалы измерения 10 В, указан класс точности 0,05. Чему будет равна наибольшая возможная абсолютная погрешность прибора?

а) 0,005 В;

б) 0,05%;

в) 0,05 В.

12. На циферблате прибора обозначена цифра 2,5. Чему равна абсолютная погрешность прибора, если выбранный предел измерения равен 30 В.

а) 2,5 В;

б) 2,5 %;

в) 0,75 В.

13. Шкала вольтметра с пределом измерения 150 В разбита на 100 делений. Определить цену деления и напряжение в цепи, если показания прибора 65 делений.

а) 1 В/дел; 65 В;

б) 1,5 В/дел; 97,5 В;

в) 1,5 В/дел; 65 В.

14. Определить абсолютную погрешность, если при токе в цепи, равном 100 мА, прибор показывает 104 мА.

а) – 4 мА;

б) 4 мА;

в) 4 %.

15. Определить класс точности прибора с пределом измерения 25 мА, если его абсолютная погрешность равна 0,05 мА.

а) 0,5;

б) 2,5;

в) 0,2.

16. Показание амперметра $I=25$ мА, его верхний предел 30 мА. Показание образцового прибора 24,5 мА. Определить относительную и приведённую погрешность амперметра.

а) 2 %; 1,6 %;

б) 2 %; 1,5 %;

в) 0,5 мА; 2 %.

17. На циферблате измерительного прибора класс точности обозначен как $\nabla_{1,5}$. Чему равен предел допускаемой погрешности измерения и в какой форме выражается погрешность?

а) $\gamma=\pm 1,5\%$. Это приведённая погрешность, для которой нормирующее значение равно конечному значению измеряемой величины;

б) $\gamma=\pm 1,5\%$. Это приведённая погрешность, для которой нормирующее значение равно длине шкалы измерительного прибора;

в) $\delta=\pm 1,5\%$. Это относительная погрешность, постоянная по диапазону измерения.

18. Абсолютная основная погрешность генератора задана как $\Delta=\pm(5+0.01f)$ Гц. Чему равна аддитивная составляющая погрешности генератора?

а) 0,01 Гц;

б) 0,01f;

в) ± 5 Гц

19. Чему равно контрольное число товарного кода 4676221357467.

а) 3; б) 7; в) 4.

20. Чему равно контрольное число товарного кода 4605410000242.

а) 2; б) 7; в) 4.

Вариант 2

1. Если x – результат измерения величины, действительное значение которой x_d , то относительная погрешность измерения определяется выражением...

- а) $x - x_d$;
- б) $x_d - x/x$;
- в) $(x - x_d)/x$.

2. Значение физической величины – это ...

- а) какое-либо свойство определенной физической величины;
- б) размер физической величины, которому придано значение, равное единице;
- в) выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

3. Какие единицы измерения, являющиеся дополнительными Международной системы единиц СИ (укажите все возможные варианты):

- а) радиан (rad); в) джоуль (Дж);
- б) кельвин (K); г)стерадиан (sr).

4. Стерadian – это ...

- а) угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу;
- б) телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на сфере поверхность площадью, равной площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы;
- в) плоский угол при вершине конуса, образованного внутри сферы.

5. Случайную составляющую погрешности измерения можно уменьшить...

- а) переходом на другой предел измерения прибора;
- б) введением поправок в результат измерения;
- в) n – кратным наблюдением исследуемой величины.

6. При описании электрических и магнитных явлений в СИ за основную единицу принимается...

а) вольт;

б) ом;

в) ампер.

7. Если на приборе указан класс точности 0,5, то это означает, то погрешность всех приборов данного типа выражена в ...

а) приведенной форме (отношении абсолютной погрешности к нормирующему значению в процентах);

б) относительной форме;

в) абсолютной форме.

8. При измерении расстояний между осями болтовых отверстий L , получены значения в миллиметрах: 5003; 5001; 5000; 5001; 4999; 5002; 4998. Укажите доверительные границы условно-истинного значения длины с вероятностью $P = 0,95$ ($t_p = 2,77$).

а) $L = 5001 \pm 2$ мм, $P = 0,95$; в) $L = 5001 \pm 6$ мм, $P = 0,95$;

б) $L = 5001 \pm 4$ мм, $P = 0,95$; г) $L = 5001 \pm 1$ мм, $P = 2,77$.

