

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Памятка

- Оформление лабораторных работ
- Измерения, единицы измерения, система СИ
- Погрешности
- *Приложение 1.* Основные единицы СИ
- *Приложение 2.* Обозначения элементов электрической цепи

1. Оформление лабораторных работ

Порядок выполнения лабораторной работы

Выполнение работы делится на две части. Первая – проведение эксперимента и обработка полученных данных. Конечным результатом первой части является оформление отчета. На втором этапе проводится устная защита выполненной работы.

Оформление отчета по лабораторной работе

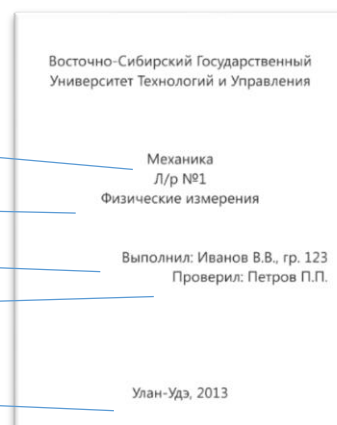
Результаты работы оформляются в отчет. Информация, записанная в отчете, используется для проведения защиты лабораторной работы. Отчет по выполненной работе должен содержать следующие разделы:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Приборы и принадлежности
4. Рабочие формулы
5. Схема эксперимента (экспериментальной установки), электрическая цепь
6. Таблица результатов измерений и вычислений
7. Расчёты
8. График
9. Выводы

Титульный лист

Титульный лист должен содержать следующую информацию:

- Название лаборатории, в которой проводилась работа
- Номер и название работы
- Фамилия, Имя, О. студента, номер группы, курс
- Фамилия И.О. преподавателя
- Год



Цель работы

Цель работы формулируется в формате ответа на вопрос «Что сделать?». В качестве цели исследования могут выступать:

1. Изучение какого-либо физического явления, процесса
Изучение явления внешнего фотоэффекта
2. Изучение, выявление зависимости между физическими величинами
Изучение зависимости фототока от напряжения между катодом и анодом
3. Проверка физических законов, теоретических предположений, гипотез
Проверка законов внешнего фотоэффекта
4. Определение параметров и констант физического явления, экспериментальной установки и т. д.
Определение частоты красной границы фотоэффекта

Схема эксперимента

Схема эксперимента как и графики, таблицы рисуется карандашом. Рисовать следует аккуратно, без помарок. Особое внимание следует уделить изображению элементов электрической цепи. Обозначения элементов электрической цепи см. Приложение. Приведенные обозначения являются общепринятыми, и изменение их начертаний сделает невозможным понимание вашей схемы другими специалистами.

Рабочие формулы

Нет необходимости переписывать все формулы, приведенные в описании работы. Необходимо записать только те формулы, которые используются при выполнении самой работы (формула проверяемого закона, формула вычисляемой величины и др.)

Таблица результатов измерений и вычислений

В заголовках столбцов записывают название или символьное обозначение измеряемых или расчетных физических величин, а затем через запятую указывают их единицы измерений.

В таблицу числа записывают таким образом, чтобы они находились в интервале от 1,00 до 1000, при необходимости используются приставки и десятичные множители:

Неправильно		Правильно	
$L, м$	$A, Дж$	$L, см$	$A, кДж$
0,034505	23 400	3,451	23,4

Расчеты

Данный пункт иллюстрирует процесс вычислений физической величины и должен содержать следующие пункты:

1. Обозначение расчетной величины

2. Исходная формула в буквенном виде

3. Прямая подстановка числовых значений

4. Непосредственно расчёт

5. Ответ в единицах СИ

6. Ответ во внесистемных единицах (если требуется)

$$R = \rho \frac{l}{S} =$$

$$= 1 \cdot 10^{-6} \frac{1,2}{32 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= \frac{1 \cdot 1,2}{32} 10^{-6+6} = \frac{1,2}{32} = 0,0375 =$$

$$= 3,75 \cdot 10^{-2} Ом =$$

$$= 37,5 мОм$$

Представление числового ответа

Числовое значение физической величины записывается в формате:

$$X,XXX \cdot 10^{\pm XX}$$

Неправильно

Правильно

0,3564 м

$3,564 \cdot 10^{-3}$ м

3,564 мм

34 556 452 Дж

$3,456 \cdot 10^7$ Дж

34,556 МДж

В случае необходимости число знаков после запятой может быть увеличено. Не рекомендуется одновременное использование степеней и приставок:

Неправильно $3,564 \cdot 10^{-3}$ мм **Правильно** $3,564 \cdot 10^{-6}$ м 3,564 мкм

Запись конечного результата должна включать значение физической величины, абсолютную погрешность её определения и относительную погрешность:

