



МГУ им.М.В. Ломоносова
КАФЕДРА ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
Практикум ВВЕДЕНИЕ В ТЕХНИКУ ЭКСПЕРИМЕНТА

Графическое оформление результатов эксперимента

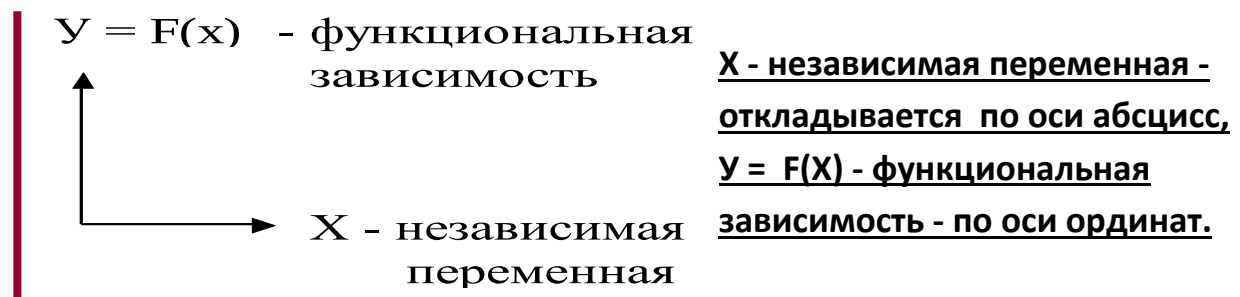
Построение графика в прямоугольной системе координат

Ананьева Н.Г., Ананьева М.С., Самойлов В.Н.

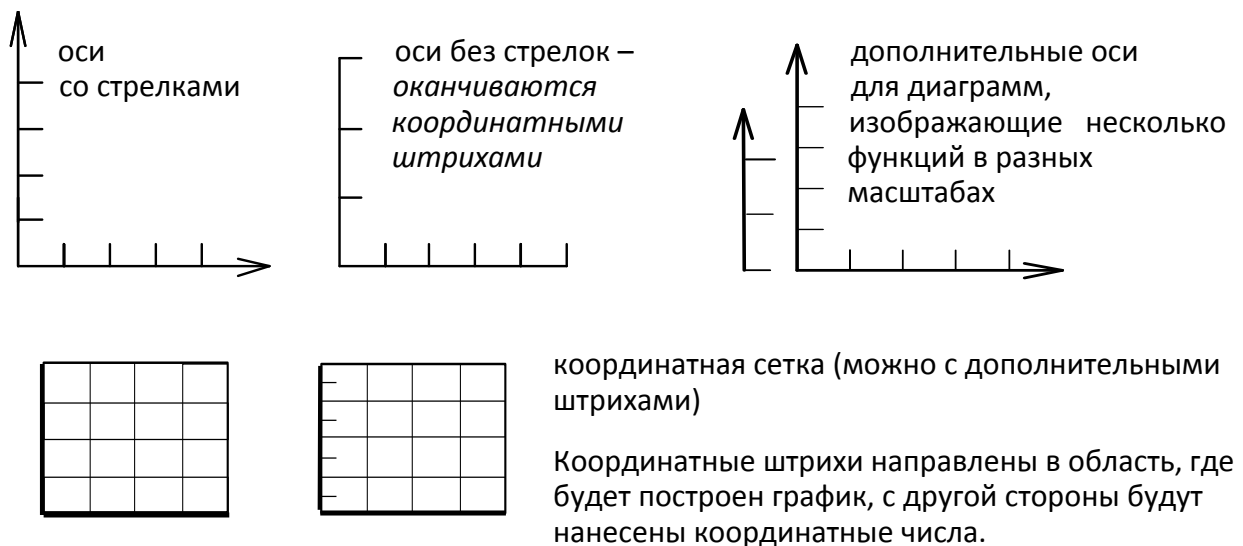
2016

Результаты эксперимента (а лабораторные работы – ваши первые эксперименты – учебные) принято оформлять в виде таблиц и графиков (диаграмм). **График – наглядное представление результатов, поэтому основное требование – аккуратное и четкое исполнение.** Графики должны легко читаться, для этого необходимо соблюдать общие правила, изложенные ниже. При построении графиков есть правила, обязательные для исполнения (иначе график будет воспринят неверно – такая работа не принимается), и правила, носящие рекомендательный характер (снижается отметка). Обязательные для исполнения правила будут отмечены жирной чертой слева.

Первое обязательное правило при оформлении графика:

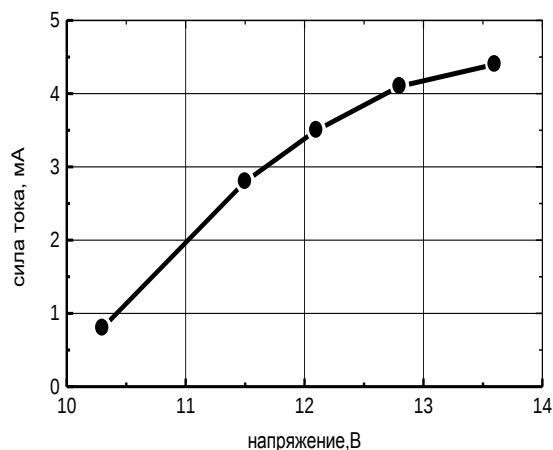
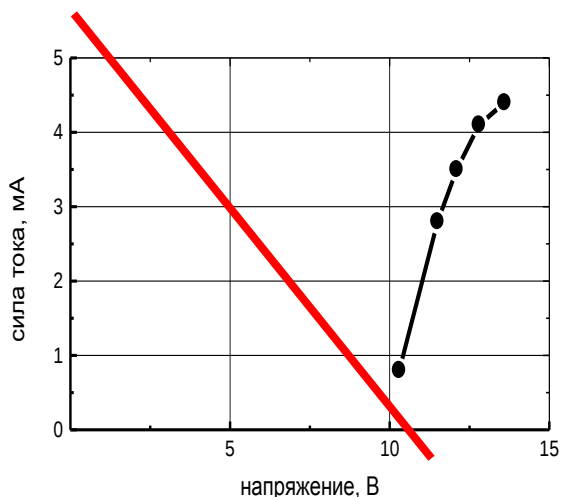
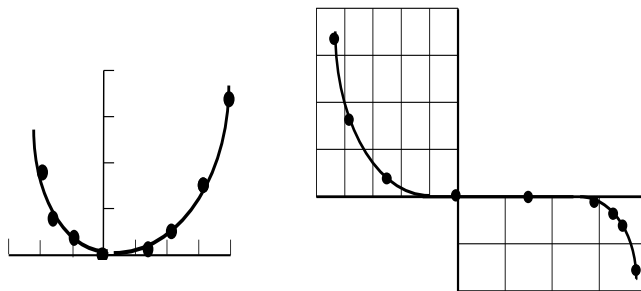


Для построения графиков используются координатные оси или сетка в следующем виде:



Для работы с графиками удобнее использовать координатную сетку: она очень помогает, когда точки расположены далеко от осей. Миллиметровая бумага – готовая координатная сетка – поэтому ее и будем использовать. Тем не менее, и на миллиметровой бумаге удобно чертить координатную сетку. При построении графиков на компьютере координатная сетка обязательна.

Координатные оси или сетку наносят только в тех областях, где будет построен график.



Оси могут начинаться не с «0». Если обе оси начинаются с нуля, «0» ставится только один раз.

Если на графике есть и положительные и отрицательные значения, ось обязательно проходит через «0». При переходе через «0» можно поменять масштаб. Подписывать числовые значения шкалы можно или рядом с осью или, чтобы не загромождать чертеж, по левой (или нижней) границе сетки.

Работу надо не только правильно выполнить, но и уметь представить результаты. Поэтому желательно придерживаться и таких рекомендаций:

- прямые проводите **по линейке**, всю работу выполняйте аккуратно.
- Весь график, в том числе и подписи, выполняйте **карандашом**.
- Соблюдайте толщину линий – чем значимее информация, тем толще линия:

если толщина оси - S (0,3 - 0,5 мм),

координатная сетка и штрихи - $S/2$ - $S/3$,

кривая функциональной зависимости - $2S$ (для обеспечения требуемой точности отсчета допускается выполнять линии большей или меньшей толщины).

Экспериментальные точки - $4S$.

- Все **надписи** должны быть достаточно крупными – **4-5 мм**, легко читаемыми – выполненные печатными буквами (чертежным шрифтом).

В конечном итоге график должен быть ярким и контрастным (но не грязным).

Выбор и нанесение масштаба.