9. В цепи протекает ток 100 мА. Амперметр показывает 102 мА. Предел измерения 150 мА. Абсолютная погрешность измерения равна ...

а) 2 мА;

б) 2,0%;

в) 1,3%.

10. Класс точности амперметра 2,5. Номинальный ток 100 мА. Чему равна наибольшая возможная абсолютная погрешность измерения?

а) 2,5 %;

б) 1,0 мА;

в) 2,5 мА.

11. На амперметре, имеющем предельное значение шкалы измерения 100 мА, указан класс точности 0,05. Чему будет равна наибольшая возможная абсолютная погрешность прибора?

- а) 0,005 мА;
- б) 0,05%;
- в) 0,05 мА.

12. На циферблате прибора обозначена цифра 1,5. Чему равна абсолютная погрешность прибора, если выбранный предел измерения равен 100 В.

- а) 1,5 В;
- б) 1,5 %;
- в) 1,0 В.

13. Шкала вольтметра с пределом измерения 30 В разбита на 15 делений. Определить цену деления и напряжение в цепи, если показания прибора 12 делений.

- а) 1,5 В/дел; 12 В;
- б) 1,5 В/дел; 25 В;
- в) 2 В/дел; 24 В.

14. Поверяемый прибор показывает значение 95 мА, образцовый - 100 мА. Определить абсолютную и относительную погрешность поверяемого прибора.

- а) 5 мА; 5%;
- б) - 5 мА; 5%;
- в) - 5 мА; 5,3%.

15. Определить класс точности прибора с пределом измерения 100 мА, если его абсолютная погрешность равна 0,05 мА.

- а) 0,5;
- б) 1,5;
- в) 0,05.

16. Показание вольтметра $U=25$ В, его верхний предел 50 В. Показание образцового прибора 24,5 В. Определить относительную и приведенную погрешность вольтметра.

- а) 2 %; 1 %;

- б) 1 %; 1 %;
в) 0,5 В; 2 %.

17. На циферблате измерительного прибора класс точности обозначен как 1,5. Чему равен предел допускаемой погрешности измерения и в какой форме выражается погрешность?

- а) $\gamma = \pm 1,5\%$. Это приведённая погрешность, для которой нормирующее значение равно конечному значению измеряемой величины;
б) $\gamma = \pm 1,5\%$. Это приведённая погрешность, для которой нормирующее значение равно длине шкалы измерительного прибора;
в) $\delta = \pm 1,5\%$. Это относительная погрешность, постоянная по диапазону измерения.

18. Абсолютная основная погрешность генератора задана как $\Delta = \pm(5 + 0.01f)$ Гц. Чему равна мультипликативная составляющая погрешности генератора?

- а) 0,01 Гц;
б) 0,01 f;
в) ± 5 Гц.

19. Чему равно контрольное число товарного кода 461234567890.

- а) 3; б) 7; в) 4.

20. Чему равно контрольное число товарного кода 4614274.

- а) 0; б) 7; в) 4.

Итоговый тест.

1. Метрология - это наука о...

- А) Методах измерения физических величин;
- Б) Измерениях физических величин, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности;
- В) Погрешностях результатов измерений физических величин;
- Г) Методах и средствах обеспечения единства измерений.

2. К областям законодательной метрологии не относятся:

- А) сертификация средств измерений;
- Б) испытание средств измерений;
- В) калибровка средств измерений;
- Г) нет правильного ответа.

3. Общие законы средств измерений рассматривает ... метрология:

- А) практическая;
- Б) теоретическая;
- В) экспериментальная;
- Г) теоретическая и экспериментальная.

4. Действительным называют значение физической величины (ФВ), которое....

- А) независимо от других физических величин;
- Б) приблизительно равно истинному значению ФВ;
- В) определено экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

5. Единица физической величины представляет собой.....

- А) значение физической величины, которое по определению считается равным 1;
- Б) значение физической величины, указанное в ГОСТе;
- В) значение физической величины, указанной в СИ;

Г) значение физической величины, принятое Международным бюро мер и весов.

6. Понятие "физическая величина" означает.....

- А) свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта;
- Б) свойство чего-либо, что может быть выделено и оценено количественно;
- В) физические характеристики материальных тел;
- Г) это свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов.

7. Для качественного описания средств процессов физических тел в измерениях используют понятие:

- А) величины;
- Б) рода физической величины;
- В) размера физической величины;
- Г) единицы физической величины.