$X = 1,234 \pm 0,552 \text{ м}, \epsilon_x = 44,7\%$

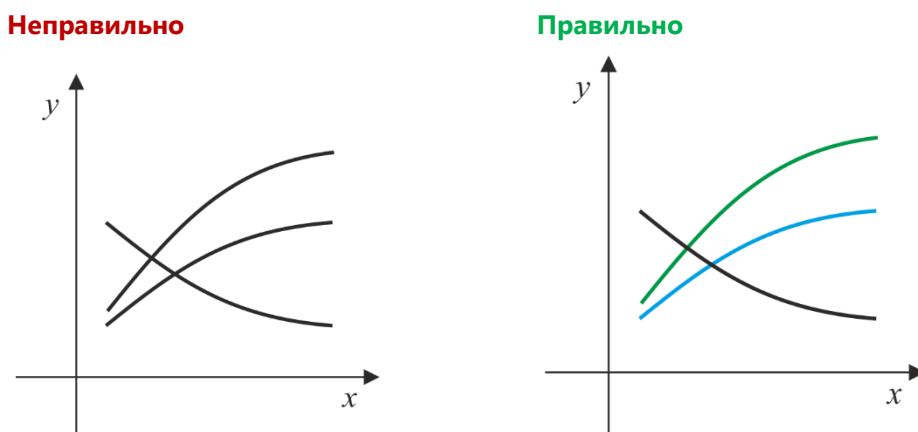
Значение величины
Абсолютная погрешность
Относительная погрешность

Точность представления значения физической величины не должна превышать точность её абсолютной погрешности.

График

Всякий график изображает зависимость двух величин (аргумента и функции). Зависимая величина (функция) откладывается по вертикальной оси (ось ординат), определяющая величина (аргумент) откладывается по горизонтальной оси (ось абсцисс). График рисуется на весь лист. В случае малого количества точек размеры графика могут быть уменьшены.

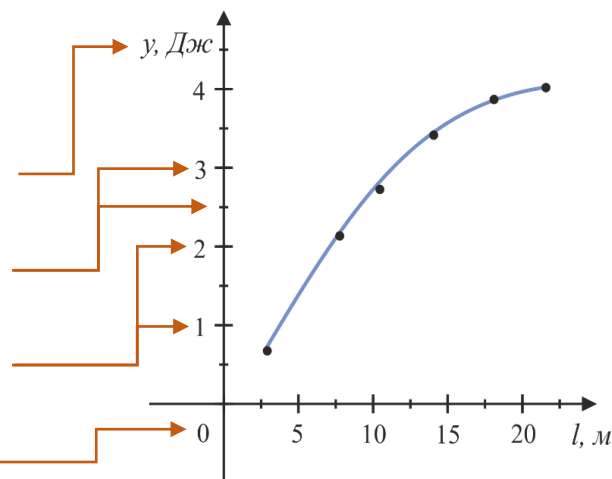
График рисуется карандашом, в случае изображения нескольких графиков на одной координатной сетке предпочтительно использование цветных ручек:



Построение координатной сетки

Координатная сетка должна содержать:

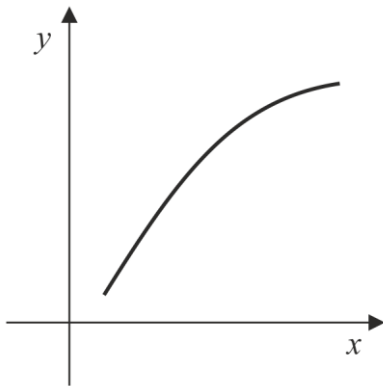
- Подписи осей с указанием величины и единицы измерения. В ряде случаев, является целесообразным вынесение общего множителя
- Масштабные деления. Наносятся на всей оси, без пропусков
- Числовые значения. Рекомендуются записывать кратные 1, 2, 5, 10 масштабным делениям.
- Начало отсчёта осей



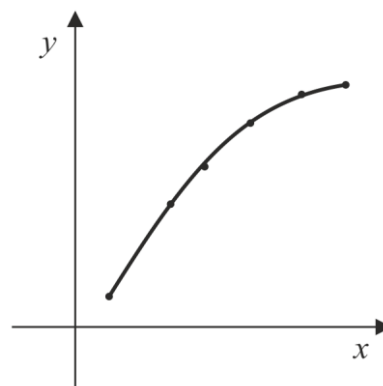
Нанесение точек

Размер точек должен в 2 раза превышать толщину кривой графика:

Неправильно



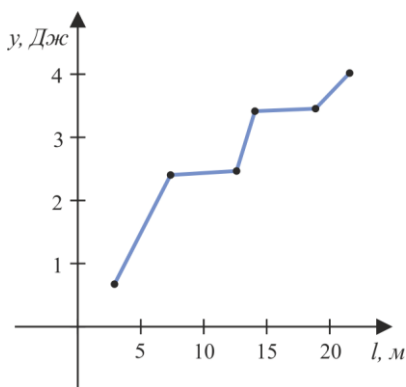
Правильно



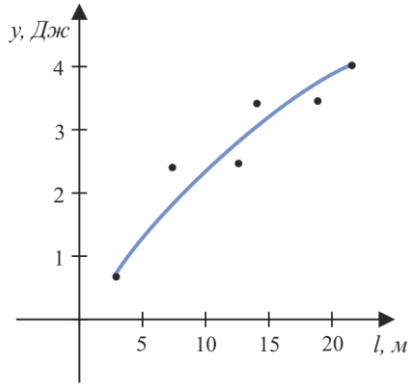
Построение графика

Кривая должна быть плавной:

Неправильно

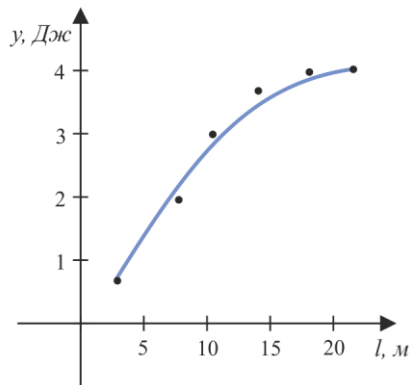


Правильно

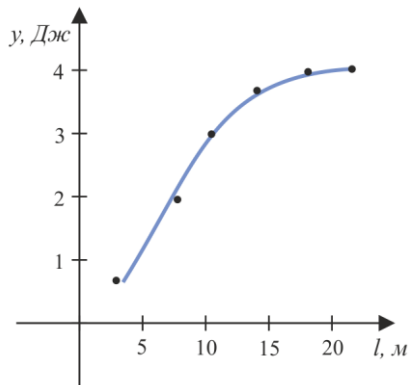


Кривую следует проводить так, чтобы количество точек по обе стороны от нее было приблизительно одинаковым, и максимальное количество точек лежало на самой кривой. Кривую (прямую) следует проводить как можно ближе к точкам, но, не обязательно пересекая их:

Неправильно

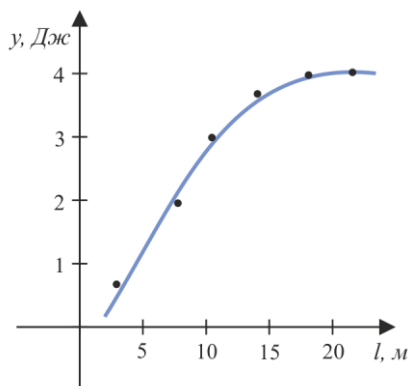


Правильно

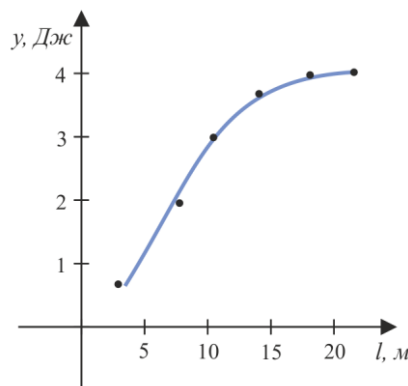


Кривая (прямая) не должна выходить за область экспериментальных значений аргумента и функции:

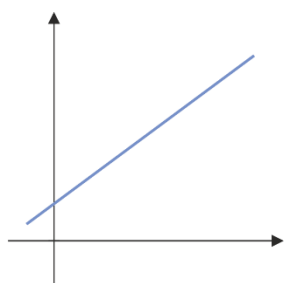
Неправильно



Правильно

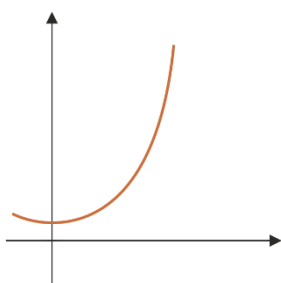


При построении экспериментальной кривой следует исходить из предполагаемого вида зависимости. Как правило, это прямая линия, парабола, гипербола, график экспоненты, обратной функции:



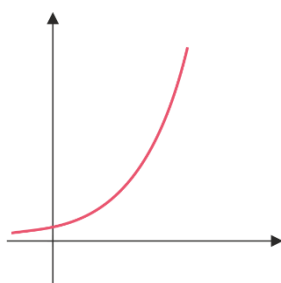
Прямая

$$y = a \cdot x + b$$



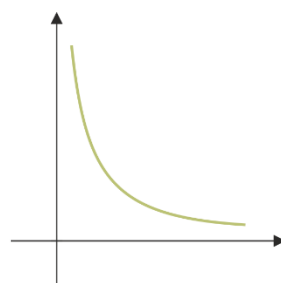
Парабола

$$y = a \cdot x^2 + b$$



Экспонента

$$y = a \cdot e^x + b$$

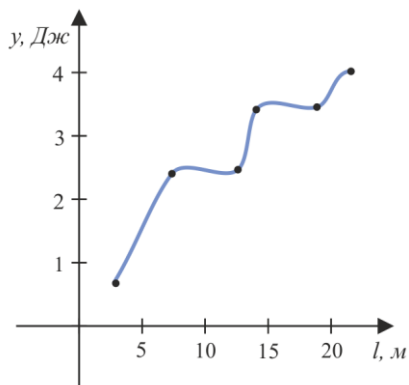


Гипербола

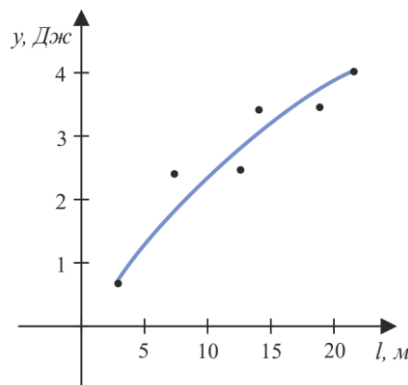
$$y = a \cdot \frac{1}{x} + b$$

В случае, если вид зависимости неизвестен, при построении графика следует стремиться к минимальному числу перегибов кривой графика:

Неправильно



Правильно



Выводы

Вывод должен быть своеобразным ответом на вопрос, поставленный в цели работы. Вывод может содержать следующую информацию:

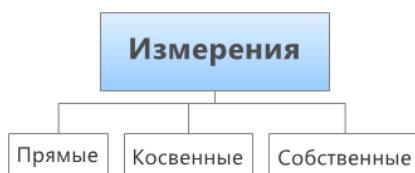
1. Название физического явления, процесса, исследованного в работе
В данной работе нами было изучено явление фотоэффекта
2. Вид полученной зависимости между физическими величинами
Выявлена линейная зависимость фототока от напряжения между катодом и анодом
3. Результат проверки закона, предположения и т. д. («проверен» - «не проверен»), в каких пределах
Были проверены следующие законы фотоэффекта ...
4. Численное значение изученной величины
Определена частота красной границы фотоэффекта, равная ...
5. Сравнение полученных значений со значениями, приведенными в других источниках (справочниках, паспорте прибора и др.)
Данное значение частоты практически совпадает с частотой, приведенной в паспорте фотоэлемента

2. Измерения, единицы измерения, система СИ

Измерения

Каждая из работ физического лабораторного практикума посвящена изучению определенного физического явления и связана с измерением тех или иных физических величин, характеризующих данное явление или свойства тела. Как правило, такое исследование состоит из одного или нескольких измерений.

Измерением называется нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. В метрологии измерения классифицируют: по методике обработки экспериментальных данных – прямые, косвенные и совместные; по числу измерений – однократные, многократные.



Прямые измерения – это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно с помощью специальных технических средств. *Например, измерение длины с помощью линейки, измерение массы с помощью весов и др.*

Косвенные измерения – это измерения, при которых искомое значение величины вычисляют по формуле, связывающей эту величину с величинами, полученными прямыми измерениями. *Например: вычисление объема тела по прямым измерениям его геометрических размеров; вычисление скорости равномерного движения по прямым измерениям длины пройденного пути и соответствующего промежутка времени $S = V \cdot t$ и т. п.*

Совместные измерения – это измерения, состоящие из измерений нескольких величин в изменяющихся условиях и последующего нахождения зависимости между этими величинами. Причем, измерения этих величин могут быть как прямыми, так и косвенными. *Например, определение температурной*

зависимости электрического сопротивления проводника путем его измерения при различных значениях температур.

Единицы измерения

Для записи количественных соотношений (законов), связывающих различные физические величины, необходимо кроме их определения указать способ измерения и единицы измерения.

Способ измерения – это указание экспериментальных действий, которые необходимо выполнить, чтобы сравнить значение величины с единицей измерения и получить численное значение величины, например координаты частицы.

В связи с построением систем единиц возникает понятие размерности. В принципе можно было бы (так и поступали раньше) для каждой физической величины установить свою единицу, никак не связанную с единицами других величин. Но тогда в уравнения, выражающие физические законы, вошло бы множество числовых коэффициентов. Такое множество числовых коэффициентов весьма сильно усложняло бы формулы. Во избежание этого в физике уже давно отказались от независимого выбора единиц для всех физических величин, а стали применять системы единиц, построенные по определенному принципу.

Принцип этот заключается в следующем. Некоторые физические величины условно принимаются за **основные** или **первичные**, т. е. такие, для которых единицы устанавливаются произвольно и независимо. Так, например, в механике применяется система LMT, в которой за основные величины принимаются длина (L), масса (M) и время (T). Выбор основных величин и их число произвольны – это вопрос соглашения. Например в технической механике до недавнего времени применялась система LFT. Основными величинами в ней были длина (L), сила (F) и время (T).

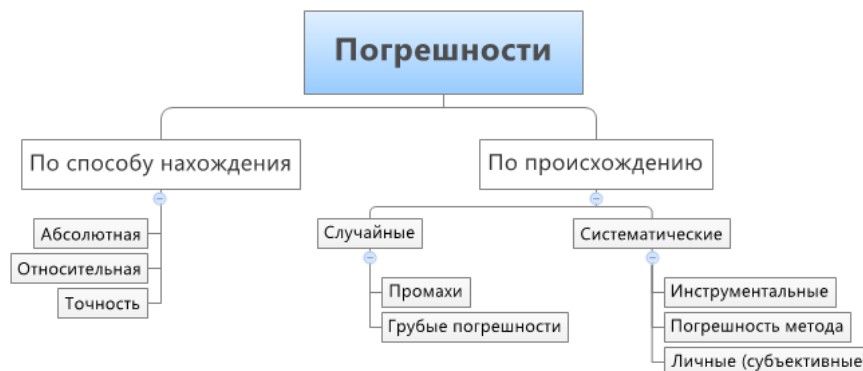
В Международной системе единиц (сокращенно СИ) за основные приняты семь величин: длина, масса, время, температура, сила электрического тока, сила света и количество вещества.