На листе миллиметровой бумаги, на котором строим график, должно быть:

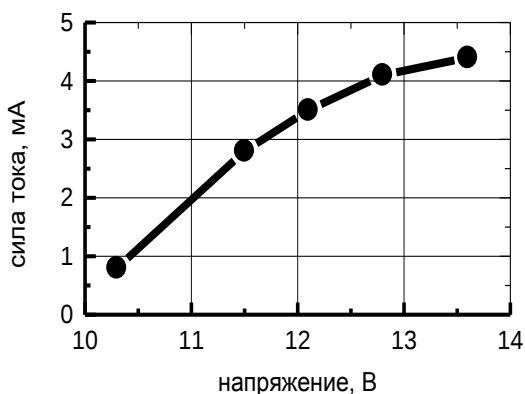
1. Оси и подписи по осям (оси и подписи к ним займут примерно по одному сантиметру).
2. Сам график – все точки, с указанием погрешностей – должны поместиться в область, определенную осями.
3. Подпись к графику.
4. Поля (1 - 5 см).



Графики к лабораторным работам желательно строить на листе бумаги, формата А4 (210-297 мм – лист писчей бумаги) или А5 (половина этого листа). Лист должен быть максимально заполнен, но все должно поместиться, и остаться поля – в соответствии с этим выбираем масштаб.

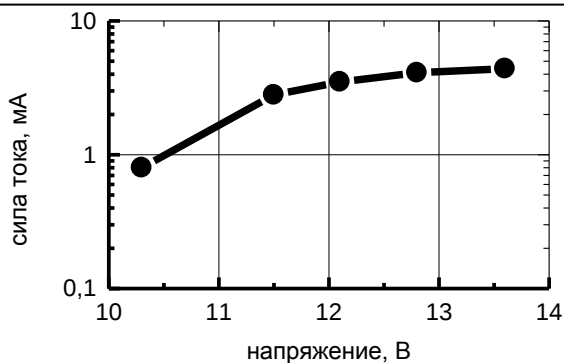
Виды масштабов:

Равномерный масштаб

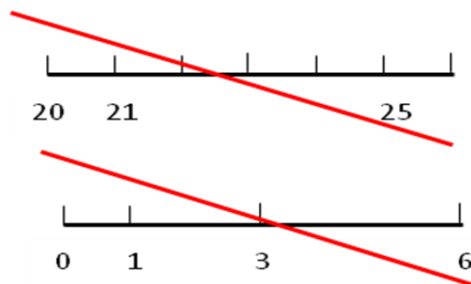


Функциональный масштаб (стр.11)

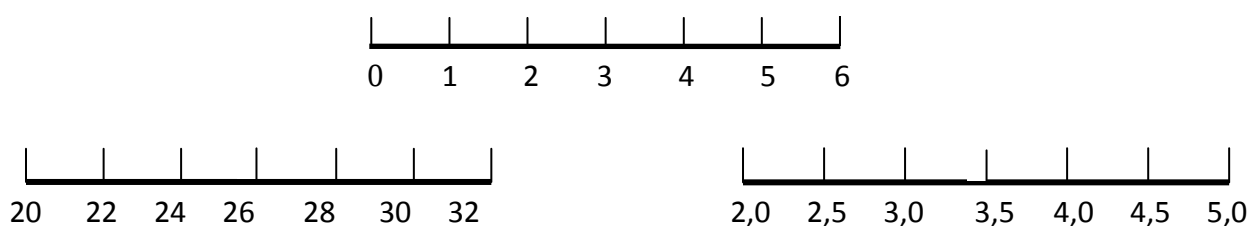
например, логарифмический по оси Y



Если масштаб равномерный, координатные штрихи и масштабные числа расставляются равномерно.



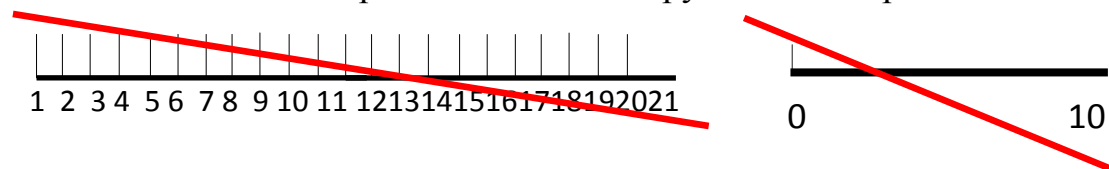
Ось - ваша рабочая линейка. По ней должно быть удобно считывать значения. На осях обычно делают 5 – 10 рисок, рядом с рисками наносят их числовые значения. **Измеренные значения на шкалы не наносят.**



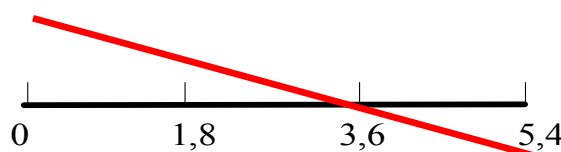
Масштаб выбирают удобным для считывания, он сохраняется на всей оси. Обычно выбирают числа, кратные 10 (1), 2, 5, по возможности целые. Числа, кратные 3, 4, 6, 8, 12 и т.д., не используются в качестве масштабных отрезков. **На миллиметровой бумаге за координатный отрезок** выбирают такой отрезок, чтобы считать значения можно было без дополнительных расчетов: **1; 2; 5 см** (допускается 2,5 см). Дополнительные деления тоже должны быть удобны для работы:



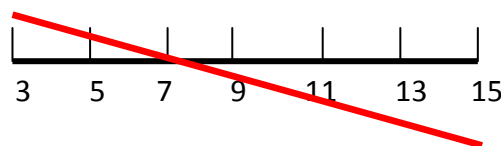
Примеры распространенных ошибок при выборе масштабов:
Слишком частые или редкие деления затрудняют восприятие:



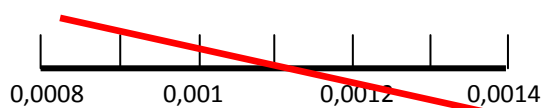
Масштаб не удобен для работы



Если масштаб кратен 2, то и масштабные числа должны быть кратны 2 (если масштаб кратен 5, то и числа должны быть кратны 5 и т.д.)

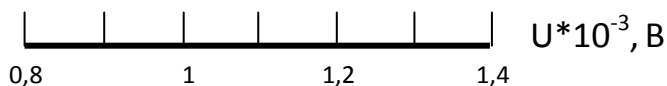


Чтобы не писать нули, повторяющиеся во всех цифрах, множитель выносят к единицам измерения (**кратный 10^3**) или к обозначению измеряемой величины:



во всех приведенных на рисунке вариантах масштаб одинаковый.

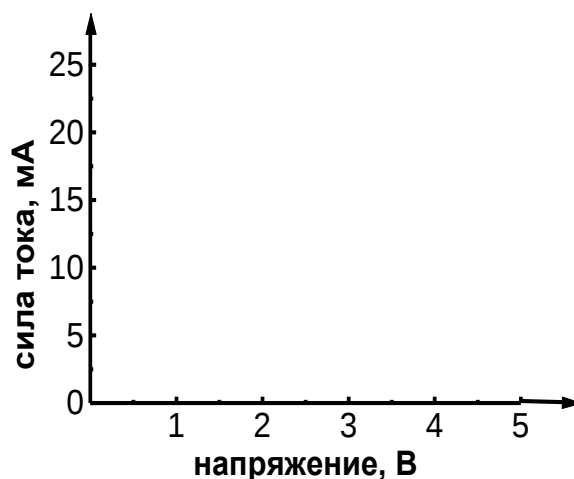
Предпочтительно использовать второй или первый вариант.



На осях должны быть обозначены изображаемые переменные величины и их единицы измерения. Их принято обозначать:

1. **Наименованием** или наименованием и символом, то есть непосредственно написать словами, что отложено по осям. Единицы измерения пишут после наименования, через запятую.

Располагают надпись *вдоль оси, по центру*.



2. Символом (R , C , U).

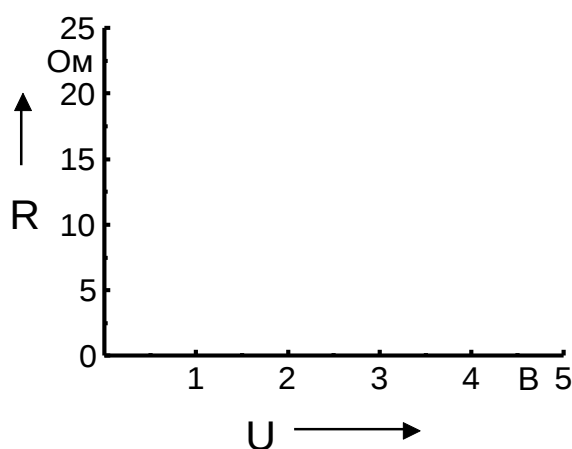
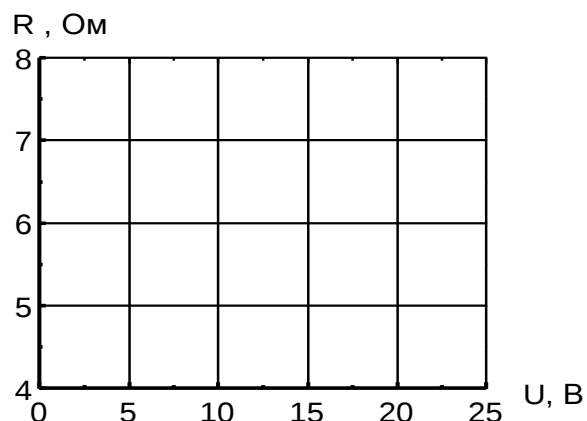
Символ можно поставить:

в конце шкалы; единицы измерения обозначить сразу после символа через запятую;

в центре шкалы перед стрелкой.