8. Родом физической величины называется:

- А) количественное содержание свойств в объекте;
- Б) качественное содержание свойств в объекте;
- В) нет правильного ответа.

9. Размером физической величины называется:

- А) количественное содержание свойств в объекте;
- Б) качественное содержание свойств в объекте;
- В) нет правильного ответа.

10. Понятие размерности распространяется на ... величины:

- А) внесистемные;
- Б) основные и производные;
- В) все выше перечисленное;
- Г) нет правильного ответа.

11. Каким может быть показатель размерности:

- А) нулем;
- Б) положительным и отрицательным;
- В) целым или дробным;
- Г) все выше перечисленное.

12. Размерность физической величины показывает:

- А) как связана данная физическая величина с основными физическими величинами;
- Б) на количество единиц измерений;
- В) на связь с дополнительными единицами измерения;
- Г) на связь с метрологическими характеристиками СИ.

13. Основными физическими величинами и их единицами в системе СИ являются...:

- А) масса (кг), время (с), длина (м), температура (К);
- Б) масса (кг), время (с), длина (м), температура (К), количество вещества (моль), сила постоянного электрического тока (А), сила света (кд);
- В) длина (м), масса (кг), время (с), сила света (кд);
- Г) масса (кг), длина (см), температура (С), количества вещества (моль).

14. Энергия определяется по уравнению $E = mc^2$, где m - масса, c - скорость света. Размерность энергии $E = \dots$

- А) $L^{-2}MT^2$;
- Б) LM^2T^{-2} ;
- В) LMT^{-2} ;
- Г) L^2MT^{-2} .

15. Шкалой физической величины называется ...

- А) шкала измерений качественного свойства;
- Б) шкала измерений количественного свойства;
- В) шкала измерений количественного и качественного свойств;
- Г) нет правильного ответа.

16. Какой шкале измерений не соответствует отношение эквивалентности:

- А) интервалов;
- Б) наименований;
- В) отношений;
- Г) нет правильного ответа.

17. Шкала Цельсия, шкала массы являются примером:

- А) шкалы интервалов;
- Б) шкалы отношений;
- В) абсолютной шкалы;
- Г) нет правильного ответа.

18. Эталоном единицы физической величины является.....

- А) техническое устройство, обеспечивающее воспроизведение этой единицы;
- Б) техническое устройство, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы;
- В) техническое устройство, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи информации о ее размере средствами измерений;
- Г) техническое устройство, обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи информации о ее размере средствами измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

19. Погрешности измерений классифицируют по....

- А) величине;
- Б) характеру влияния на функцию преобразования;
- В) форме представления, причинам возникновения, характеру проявления;
- Г) реакции средства измерения на скорость (частоту) изменения входного сигнала;

20. Относительная погрешность измерений – это...

- А) $\left(\frac{a}{\Delta}\right) \cdot 100\%$;

Б) $\left(\frac{\Delta}{a}\right) \cdot 100\%$;

В) $a + \Delta$;

Г) $\frac{(a - \Delta)}{(a + \Delta)}$.

21. Под классом точности средства измерений (СИ) понимают....

А) обобщенные характеристики СИ;

Б) обобщенные характеристики СИ, определяемые пределами основной погрешности СИ;

В) обобщенные характеристики СИ, определяемые пределами допускаемых основной и дополнительной погрешности, а также другими свойствами СИ, влияющими на их точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ;

Г) совокупность метрологических свойств и технических характеристик СИ.

22. Погрешности измерений классифицируют по ...

А) характеру влияния на функцию преобразования;

Б) форме представления, причинам возникновения, характеру проявления;

В) реакции средства измерения на скорость (частоту) изменения входного сигнала;

Г) потенциальной точности средства измерения.

23. Стандарт, описывающий передачу единицы от эталона к СИ – это...

А) гарантийный талон;

Б) технические условия;

В) сертификат;

Г) поверочная схема.

24. Техническая база обеспечения единства измерений это....

А) система воспроизведения единиц ФВ в стране;

Б) система государственных эталонов единиц физических величин;

- В) образцовые средства измерений и поверочные схемы;
- Г) система воспроизведения единиц ФВ и передача информации об их размерах всем СИ в стране;

25. Методика выполнения измерений (МВИ) это....

- А) принцип обеспечения единства измерений;
- Б) правила оформления результатов измерений;
- В) совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью ;
- Г) основные положения Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).