Величины, не являющиеся основными, называются **производными** или **вторичными**. Для них единицы устанавливаются из требования, чтобы числовые коэффициенты, входящие в физические законы или формулы, служащие определением рассматриваемых величин, принимали определенные, заранее выбранные значения.

Например, скорость равномерно движущейся материальной точки есть величина особого рода, пропорциональная пройденному пути и обратно пропорциональная времени, затрачиваемому на прохождение этого пути.

3. Погрешности

Никакое измерение не может быть выполнено абсолютно точно. В результате измерений мы всегда получаем значение величины с некоторой погрешностью. Поэтому в задачу измерений входит не только нахождение значения величины, но также и оценка допущенной при этом погрешности.



Погрешностью измерения называется отклонение измеренного значения от истинного значения измеряемой величины. При этом различают абсолютную и относительную погрешности.

Абсолютная погрешность измерения – это разница между измеренным $x_{измер}$ и истинным $x_{истин}$ значениями измеряемой величины, выраженная в единицах измеряемой величины:

$$\Delta x = |x_{истин} - x_{измер}| \cong |x_{сред} - x_{измер}|$$

Поскольку истинное значение $x_{истин}$ измеряемой величины никогда неизвестно, то для получения приближенных сведений о погрешности измерения приходится в формулах вместо истинного значения $x_{истин}$ использовать среднее измеренное значение X величины.

Относительная погрешность измерения – это отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x_{истин}} \cong \frac{\Delta x}{x_{сред}}$$

Относительная погрешность может быть выражена в относительных единицах (в долях) $\varepsilon_x = 0.005$ или процентах $\varepsilon_x = 0.5\%$.

Иногда пользуются понятием **точности**, которая характеризует близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность равна обратной величине модуля относительной погрешности, выраженной в долях:

$$t_x = \frac{1}{\varepsilon_x} = \frac{x_{истин}}{\Delta x}$$

Так, если относительная погрешность составляет $\varepsilon_x = 1\%$, в долях это будет $\varepsilon_x = 0.01$, то точность $t_x = 100$.

Все погрешности по характеру происхождения делятся на случайные и систематические.

- Случайные погрешности** – это погрешности, значения которых изменяются непредсказуемым образом при повторных измерениях одной и той же величины. Они обусловлены большим числом случайных причин, действие которых на каждое измерение различно и не может быть заранее

учтено (колебания воздуха, вибрации здания, трения в осях при взвешивании, изменение внимания оператора и т. д.). Хотя исключить случайные погрешности отдельных измерений невозможно, математическая теория случайных явлений позволяет существенно уменьшить влияние этих погрешностей на окончательный результат и оценить их значение.

К этой же группе относятся **грубые погрешности** – это погрешности, существенно превышающие ожидаемые значения погрешностей (резкое изменение напряжения в сети), а также **промахи** – погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений, неверным отсчетом показаний или ошибками при записи результатов. Грубые погрешности и промахи обнаруживают статистическими методами и обычно исключают из рассмотрения.

2. **Систематические погрешности** – это такие погрешности, значения которых при повторных измерениях остаются постоянными или изменяются по определенному закону. Если удастся обнаружить причину и найти закон изменения систематической погрешности, то ее необходимо исключить введением поправки к измеренному значению.

В зависимости от причин возникновения различают четыре вида систематических погрешностей:

1. **Погрешности метода**, происходящие от ошибочности или недостаточной разработанности принятой теории метода измерения, например: при измерении диаметра не учитывается температурное расширение детали, обрабатываемой на станке; тонкое кольцо деформируется излишним усилием при измерении его диаметра штангенциркулем и т. п.;
2. **Инструментальные погрешности**, зависящие от погрешностей применяемых средств измерений;
3. Погрешности, обусловленные неправильной установкой и взаимным расположением средств измерения, например: весы не выставлены по уровню; параллакс при отсчете по шкале и т. п.;
4. **Личные погрешности**, обусловленные индивидуальными особенностями наблюдателя, например: запаздывание или опережение при регистрации изменяющегося во времени показания прибора и т. п.

Способы нормировки погрешностей средств измерений

Измерения выполняются с помощью технических средств, которые называются **средствами измерений**. Средства измерения включают в себя меры, измерительные приборы и измерительные преобразователи.

Мерой называют средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера. *Примеры мер: миллиметровая линейка, набор гирь для взвешивания, магазин сопротивлений.*

Измерительный прибор – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала в форме, доступной для восприятия наблюдателем. *Это, например, вольтметр, амперметр, термометр, манометр.*

Измерительный преобразователь – это средство измерений, которое вырабатывает сигнал в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования и (или) хранения, но не предназначенный для восприятия наблюдателем. *Примерами измерительных преобразователей являются терморезистор, термометр сопротивлений, делитель напряжения.*

В соответствии с ГОСТ 13600-68 нормируется (определяется) предельное значение инструментальной погрешности средства измерения, т. е. инструментальная погрешность задается, с доверительной вероятностью (надежностью) $\alpha = 1$ при нормальных условиях эксплуатации.