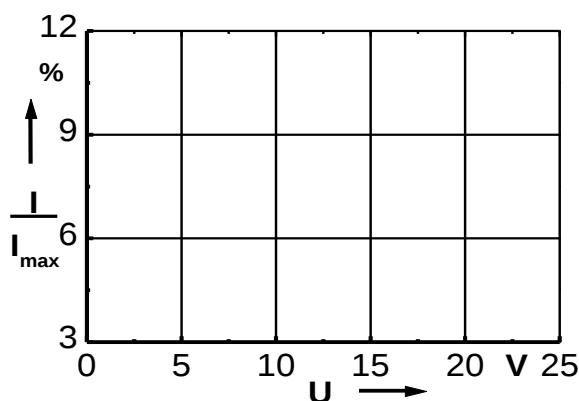
Стрелки на осях ставить не надо.

Единицы измерения наносят между последним и предпоследним значением шкалы (или, если обозначение не помещается, вместо предпоследнего деления).



3. Математическим выражением

(например, $\sin(\omega t)$, $I/I_{\max}$) - по центру шкалы.



Обозначения в виде символов и математических выражений следует располагать *горизонтально*.

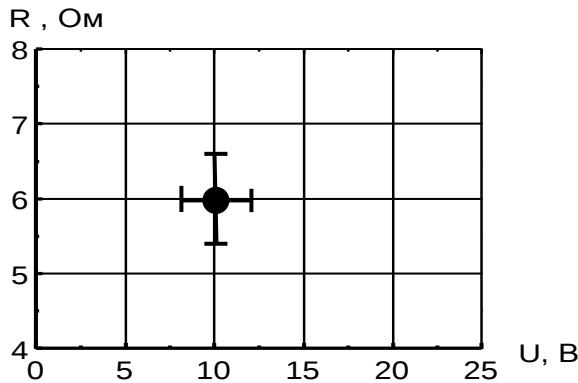
По разным осям можно использовать различные обозначения

Нанесение экспериментальных точек.

Экспериментальные точки являются главным содержанием графика, поэтому они должны быть показаны максимально четко и крупно. Если на графике показаны несколько наборов точек, соответствующим разным

величинам или разным условиям эксперимента, каждый набор нужно показать своими символами (кружки, крестики, квадраты и т.д.).

Погрешности измерения каждой точки указываются отрезками, длина которых равна величине ошибки.



Например, на рисунке
нанесена точка:
 $U = 9 \pm 2 \text{ В}$,
 $R = 6,0 \pm 0,7 \text{ Ом}$.

В некоторых случаях (обычно определенных постановкой задачи), допускается не наносить на граничные точки погрешности полностью. Например: доля отраженной энергии при отражении света от стекла $100 \pm 2 \%$. Более 100 % света отразиться не может. Поэтому эту точку можем нанести на границу области построения графика и указать ошибку только « $\leftarrow$ ».

Построение линии функциональной зависимости по экспериментальным точкам.

Поскольку измерения были проведены с погрешностями, то нельзя соединять отрезками нанесенные точки или проводить кривую точно по точкам: надо провести плавную кривую (наиболее простой формы) в пределах ошибок измерений. При этом придерживаются следующих правил:

1. Если известна теоретическая зависимость – построить ее на графике (провести аналогичную кривую через экспериментальные точки). В подписи к графику обязательно укажите, что кривая – это теоретическая зависимость (указать, какая).
2. Если теоретическая зависимость не известна, кривая должна быть как можно более простой (как можно меньше минимумов и максимумов, перегибов). Если возможно – проведите прямую (прямая – самая простая кривая). Каждый максимум и минимум на кривой, и даже каждый ее перегиб – это целое физическое явление (и каждое это явление вам придется объяснить).

Пример построения графика

Таблица 1. Вольтамперная характеристика резистора R3.

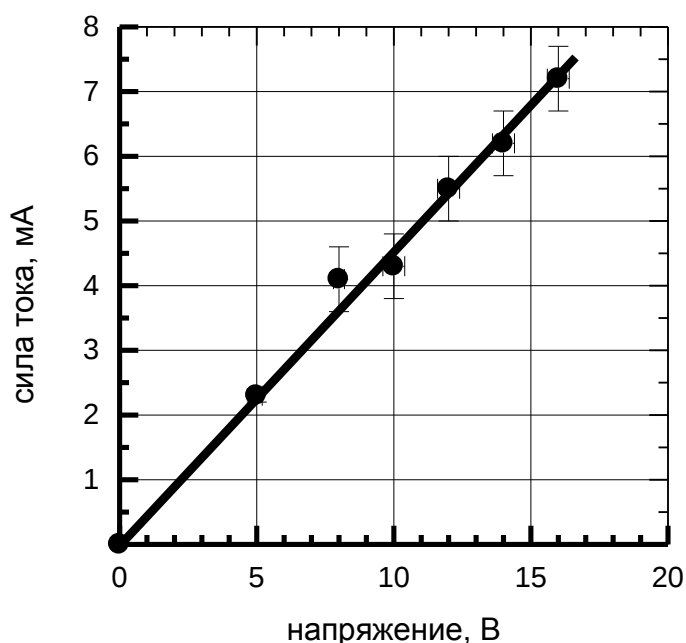
N	U, В	ΔU , В	I, мА	ΔI , мА
1	0	0,2	0	0,1
2	5	0,2	2,3	0,1
3	8	0,2	4,1	0,5
4	10	0,4	4,3	0,5
5	12	0,4	5,5	0,5
6	14	0,4	6,2	0,5
7	16	0,4	7,2	0,5

1. Определяем масштаб и размер графика, строим оси:

Ось X: напряжение U изменяется от 0 до 16 В: «удобные», «круглые» числа для оси выбираем: от 0 до 20, сетка через 5 В (все помещается, пустого места нет). На миллиметровой бумаге удобно взять за масштабный отрезок «5 В» 2,5 см (или 5 см, если позволит размер листа).

Ось Y: для силы тока I выбираем ось от 0 до 8 мА, сетку наносим через 1 мА. На миллиметровом листе удобно взять за «1 мА» 1 см (или 2 см).

2. Обозначаем переменные величины и их единицы измерения.
3. Наносим точки и погрешности измерений.
4. Строим кривую в пределах погрешностей измерений (по теории – прямую).
5. Подписываем график.



Вольтамперная характеристика резистора R3
(задача 2, упр.4).

Практическое задание.

По полученному на занятии варианту задания построить график на листе миллиметровой бумаги формата А4, расположенном вертикально.

Масштаб следует выбирать так, чтобы кривые не были слишком растянуты по одной из осей, поэтому область построения графика должна быть примерно квадратная. График подписывают обычно снизу (посмотрите примеры в журнале, книге) – на это требуется некоторое место. Поэтому вертикальное положение листа – стандартное (но не обязательное). В данном задании вертикальное положение листа обязательно.

Масштаб выбирают удобный для считывания по осям, так, чтобы все точки с учетом погрешностей помещались в область, определенную осями.

Масштаб выбирают так, чтобы была использована максимальная площадь листа, но требование удобства считывания – главное (см. стр. 4, 5).

Все варианты данного задания выполняются без разрывов осей. Разрыв оси искажает вид графика: теряется самое ценное – наглядность представления. Поэтому разрывы используют только там, где это действительно необходимо.

Если в данных, по которым строиться график, есть положительные и отрицательные значения, ось проходит только через «0»! Подписать масштабные деления можно рядом с осью или, чтобы не загромождать график, внизу (слева) сетки. Если все данные одного знака, ось может начинаться не с «0», а с «удобного» значения (чтобы не было больших пустых мест).

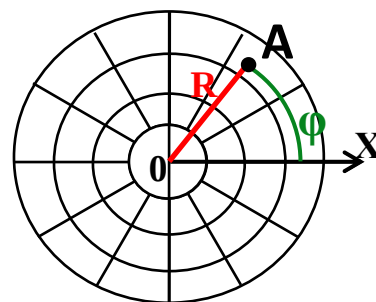
Весь график, в том числе и подписи, выполняйте **карандашом**. Ваш первый график рекомендуем выполнить тонкими линиями, показать преподавателю, обсудить, исправить ошибки, если они есть. После этого обвести ярко по всем правилам. Все **надписи** должны быть достаточно крупными – **4-5 мм**, легко читаемыми – выполненные печатными буквами (желательно, чертежным шрифтом). **В конечном итоге график должен быть ярким и контрастным (но не грязным).**

В подписи к графику, кроме самой подписи (зависимость ... при таких-то условиях), напишите № варианта, свою фамилию, № группы.