26. Организационной основой метрологического обеспечения является....

- А) метрологическая служба РФ;
- Б) Федеральная служба по техническому регулированию и метрологии;
- В) государственная метрологическая служба;
- Г) ведомственные метрологические службы.

27. Централизованное воспроизведение единиц осуществляется с помощью специальных технических средств, называемых ...

- А) эталонами;
- Б) мерами;
- В) преобразователями;
- Г) нет правильного ответа.

28. Нормативной базой обеспечения единства измерений является ...

- А) экспериментальная метрология;
- Б) законодательная метрология;
- В) метрологические службы;
- Г) Госстандарт.

29. Основными методами стандартизации являются...

- А) рациональное сокращение видов, типов и размеров изделий одинакового функционального назначения;

- Б) унификация, симплификация, агрегатирование, типизация;
- В) сокращение наименее употребительных элементов;
- Г) компоновка машин, приборов и оборудования из взаимозаменяемых, унифицированных узлов или агрегатов.

30. Объектом стандартизации не может быть ...

- А) процессы и услуги;
- Б) продукция;
- В) ноу-хау;
- Г) методы измерений и контроля.

31. Международное сотрудничество по стандартизации осуществляется на уровне ...

Укажите не менее двух вариантов ответа.

- А) международных организаций;
- Б) политических партий;
- В) общественных объединений;
- Г) региональных организаций.

32. В РФ действуют следующие виды стандартов...

- А) технические регламенты (ТР), стандарты на продукцию и услуги, стандарты на методы контроля;
- Б) общие технические регламенты, специальные технические регламенты, стандарты основополагающие, стандарты на продукцию и услуги, стандарты на процессы, стандарты на методы контроля, стандарты на методы измерений, испытаний, анализа;
- В) государственные стандарты (ГОСТ Р), отраслевые стандарты (ОСТ);
- Г) общие технические регламенты, специальные технические регламенты, стандарты основополагающие, стандарты на продукцию и услуги.

33. К принципам подтверждения соответствия в Федеральном законе «О техническом регулировании» не относится ...

- А) недопустимость подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией;

- Б) защита имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;
- В) уменьшение сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;
- Г) содействие потребителям в компетентном выборе продукции, работ, услуг.

34. Совокупность правил выполнения работ по сертификации, её участников и условий функционирования в целом называется...

- А) органом по сертификации;
- Б) схемой сертификации;
- В) системой сертификации;
- Г) советом по сертификации.

35. Сертификат соответствия – это документ, выданный по правилам системы сертификации для ...

- А) подтверждения соответствия сертифицированной продукции установленным требованиям;
- Б) удостоверения, что поставляемая изготовителем (продавцом, исполнителем) продукция соответствует установленным требованиям;
- В) это зарегистрированный в установленном порядке знак, которым подтверждается соответствие маркированной им продукции установленным требованиям;
- Г) удостоверения, что поставляемая изготовителем (продавцом, исполнителем) продукция соответствует требованиям ГОСТ.

36. В сертификации продукции, услуг и иных объектов участвуют ...

- А) первая (интересы поставщиков), вторая (интересы покупателей) и третья (это лицо или органы, признаваемые независимыми от участвующих сторон в рассматриваемом вопросе);
- Б) лицо или органы, признаваемые независимыми от участвующих сторон в рассматриваемом вопросе;

В) Федеральная служба по техническому регулированию и метрологии, поставщики продукции и услуг;

Г) Центральный орган системы сертификации.

37. Участниками системы сертификации являются...

Укажите не менее двух вариантов ответов.

А) заявитель;

Б) орган по сертификации;

В) орган по стандартизации;

Г) испытательная лаборатория.

38. Знак соответствия – это зарегистрированный в установленном порядке знак, которым подтверждается...

А) соответствие маркированной им продукции установленным требованиям;

Б) что поставляемая (продаваемая) им продукция безопасна для здоровья;

В) инспекционный контроль за сертифицированной продукцией со стороны органа по сертификации;

Г) что декларация о соответствии имеет юридическую силу наравне с сертификатом соответствия.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1.