Пределы допускаемой основной погрешности средств измерений устанавливаются в виде абсолютных Δ_{II} , приведенных γ_{II} или относительных ε_{II} погрешностей, или в виде определенного числа делений. Значения погрешностей указываются либо в виде условных обозначений на шкале прибора, либо в паспорте измерительного прибора. Если условия эксплуатации прибора отличаются от нормальных, то может возникать дополнительная погрешность.

Абсолютная погрешность средства измерения выражается:

а. Одним значением.

$$\Delta_{II} = a ,$$

где $a = const$ – постоянная величина;

б. В виде зависимости предела допускаемой погрешности от измеренного значения величины.

$$\Delta_{II} = a \cdot x + b ,$$

где $a, b = const$ – постоянные величины; x – измеренное значение.

Приведенная погрешность γ_{II} используется для нормирования погрешности приборов со шкальным отсчетом, имеющих постоянную абсолютную погрешность Δ_{II} по всей шкале прибора. Она выражается в процентах от так называемого нормирующего значения

$$\gamma_{II} = \frac{100 \cdot \Delta_{II}}{x_{норм}} = c , \quad (1)$$

где $c = const$ – число, указанное на шкале прибора.

В качестве нормирующего значения $x_{норм}$ принимаются:

1. Конечное значение рабочей части шкалы для приборов с односторонней и безнулевой шкалами.

Например, для шкалы 1..150В, $x_{норм} = 150В$; а для шкалы 50..200В, $x_{норм} = 200В$;

2. Сумма конечных значений рабочей части шкалы – для приборов с двусторонней шкалой.

Например, для шкалы от $-70дел.$ до $+70дел.$, $x_{норм} = 70 + 70 = 140дел.$

Абсолютная погрешность вычисляется из формулы (1).

Относительная погрешность ε_{II} используется для нормирования (определения) погрешности средств измерений, у которых относительная погрешность остается постоянной во всем диапазоне измерений или зависит от значения измеряемой величины. Она выражается одной из следующих формул (2)–(4):

$$\varepsilon_{II} = \frac{100 \cdot \Delta_{II}}{x} = c , \quad (2)$$

где $c = const$ – число, указанное на шкале прибора в виде C ;

x – измеренное значение;

$$\varepsilon_{II} = \left[c + d \left(\frac{x_{max}}{x} - 1 \right) \right] , \quad (3)$$

где $c, d = const$ – постоянные величины, указанные на шкале прибора в виде отношения c/d ;

x_{\max} – предел измерения прибора, т. е. наибольшее значение, которое может измерять прибор;

$$\varepsilon_{II} = \left[c + d \left(\frac{x_0}{x} - 1 \right) \right], \quad (4)$$

где $c, d = const$ – постоянные величины, указанные на шкале прибора в виде отношения c/d ;

x_0 – значение измеряемой величины, при котором ε_{II} имеет минимальное значение.

Величины x, x_{\max}, x_0 подставляются в формулы (2)–(4) без учета знака.

Измерительным приборам, основная погрешность которых нормируется в виде приведенной или относительной погрешностей, присваиваются **классы точности**, числовые обозначения которых выбираются из следующего ряда: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0.

Обозначение **класса точности** выражает в процентах относительную или приведенную погрешности прибора.

Если на шкале прибора цифра изображена в кружочке, то она указывает относительную погрешность ε_{II} прибора, например, 0,2. Цифра, обозначающая класс точности прибора и характеризующая приведенную погрешность γ , обозначается на шкале прибора без кружочка, например, 1,0.

Относительная погрешность ε_{II} , выраженная одной из формул (2)–(4) используется для определения предела основной допускаемой погрешности стрелочных и цифровых электроизмерительных приборов, магазинов сопротивлений и емкостей.

В тех случаях, когда погрешность прибора не указана на шкале и не приведена в паспорте прибора, ее считают равной величине, соответствующей половине наименьшего деления шкалы. Для измерительных приборов без шкалы погрешность приравнивают к наименьшему делению прибора.

Погрешности средств измерений, применяемых в лабораторном практикуме

1. **Металлическая линейка** применяется для измерения линейных величин до 500 мм. Цена наименьшего деления составляет 1 мм, инструментальная погрешность $\Delta_{II} = 0,2 \text{ мм}$.
2. **Микрометр** (модель 1003) применяется для измерения линейных величин до 25 мм, цена наименьшего деления 0,01 мм. Инструментальная погрешность микрометра равна $\Delta_{II} = 0,01 \text{ мм}$.
3. **Микроамперметр** М136 имеет предел измерения $I_{\max} = 10 \text{ мкА}$. На шкале прибора обозначено 1,0. Следовательно, задан класс точности прибора, определяющий его приведенную погрешность $\gamma = 1,0\%$. Поскольку прибор имеет одностороннюю шкалу (0...10 мкА), то нормирующим значением является конечное значение шкалы $I_{\text{норм}} = I_{\max} = 10 \text{ мкА}$. Поэтому инструментальная погрешность согласно выражению (1). Относительная погрешность определяется для конкретного измеренного значения силы тока
4. **Амперметр** с пределом измерения $I_{\max} = 1 \text{ А}$. На шкале прибора обозначен класс точности 0,5. Данное обозначение свидетельствует о том, что задается относительная погрешность в процентах $\varepsilon_{II} = 0,5\%$. Абсолютная инструментальная погрешность может быть определена из формулы (2) для конкретного измеренного значения силы тока I .
5. **Магазин сопротивлений** МСР–60М позволяет устанавливать значения сопротивлений от 0,01 Ом до 9999,99 Ом. Цена наименьшего деления составляет 0,01 Ом. Магазин сопротивлений