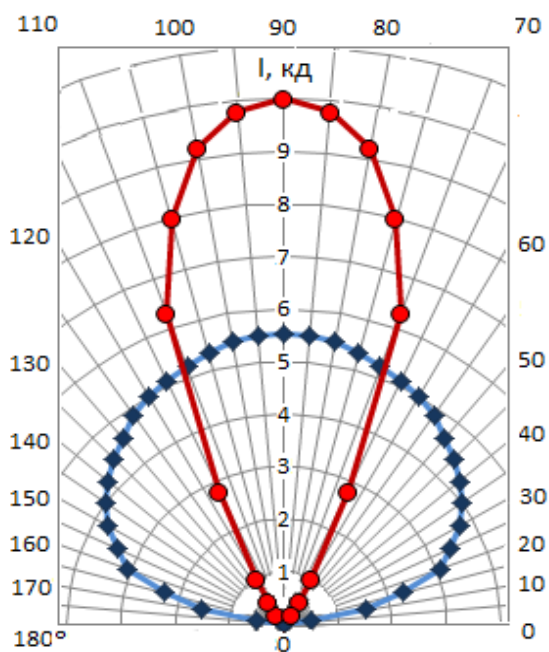
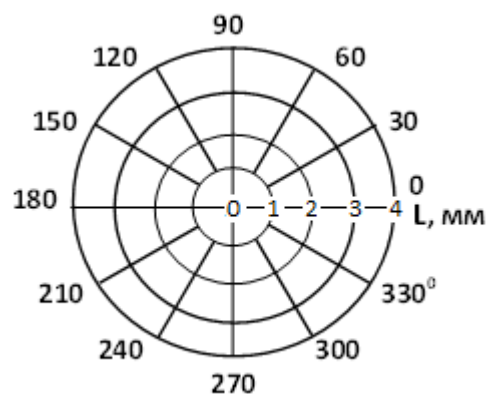
Приложение.

1. Полярная система координат.

Полярные координаты точки A на плоскости – это два числа, определяющие ее положение относительно полюса «0» и фиксированного луча, исходящего из полюса, – полярной оси. Полярная ось OX (начало отсчета углов) должна находиться на горизонтальной или вертикальной линии (чаще всего за начало отсчета углов берут положительное направление оси X прямоугольной системы координат). Положительное направление угловых координат соответствует вращению против часовой стрелки. Первая полярная координата – полярный радиус – расстояние от этой точки до полюса – R . Вторая полярная координата – полярный угол – φ .



Построение полярной координатной сетки начинают с изображения двух взаимно перпендикулярных прямых с центром пересечения в полюсе «0». Одну из этих прямых принимают за равномерную координатную ось значений полярных радиусов и наносят сетку полярных радиусов в виде concentрических окружностей с центром в полюсе. Цифровые значения наносят на ось в разрыв линий, обозначение переменной величины и единиц измерения ставят в конце шкалы (в поле диаграммы или за полем). Для отсчета полярных углов наносят прямые, проходящие через полюс. Угловым интервал этих прямых в зависимости от масштаба и удобства отсчета обычно составляет $10 - 30^\circ$. Обозначения «градусы» наносят только на последней цифре.



Полярная диаграмма зависимости силы света от направленности излучения светодиодов полусферической $\blacklozenge$ и параболической $\bullet$ форм.

Поле координатной сетки может быть ограничено окружностью максимального полярного радиуса или прямоугольником.

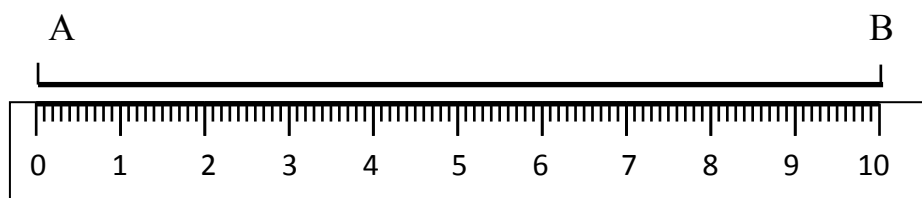
2. Функциональный масштаб.

Функциональная шкала строится таким образом:

Возьмем функцию $Y = f(X)$ и вычислим значения этой функции для ряда значений аргумента X : 0, 1, 2, 3, ... Получим соответствующий ряд значений функции: $Y_0 = f(0)$, $Y_1 = f(1)$, $Y_2 = f(2)$, ... Выберем длину единичного отрезка для измерения Y (модуль шкалы). Полученные значения $Y_{Xi} = f(X_i)$ отложим на прямой в выбранном масштабе, а деления обозначим соответствующим значением аргумента.

Для примера рассмотрим построение логарифмической шкалы (наиболее распространенной из всех функциональных шкал): $Y = \log(X)$.

Выбираем масштаб по Y : единичный отрезок (AB) возьмем, например, 100 мм,



и откладываем значения Y от точки А, которую принимаем за начало шкалы. Напротив точек деления (штрихов) ставим соответствующие значения X . Получаем логарифмическую шкалу:

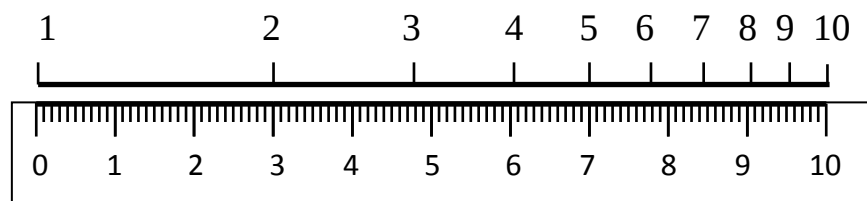


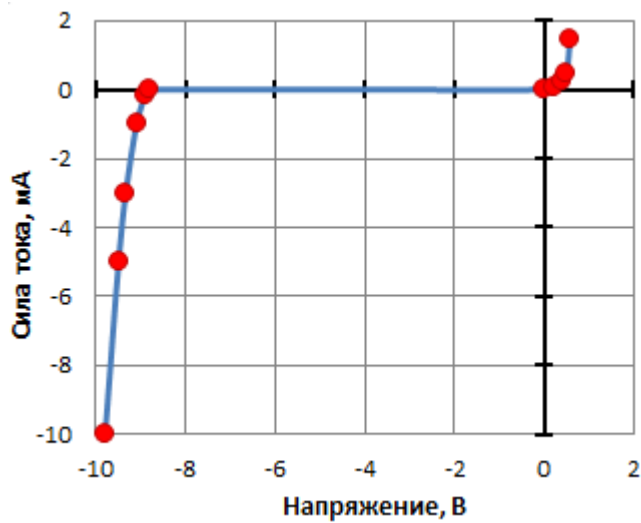
Таблица 2.

X	$Y = \log(X)$
1	0
2	0,3010
3	0,4771
4	0,6021
5	0,6990
6	0,7782
7	0,8451
8	0,9031
9	0,9542
10	1

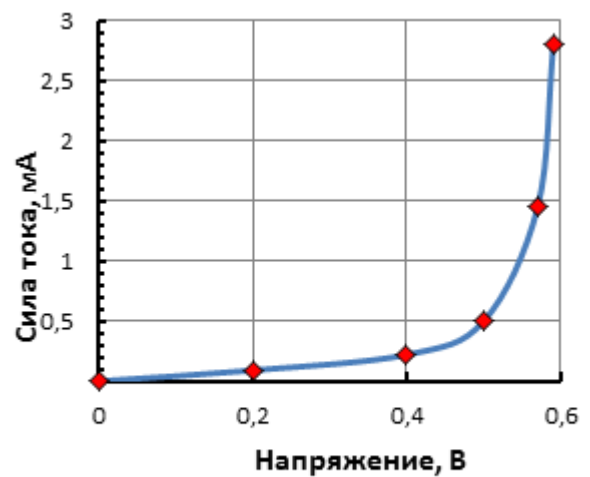
По логарифмическим шкалам строят логарифмические сетки (когда обе оси имеют логарифмические шкалы) и полулогарифмические сетки (одна из осей имеет логарифмическую шкалу, а по другой оси – равномерная шкала).

3. Разрывы по осям.