Множители и приставки для образования кратных и дольных единиц SI

Множитель	Приставка			
	Наименование		Обозначение	
	Международное	Русское	Международное	Русское
10^{24}	yotta	йотта	Y	И
10^{21}	zetta	зетта	Z	З
10^{18}	exa	экса	E	Э
10^{15}	peta	пета	P	П
10^{12}	tera	тера	T	Т
10^9	giga	гига	G	Г
10^6	mega	мега	M	М
10^3	kilo	кило	k	к
10^2	hecto	гекто	h	г
10^1	deca	дека	da	да
10^{-1}	deci	деци	d	д
10^{-2}	centi	санти	c	с
10^{-3}	milli	милли	m	м
10^{-6}	micro	микро	μ	мк
10^{-9}	nano	нано	n	н
10^{-12}	pico	пико	p	п
10^{-15}	femto	фемто	f	ф
10^{-18}	atto	атто	a	а
10^{-21}	zepto	зепто	z	з
10^{-24}	yocto	йокто	y	и

Приложение 2.

Производные единицы системы СИ

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

Извлечения из ГОСТ 8.417–2002

При написании значений величин применяют обозначения единиц буквами или специальными знаками (\dots° , \dots' , \dots''), причём 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 табл. 1 – 8 (ГОСТ 8.417–2002).

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

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:

100 kW; 100 кВт

80 %

20 °C

$(1/60) \text{ s}^{-1}$.

Неправильно:

100kW; 100кВт

80%

20°C

$1/60/\text{s}^{-1}$.

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

Правильно:

20°.

Неправильно:

20 °.

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

Правильно:

423,06 m; 423,06 м

5,758° или 5°45,48'

Неправильно:

423 m 0,6; 423 м 06

5°758 или 5°45',48

или $5^{\circ}45'28,48''$.

или $5^{\circ}45'28'',8$.

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 её предельным отклонением.

Правильно:

$(100,0 \pm 0,1) \text{ kg};$

$(100,0 \pm 0,1) \text{ кг}$

$50 \text{ g} \pm 1 \text{ g}; 50 \text{ г} \pm 1 \text{ г}.$

Неправильно:

$100,0 \pm 0,1 \text{ kg};$

$100,0 \pm 0,1 \text{ кг}$

$50 \pm 1 \text{ g}; 50 \pm 1 \text{ г}.$

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:

$v = 3,6 \text{ s/t},$

где v – скорость, km/h ;

s – путь, m ;

t – время, s .

Неправильно:

$v = 3,6 \text{ s/t km/h},$

где s – путь, m ;

t – время, s .

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

Правильно:

$\text{N} \cdot \text{m}; \text{Н} \cdot \text{м}$

$\text{A} \cdot \text{m}^2; \text{А} \cdot \text{м}^2$

$\text{Pa} \cdot \text{s}; \text{Па} \cdot \text{с}.$

Неправильно:

$\text{Nm}; \text{Нм}$

$\text{Am}^2; \text{АМ}^2$

$\text{Pas}; \text{Пас}.$

В машинописных текстах допускается точку не поднимать. Допускается буквенные обозначения единиц, входящих в произведение, отделять пробелами, если это не вызывает недоразумения.

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

Правильно:

$$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}; \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$$

$$\frac{W}{m^2 \cdot K}.$$

Неправильно:

$$W/m^2/K; \text{Вт}/\text{м}^2/\text{К}$$

$$\frac{\frac{W}{m^2}}{K}.$$

При применении косой черты обозначения единиц в числителе и знаменателе помещают в строку, произведение обозначений единиц в знаменателе заключают в скобки.

Правильно:

$$m/s; \text{м}/\text{с}$$

$$W/(m \cdot K); \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$$

Неправильно:

$$m/s; \text{м}/\text{с}$$

$$W/m \cdot K; \text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$$

При указании производной единицы, состоящей из двух и более единиц, не допускается комбинировать буквенные обозначения и наименования единиц, т.е. для одних единиц указывать обозначения, а для других — наименования.

Правильно:

$$80 \text{ км}/\text{ч}$$

$$80 \text{ километров в час.}$$

Неправильно:

$$80 \text{ км}/\text{час}$$

$$80 \text{ км в час.}$$

Допускается применять сочетания специальных знаков: (...[°], ...[/], ...^{//}, % и ‰ с буквенными обозначениями единиц, например, %/с. [2]

Приложение 4.