имеет класс точности $0.2/2 \cdot 10^{-5}$, выражающий относительную погрешность (1). Поэтому, относительная погрешность меры в соответствии с формулой (3) определяется выражением

$$\varepsilon_{RH} = \left[c + d \left(\frac{R_{\max}}{R} - 1 \right) \right]$$

где $c = 0.2$; $d = 2 \cdot 10^{-5}$; R_{\max} – нормирующее (конечное), R – установленное значения сопротивлений.

Если на магазине установлено значение сопротивления $R = 2000 \text{ Ом}$, то относительная инструментальная погрешность этого значения будет равна:

$$\varepsilon_{RH} = \left[0.2 + 2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{9999.99}{2000} - 1 \right) \right] = 0.2\%$$

Абсолютную погрешность определим по формуле

$$\Delta_{RH} = \frac{\varepsilon_{RH} \cdot R}{100} = \frac{0.2 \cdot 2000}{100} = 4 \text{ Ом}$$

Погрешности косвенных величин

Как уже отмечалось, косвенным называется измерение, при котором значение физической величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, найденными в результате прямых измерений.

При косвенных измерениях искомая величина Z определяется зависимостью

$$Z = f(A_1, A_2, A_3)$$

где A_1, A_2, A_3 – прямо измеряемые величины, являющиеся аргументами функции Z .

Обращаем внимание на то, что методы строгого анализа погрешности косвенных измерений отличаются значительной сложностью, поэтому мы используем упрощенный порядок расчета погрешностей. Расчет погрешностей косвенной величины Z можно выполнить одним из двух способов.

Способ 1. Вначале определить абсолютную погрешность по формуле

$$\Delta Z = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial A_1} \right)^2 \Delta A_1^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial A_2} \right)^2 \Delta A_2^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial A_3} \right)^2 \Delta A_3^2}$$

или, если не учитывать знак погрешностей величин A_1, A_2, A_3

$$\Delta Z \approx \left(\frac{\partial Z}{\partial A_1} \right) \Delta A_1 + \left(\frac{\partial Z}{\partial A_2} \right) \Delta A_2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial A_3} \right) \Delta A_3$$

где $\frac{\partial Z}{\partial A_1}, \frac{\partial Z}{\partial A_2}, \frac{\partial Z}{\partial A_3}$ – частные производные искомой функции Z .

Для расчета частных производных необходимо использовать измеренные значения прямых величин A_1, A_2, A_3

$$A_1 \pm \Delta A_1, A_2 \pm \Delta A_2, A_3 \pm \Delta A_3$$

Затем определить относительную погрешность по формуле

$$\varepsilon_Z = \frac{\Delta Z}{Z}$$

Способ 2. Вначале определить относительную погрешность

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln Z}{\partial A_1}\right)^2 \Delta A_1^2 + \left(\frac{\partial \ln Z}{\partial A_2}\right)^2 \Delta A_2^2 + \left(\frac{\partial \ln Z}{\partial A_3}\right)^2 \Delta A_3^2}$$

или, если не учитывать знак погрешностей величин A_1, A_2, A_3

$$\Delta Z \approx \left(\frac{\partial \ln Z}{\partial A_1}\right) \Delta A_1 + \left(\frac{\partial \ln Z}{\partial A_2}\right) \Delta A_2 + \left(\frac{\partial \ln Z}{\partial A_3}\right) \Delta A_3$$

Абсолютную погрешность вычислить по формуле

$$\Delta Z = \varepsilon_Z \cdot Z$$

Пример. Рассмотрим нахождение погрешностей на примере определения относительной погрешности плотности $\rho = \frac{4M}{\pi \cdot D^2 h}$, т.е. $\rho = f(M, D, h)$

1. Прологарифмируем $\rho = \frac{4M}{\pi \cdot D^2 h}$:

$$\ln \rho = \ln \frac{4}{\pi} M - 2 \ln D - \ln h$$

2. Продифференцируем:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dM}{M} - 2 \frac{dD}{D} - \frac{dh}{h}$$

3. Формально заменим все «-» на «+»:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dM}{M} + 2 \frac{dD}{D} + \frac{dh}{h}$$

4. Перейдем бесконечно малых приращений к конечным, получим итоговую формулу *относительной погрешности*:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta M}{M} + 2 \frac{\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h}$$

где $\Delta M, \Delta D, \Delta h$ – абсолютные погрешности прямых величин.