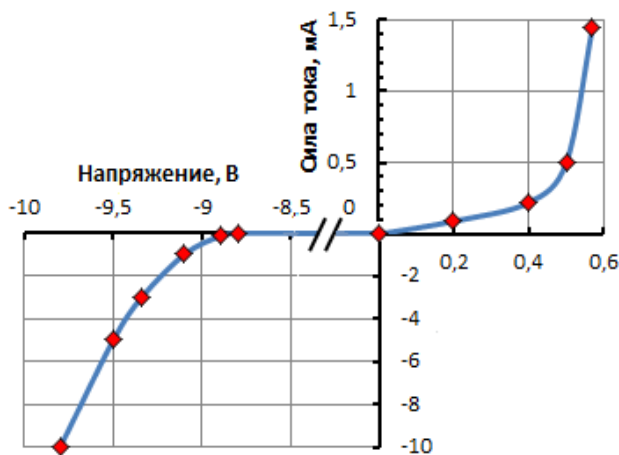
После разрыва оси (или при переходе через «0») можно поменять масштаб оси. **Разрывы по осям используют только там, где это действительно необходимо, потому, что разрыв оси искажает вид графика.** Если же надо более детально рассмотреть какую-либо часть графика, то, как правило, делают два графика: рисуют весь процесс целиком, и часть его на отдельном рисунке в более крупном масштабе.



Вольтамперная характеристика стабилитрона

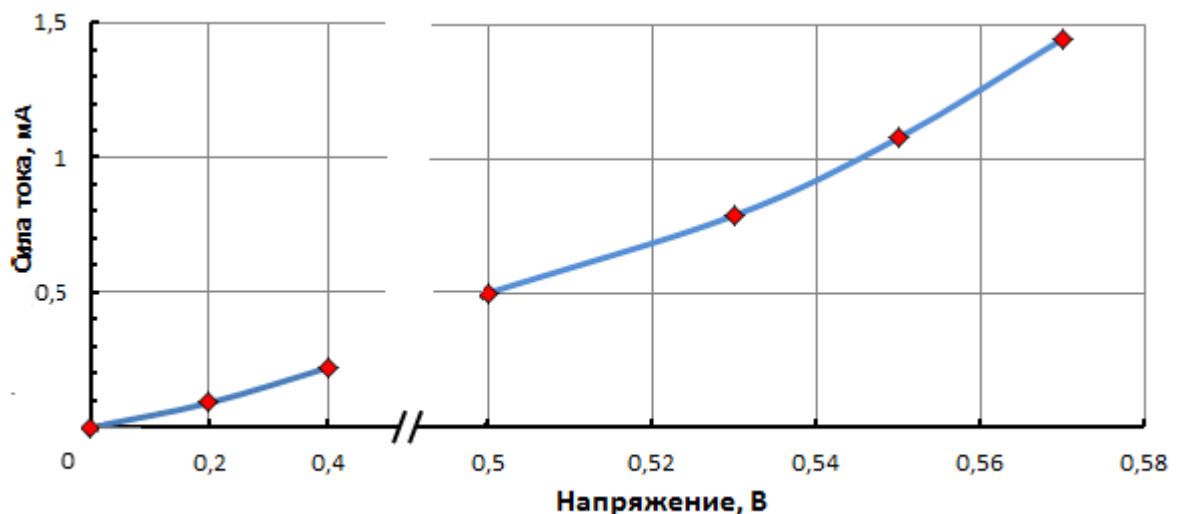


Вольтамперная характеристика стабилитрона, прямая ветвь.



Разрывы по осям надо использовать очень аккуратно. Например, если нам хорошо известен общий вид зависимости, то можно, используя разрыв, более детально изобразить информативные части графика.

В примере, приведенном ниже, видно, что кривая, после использования разрыва и изменения масштаба, стала почти прямой. Мы потеряли суть физического процесса: то, что зависимость $I(U)$ существенно нелинейная. Этот пример – неудачное использование разрывов на оси.



Вольтамперная характеристика стабилитрона, прямая ветвь.

4. Построение графика в компьютерном редакторе Excel 2010.

Существуют стандартные графические редакторы. Как правило, они рассчитаны на широкую аудиторию пользователей и имеют обширные возможности. Есть и руководства для освоения этих редакторов. Но универсальность использования и большие возможности часто затрудняют выполнение конкретной задачи. Данное руководство предназначено для студентов физфака МГУ для построения графиков при выполнении ОФП, курсовых и дипломных работ. Графики, построенные по этим правилам, можно публиковать в научных журналах.

В научной среде используются различные редакторы для построения графиков, например, Microsoft Office Excel и Origin. В руководстве будет рассмотрен пример построения графика в Excel 2010.

Построение графика в редакторе Microsoft Office Excel 2010.

Таблица 1. Зависимость температуры стандартной атмосферы от высоты.

	Н, м	ΔH , м	t, град С	Δt , град С
1	0	10	15	0,5
2	1000	100	8,5	0,5
3	2000	100	2	0,2
4	3000	100	-4,5	0,2
5	4000	100	-11	0,5
6	5000	100	-17,5	0,5

Задание:

Построить зависимость температуры стандартной атмосферы от высоты.

Переменные величины обозначить:

по оси X – символом со

стрелкой,

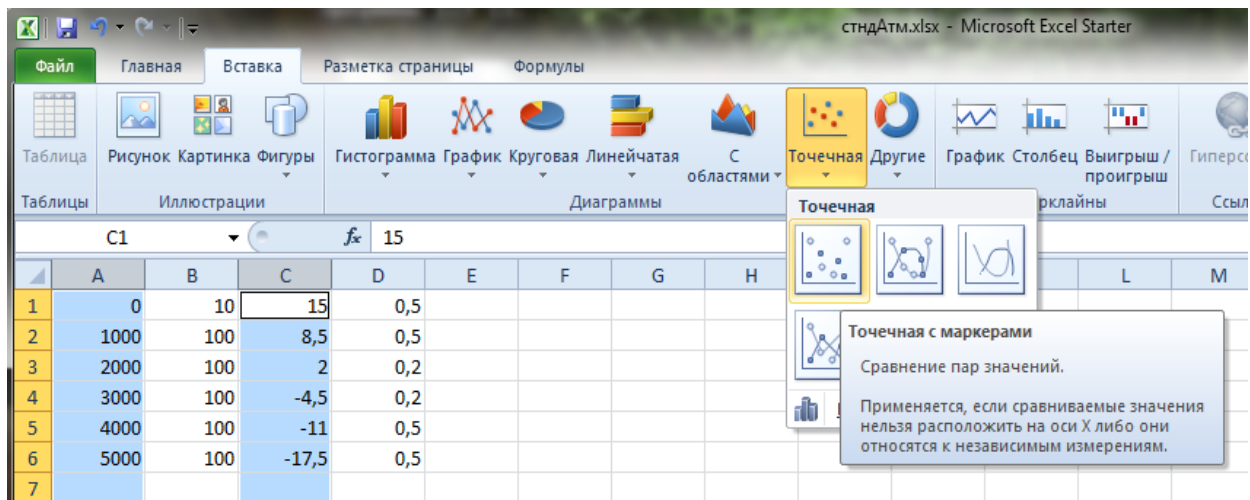
по оси Y – символом в конце шкалы.

Выполнение:

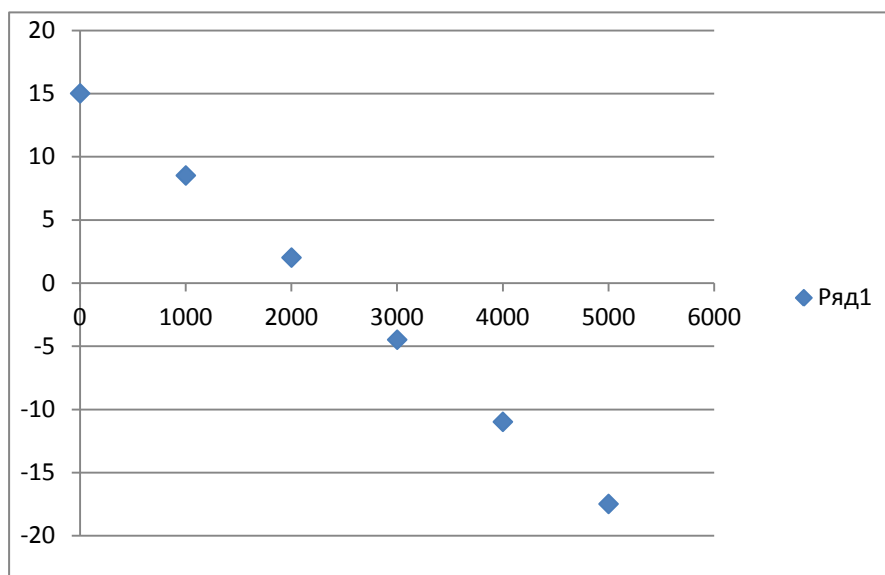
Набрать таблицу данных, выделить столбцы значений «X» и «Y».