Значения функций Лапласа $\Phi(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^X e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

Z	Φ(z)	Z	Φ(z)
1	2	3	4
0,0	0,00000	2,1	0,48214
0,1	0,03983	2,2	0,48610
0,2	0,077926	2,3	0,48928
0,3	0,11791	2,4	0,49180
0,4	0,15542	2,5	0,49379
0,5	0,19146	2,6	0,49534
0,6	0,22575	2,7	0,49653
0,7	0,25804	2,8	0,49744
0,8	0,28814	2,9	0,49813
0,9	0,31594	3,0	0,49865
1,0	0,34131	3,1	0,49903
1,1	0,36433	3,2	0,49931
1,2	0,38493	3,3	0,49952
1,3	0,40320	3,4	0,49966
1,4	0,41924	3,5	0,49977
1,5	0,43319	3,6	0,49984
1,6	0,44520	3,7	0,49989
1,7	0,45543	3,8	0,49993
1,8	0,46407	3,9	0,49995
1,9	0,47128	4,0	0,499968
2,0	0,47725	4,5	0,499999

Приложение 5.

Интегральная функция распределения Пирсона χ^2

Значения $\chi^2_{k,P}$ в зависимости от числа степеней свободы **k** и вероятности **P**

к/P	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,0001 6	0,000 63	0,003 93	0,0158	0,0642	1,642	2,706	3,841	5,412	6,635	10,827
2	0,0201	0,040 4	0,103	0,211	0,446	3,219	4,605	5,991	7,824	9,210	13,815
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	4,642	6,251	7,815	9,837	11,341	16,268
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	5,989	7,779	9,488	11,66 8	13,277	18,465
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,343	7,289	9,236	11,070	13,38 8	15,086	20,517
6	0,872	1,134	1,635	2,204	3,070	8,558	10,645	12,592	15,03 3	16,812	22,457
7	1,239	1,564	2,167	2,833	3,822	9,803	12,017	14,067	16,62 2	18,475	24,322
8	1,646	2,032	2,733	3,490	4,594	11,030	13,362	15,507	18,67 9	20,090	26,125
9	2,088	2,532	3,325	4,168	5,380	12,242	14,684	16,919	19,67 9	21,666	27,877
10	2,588	3,059	3,940	4,865	6,179	13,442	15,987	18,307	21,16 1	23,209	29,588
11	3,053	3,609	4,575	5,578	6,989	14,631	17,275	19,675	22,61 8	24,725	31,264
12	3,571	4,178	5,226	6,304	7,807	15,812	18,549	21,026	24,05 4	26,217	32,909
13	4,107	4,765	5,892	7,042	8,634	16,985	19,812	22,362	25,47 2	27,688	34,528
14	4,660	5,368	6,571	7,790	9,467	18,151	21,064	23,685	26,87 3	29,141	36,123
15	5,229	5,985	7,262	8,547	10,307	19,311	22,307	24,996	28,25 9	30,578	37,697

16	5,812	6,614	7,962	9,312	11,152	20,465	23,542	26,296	29,63 3	32,000	39,252
17	6,408	7,255	8,672	10,085	12,002	21,615	24,769	27,587	30,99 5	33,409	40,790
18	7,015	7,906	9,390	10,865	12,857	22,760	25,989	28,869	32,34 6	34,805	42,312
19	7,633	8,567	10,11 7	11,651	13,716	23,900	27,204	30,144	33,68 7	36,191	43,820
20	8,260	9,237	10,85 1	12,443	14,578	25,038	28,412	31,410	35,02 0	37,566	45,315
21	8,897	9,915	11,59 1	13,240	15,445	26,171	29,615	32,671	36,34 3	38,932	46,797
22	9,542	10,60 0	12,33 8	14,041	16,314	27,301	30,813	33,924	37,65 9	40,289	48,268
23	10,196	11,29 8	13,09 1	14,848	17,187	28,429	32,007	35,172	38,96 8	41,638	49,728
24	10,856	11,99 2	13,84 8	15,659	18,062	29,553	33,196	36,415	40,27 0	42,980	51,179
25	11,542	12,69 7	14,61 1	16,473	18,940	30,675	34,382	37,652	41,56 6	44,314	52,620
26	12,198	13,40 9	15,37 9	17,292	19,820	31,795	35,563	38,885	42,85 6	45,642	54,052
27	12,879	14,12 5	16,15 1	18,114	20,703	32,912	36,741	40,113	44,14 0	46,963	55,476
28	13,565	14,84 7	16,92 8	18,939	21,588	34,027	37,916	41,337	45,41 9	48,278	56,893
29	14,256	15,57 4	17,70 8	19,768	22,475	35,139	39,087	42,557	46,69 3	49,588	58,302
30	14,953	16,30 6	18,49 3	20,599	23,364	36,250	40,256	43,773	47,96 2	50,892	59,703