5. Найдем *абсолютную погрешность*


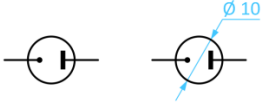
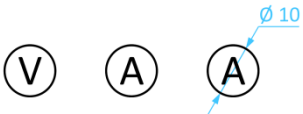
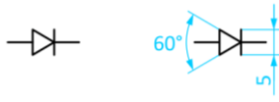
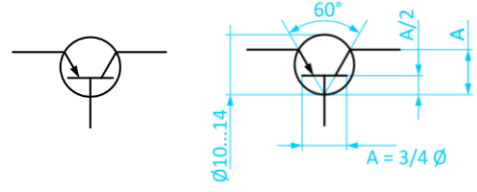
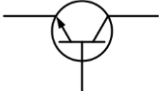
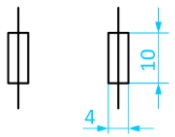
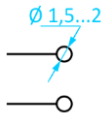
$$\Delta \rho = \varepsilon_\rho \cdot \rho$$

Приложение 1.

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ				
Единица		Величина	Определение	Исторические происхождения / Обоснование
Метр	м	Длина	Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ секунды. <i>17я Конференция по мерам и весам (1983г.)</i>	$\frac{1}{10\,000\,000}$ расстояния от экватора Земли до северного полюса на меридиане Парижа.
Килограмм	кг	Масса	Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа килограмма. <i>3я Конференция по мерам и весам (1901г.)</i>	Масса одного кубического дециметра (литра) чистой воды при температуре $4\text{ }^\circ\text{C}$ и стандартном атмосферном давлении на уровне моря.
Секунда	с	Время	Секунда это — интервал времени, равный $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного (квантового) состояния атома цезия-133. <i>13я Конференция по мерам и весам (1967/68г.)</i>	День делится на 24 часа, каждый час делится на 60 минут, каждая минута делится на 60 секунд. Секунда это — $\frac{1}{(24 \times 60 \times 60)}$ часть Дня
Ампер	А	Сила тока	Ампер - это сила постоянного тока, текущего в каждом из двух параллельных бесконечно длинных бесконечно малого кругового сечения проводников в вакууме на расстоянии 1 метр, и создающая силу взаимодействия между ними $2 \cdot 10^{-7}$ ньютонов на каждый метр длины проводника. <i>9я Конференция по мерам и весам (1948г.)</i>	
Кельвин	К	Термодинамическая температура	Один кельвин равен $1/273,16$ термодинамической температуры тройной точки воды. <i>13th Конференция по мерам и весам (1967/68г.)</i>	Шкала Кельвина использует тот же шаг градуса, что и шкала Цельсия, но 0 градусов это температура абсолютного нуля, а не температура плавления льда. Согласно современному определению ноль шкалы Цельсия установлен таким образом, что температура тройной точки воды равна $0,01\text{ }^\circ\text{C}$. В итоге, шкалы Цельсия и Кельвина сдвинуты на 273,15: $^\circ\text{C} = \text{K} - 273,15$
Моль	моль	Количество вещества	Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, молекулами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц» <i>14я Конференция по мерам и весам (1971г.)</i>	
Кандела	кд	Сила света	равна силе света, испускаемого в заданном направлении источником монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ герц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $(1/683)$ Вт/ср. <i>16я Конференция по мерам и весам (1979)</i>	

Приложение 2.

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	
Элемент цепи	Обозначение / Начертание, мм
Ток – постоянный;	—
– переменный;	~
– постоянный и переменный;	~
Провод	— толщина 0,3...0,4
Пересечение проводов	
Соединение проводов	
Элемент гальванический, аккумулятор	
Батарея гальванических или аккумуляторных элементов	
Контакт замыкающий (ключ)	
Резистор постоянный	
Резистор переменный, реостат	
Конденсатор постоянный	
Конденсатор электролитический	
Катушка индуктивности (дроссель) – без сердечника;	
– с сердечником;	

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ	
Элемент цепи	Обозначение / Начертание, мм
Лампа накаливания	
Неоновая лампа	
Вольтметр, амперметр	
Диод	
Триод полупроводниковый (транзистор) – p-n-p типа;	
– n-p-n типа;	
Предохранитель плавкий	
Контакт разборного соединения	

Перечень стандартов ЕСКД на условные обозначения в схемах:

ГОСТ 2.721-74	Обозначения условные графические общего применения	ГОСТ 2.750-68	Род тока и напряжений; виды соединения обмоток; формы импульсов
ГОСТ 2.722-68	Машины электрические	ГОСТ 2.751-73	Электрические связи, провода, кабели и шины
ГОСТ 2.723-68	Катушки индуктивности, реакторы, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители	ГОСТ 2.754-72	Обозначения условные графические электрического оборудования и проводок на схемах
ГОСТ 2.725-68	Устройства коммутирующие	ГОСТ 2.755-87	Устройства коммутационные и контактные соединения
ГОСТ 2.726-68	Токосъемники	ГОСТ 2.758-81	Сигнальная техника
ГОСТ 2.727-68	Разрядники, предохранители	ГОСТ 2.759-82	Элементы аналоговой техники
ГОСТ 2.728-74	Резисторы, конденсаторы	ГОСТ 2.768-90	Источники электрохимические, электро-термические и тепловые
ГОСТ 2.729-68	Приборы электроизмерительные		
ГОСТ 2.730-73	Приборы полупроводниковые		
ГОСТ 2.731-81	Приборы электровакуумные		
ГОСТ 2.732-68	Источники света		
ГОСТ 2.747-68	Размеры условных графических обозначений		