Это можно сделать, например, так: подвести курсор к заголовку столбца и щелкнуть левой кнопкой мыши. Столбец значений станет выделенным. Подвести курсор к заголовку другого столбца, нажать кнопку «ctrl» и щелкнуть левой кнопкой мыши: оба столбца значений станут выделенными.

Выбрать закладку «Вставка» главного меню, «Диаграммы», «Точечная».



По данной таблице будет выдан график:

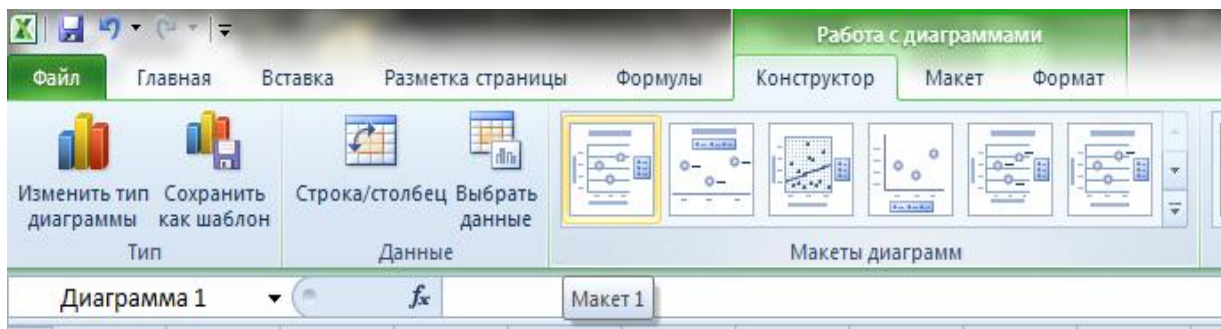


Полученный график необходимо отредактировать.

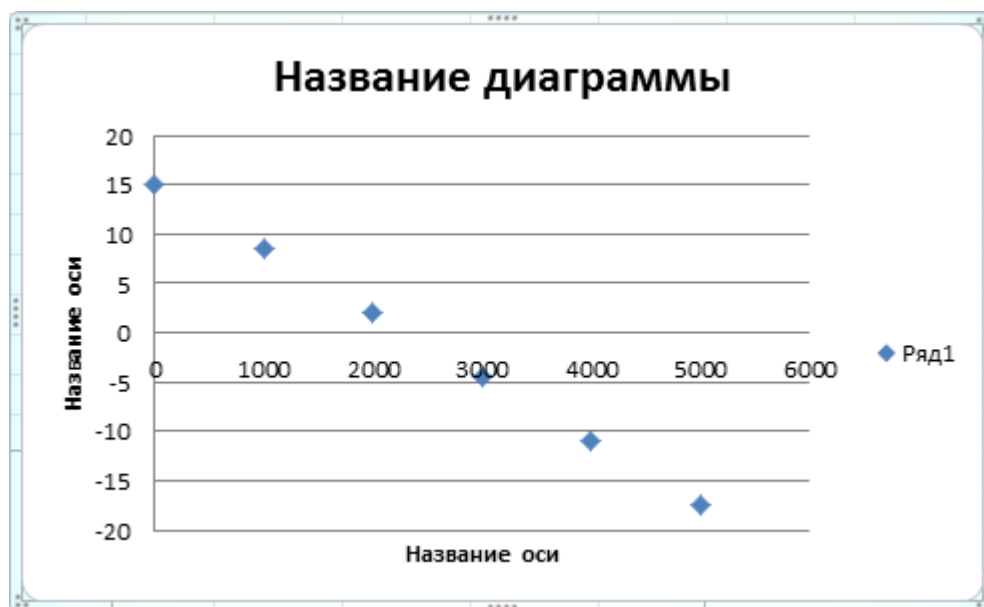
Это можно сделать разными способами. Но итог – конечный график – должен быть построен по всем правилам (см. конечный результат – с. 8 и с. 21): используется координатная сетка, на осях обозначены переменные величины и их единицы измерения, отмечены погрешности измерений, в пределах погрешностей проведена плавная кривая.

Пример редактирования графика.

1. **Выберите макет диаграммы.** Для этого из основного меню выберите «Конструктор», из раздела «Работы с диаграммами», макет (например, 1).

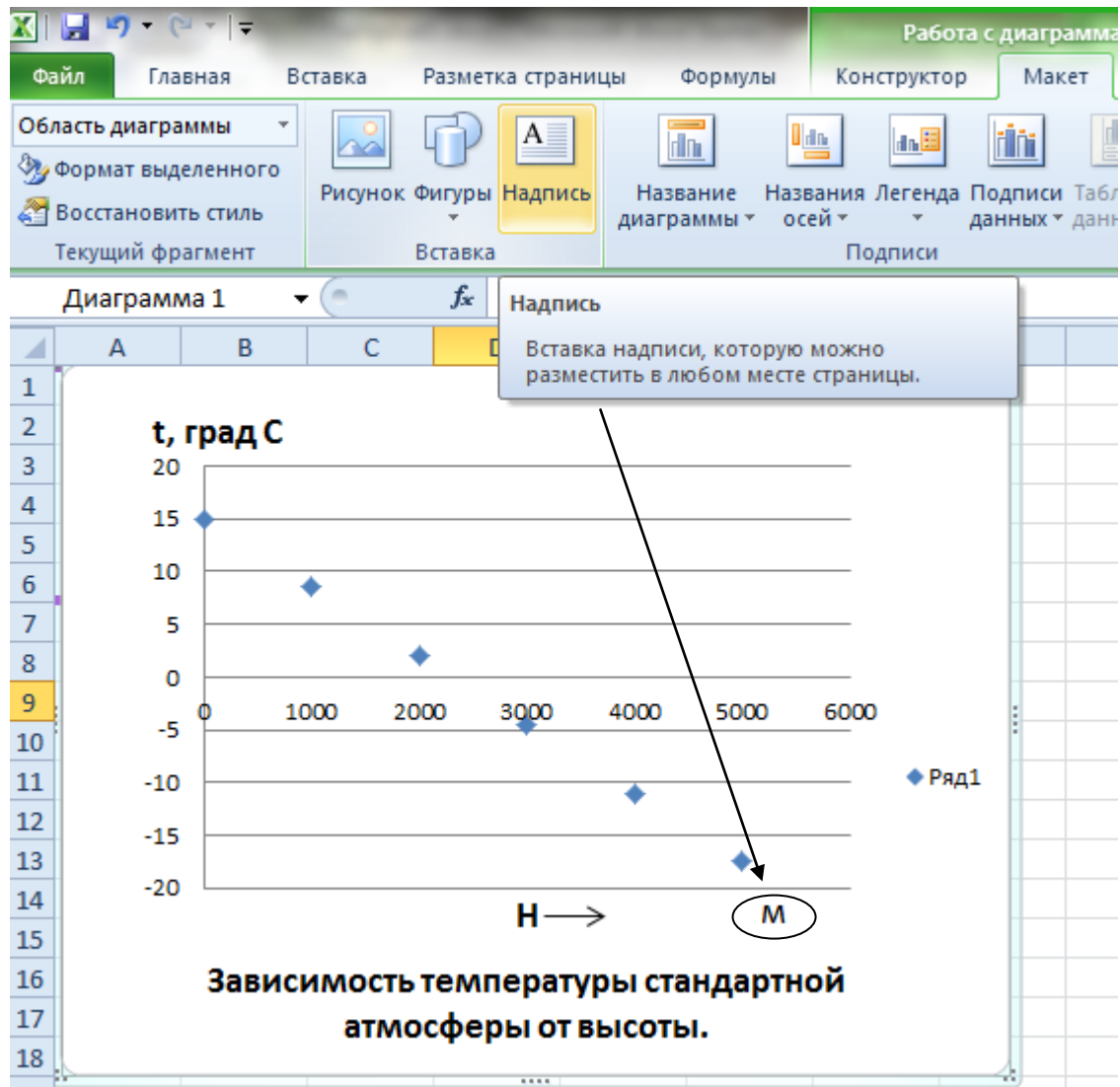


2. **Подпишите оси и название графика.** Для этого надо выделить соответствующую надпись и вместо «Названия ...» набрать необходимую информацию. Размер шрифта регулируется так же как в «Word» (в нашем примере выбрано 14).