Приложение 6.
Таблица штрих кодов



Рис.1



Рис. 2



Рис.3



Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6



Рис. 7



Рис. 8



Рис. 9



Рис. 10

Приложение 7. Штрих-коды некоторых стран

0 — 09 США и Канада	690 Китай
30 — 37 Франция	70 Норвегия
380 Болгария	729 Израиль
383 Словения	73 Швеция
385 Хорватия	740 — 745 Гватемала, Сальвадор, Гондурас, Никарагуа,
400 — 440 Германия	Коста-Рика, Панама
460 — 469 Россия и бывш.	750 Мексика
СССР	759 Венесуэла
4605 Латвия	76 Швейцария
471 Тайвань	770 Колумбия
489 Гон-Конг (ныне Китай)	773 Уругвай
45 Япония	775 Перу
49 Япония	779 Аргентина
50 Великобритания	780 Чили
520 Греция	786 Эквадор
529 Кипр	789 Бразилия
535 Мальта	80 — 83 Италия
539 Ирландия	84 Испания
54 Бельгия и Люксембург	850 Куба
560 Португалия	859 Чехия, Словакия
569 Исландия	860 экс-Югославия
57 Дания	869 Турция
590 Польша	87 Нидерланды
599 Венгрия	880 Южная Корея
600 — 601 ЮАР	885 Таиланд
619 Тунис	888 Сингапур
64 Финляндия	90 — 91 Новая Зеландия
	955 Малайзия

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Береснев, В.К. Метрология [Текст]: учеб. пособие / В.К. Береснев, Г.Г. Матушкин.- Новосибирск, 2006.- 55 с.
2. Гончаров, А.А. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.А. Гончаров, В.Д. Копылов. – 5-е изд., стер. – М.: Академия, 2007. – 240 с.
3. ГОСТ 8.417–2002. ГСИ. Единицы величин [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://leotec.ru/>.- 01.09.2003
4. Димитров, В.П. Метрология. Вопросы и ответы [Текст]: Учебное пособие / В.П. Димитров, И.Г. Кошляков, А.Ф. Хлебунов; Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2003.- 114 с.
5. Метрология и измерения [Текст]: Учебно-методическое пособие для индивидуальной работы студентов / А.П. Белошицкий и др.; под общ. ред. С.В. Лялькова. - Мн.: БГУИР, 1999. -72 с.: ил.
6. Мокров, Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебное пособие / Ю.В.Мокров.- Дубна, 2007.- 132 с.
7. РМГ 29–99 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология [Текст]: Основные термины и определения. – Минск: МГС по стандартизации, метрологии и сертификации, 2000.
8. Сена, Л.А. Единицы физических величин и их размерности: учебно-справочное руководство / Л.А. Сена. – М.: Наука, 1988.
9. Сульдин, А.Н. Тестовые задания по метрологии, стандартизации и сертификации. В 2 ч. Ч. 1 [Текст]: метод. пособие / А.Н. Сульдин, Ж.И. Котенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 26 с.
10. Учебно-образовательный портал: лекции онлайн [Электронный ресурс]: Лекции по метрологии. - Режим доступа: <http://mylect.ru/m>
11. Федорина, Л.И. Метрология, стандартизация и сертификация, ч.1 «Основы метрологии» [Текст]: Учебное пособие / Л.И. Федорина, Е. Г. Хомутова, В.В. Борисова.- М., МИТХТ им. М.В.Ломоносова, 2005 – 69 с.: ил.

12. Фортунова, Н.А. Метрология, стандартизация и сертификация: методические рекомендации к лабораторному практикуму [Текст] / Н.А. Фортунова, Н.А. Ярлыкова.- Елец: ЕГУ им. И.А. Бунина, 2010. – 120 с.
13. Червяков, В. М. Международная система единиц физических величин [Текст]: методические указания / В.М. Червяков. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 16 с. – 200 экз.
14. Ординарцева, Н.П. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: Практикум / Ординарцева Н.П.; под общей редакцией д.т.н., профессора А.А. Данилова.- Пенза, 2008.- 52 с.