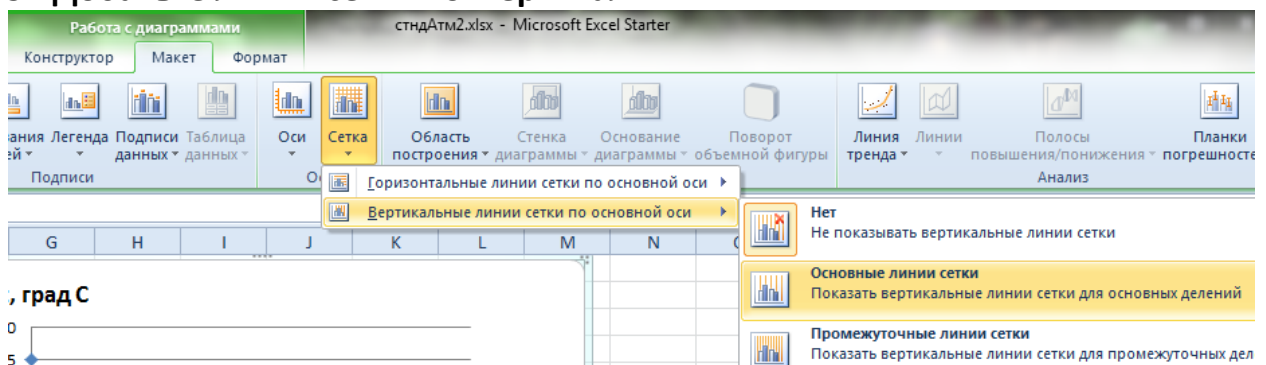


Чтобы подпись была внизу графика, переместите ее с помощью мыши вниз (выделить надпись и, удерживая кнопку мыши нажатой, переместите надпись). Область построения диаграммы надо, соответственно, переместить вверх.

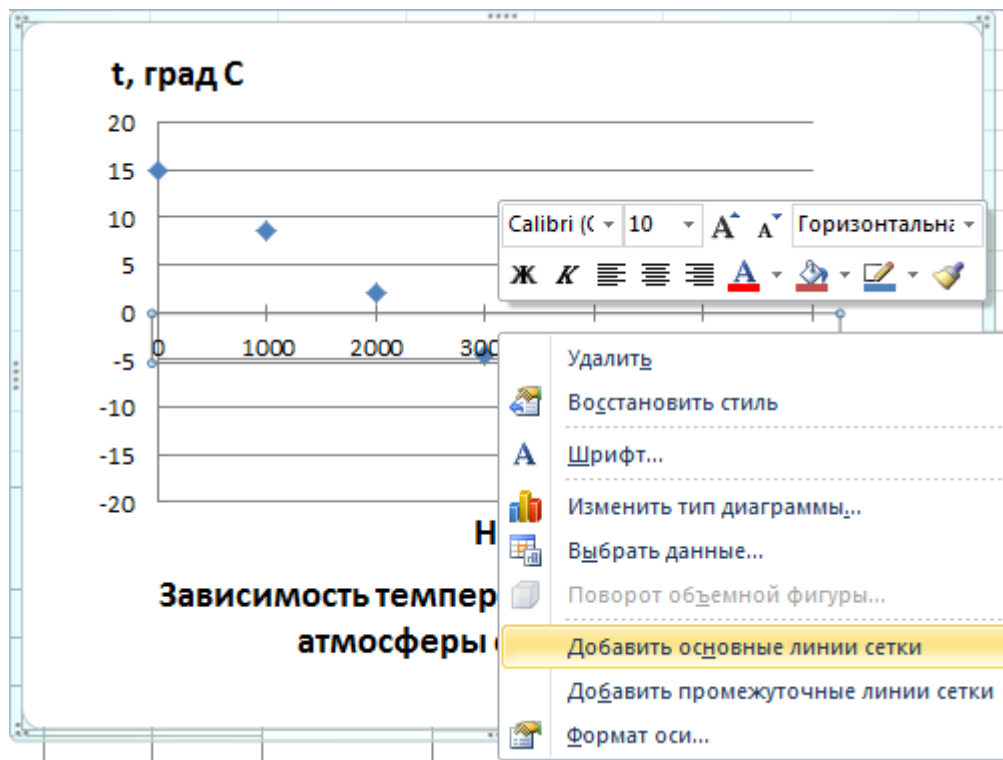
Единицы измерения по оси X при заданном обозначении принято проставлять между последним и предпоследним значениями шкалы. Если не хватает места между числами, то единицы измерения ставятся вместо предпоследнего числа на шкале. В нашем примере проставим единицы измерения, используя текстовую вставку «Надпись».



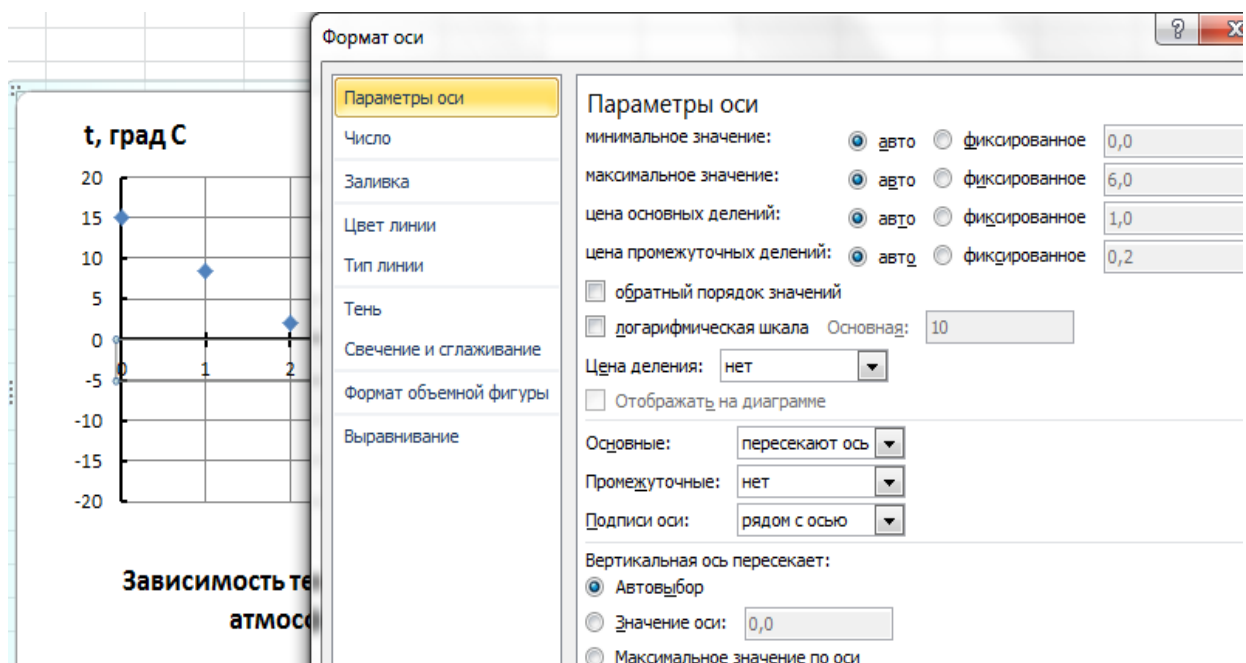
3. Добавьте линии сетки по вертикали.



- 1 способ. Из главного меню выберите «Работа с диаграммами», «Макет»; «Сетка»: «Основные линии сетки. Показать основные линии сетки для основных делений».
- 2 способ. Подведите курсор к оси «Х» (должна появиться надпись «Горизонтальная ось»), щелкните правой кнопкой мыши, появится всплывающее меню, в нем выбрать «Добавить основные линии сетки».



4. **Редактирование осей.** Если выбрать последний пункт всплывающего меню «Формат оси» (см. предыдущий рис.), откроется окно для редактирования оси (той, которая выделена, в примере «X»). В этом окне можно поменять масштаб графика (нас устроил предложенный по умолчанию), повернуть масштабные деления внутрь графика, выбрать расположение оси.



Можно оставить подпись делений оси X рядом с осью. Но чтобы не загромождать поле диаграммы, лучше подпись делений перенести вниз сетки: «Формат оси», «Параметры оси» (см. рис.), «Подписи оси» выбрать «внизу».

На закладке «Цвет линии» выберите черный цвет.

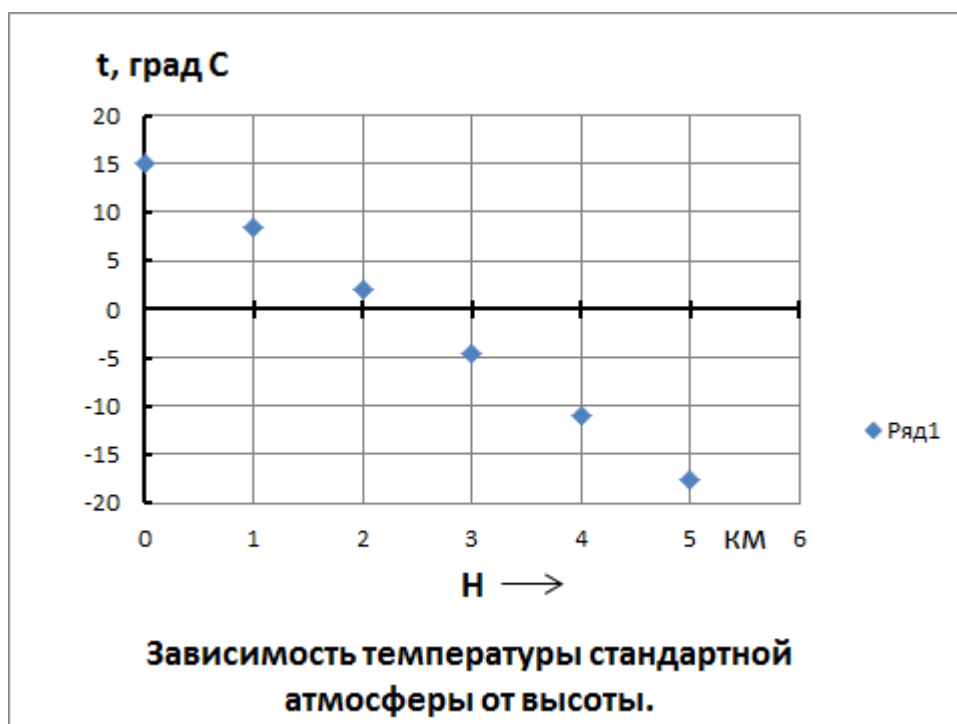
На закладке «Тип линии» выберите ширину линии 1,5 пт.

Аналогично поменяйте цвет и толщину линии для оси Y.

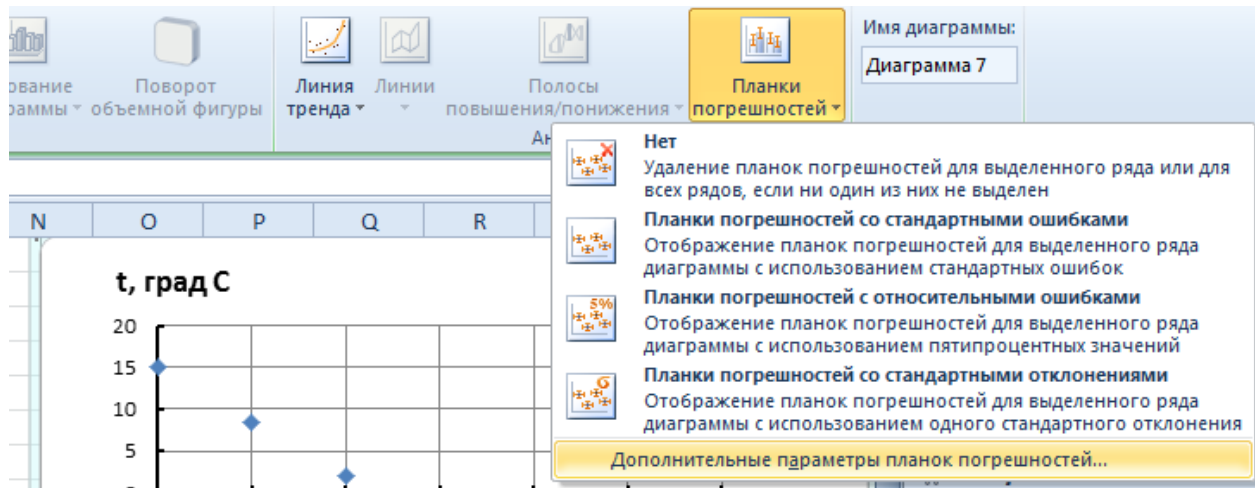
*Чтобы отредактировать какой-либо объект, надо **открыть окно редактирования**: навести на объект курсор, щелкнуть правой кнопкой мыши, в появившемся всплывающем меню выбрать «Формат (объекта)». Если у Вас уже открыто окно редактирования, но надо отредактировать другой объект, выделите нужный Вам объект (наведите на него курсор и щелкните левой кнопкой мыши), окно редактирования поменяется – настроится на выделенный объект (проверьте заголовок окна).*

Другой способ редактирования – через главное меню: «Работа с диаграммами»: «Конструктор», «Макет», «Формат».

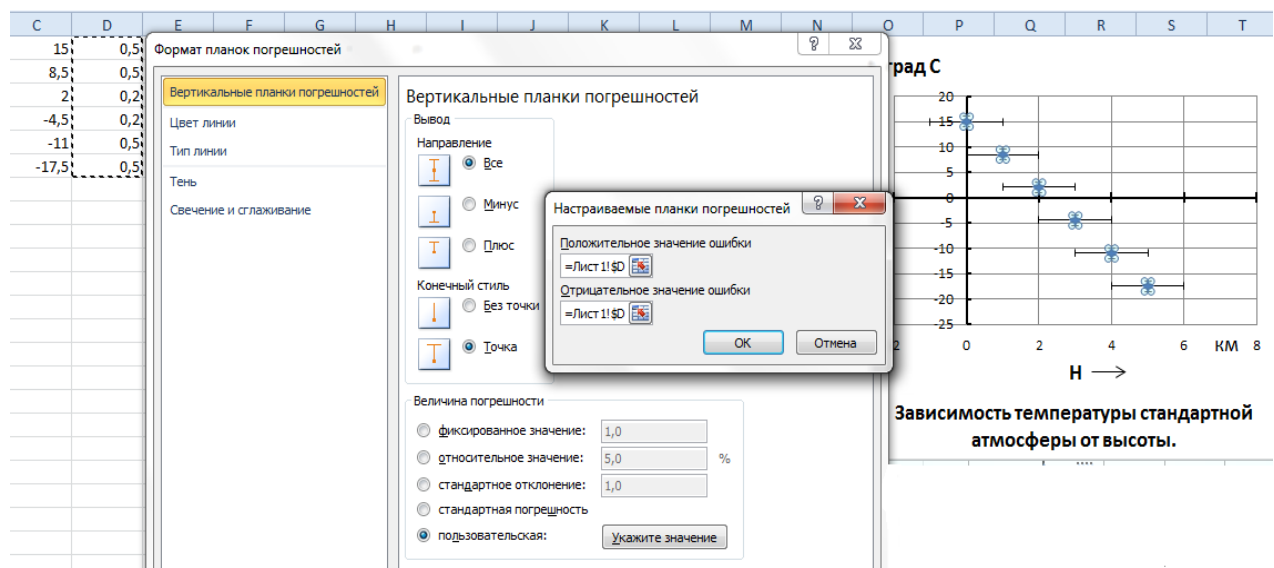
В подписи делений оси X надо вынести множитель (10^3 м или км).



5. **Добавьте погрешности к точкам.** Из главного меню выберите «Работа с диаграммами», «Макет»: «Планки погрешностей», «Дополнительные параметры планок погрешностей».



В открывшемся окне можно выбрать способ указания погрешностей. Величину погрешности можно взять из таблицы. Для этого выберите: «Величина погрешности» «пользовательская», нажмите кнопку «Укажите значение». Откроется еще одно окно «Настраиваемые планки погрешностей».

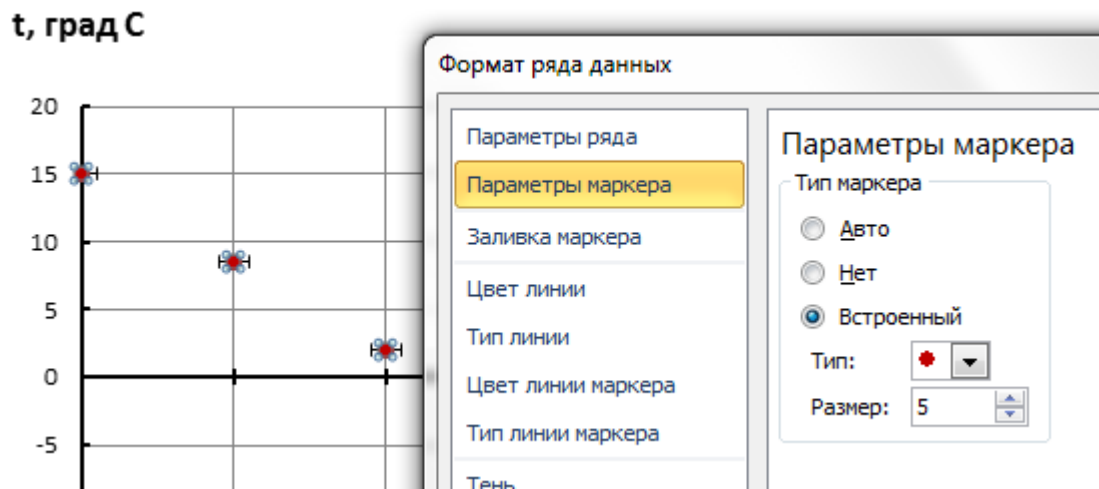


Обратите внимание, на графике появились какие-то значения погрешностей, при этом погрешности по оси Y выделены. Значит, будем редактировать их:

переместим курсор на значения погрешностей Y в таблице – столбец D и выделим значения с первого до последнего (для положительных и отрицательных значений погрешности вводим по отдельности).

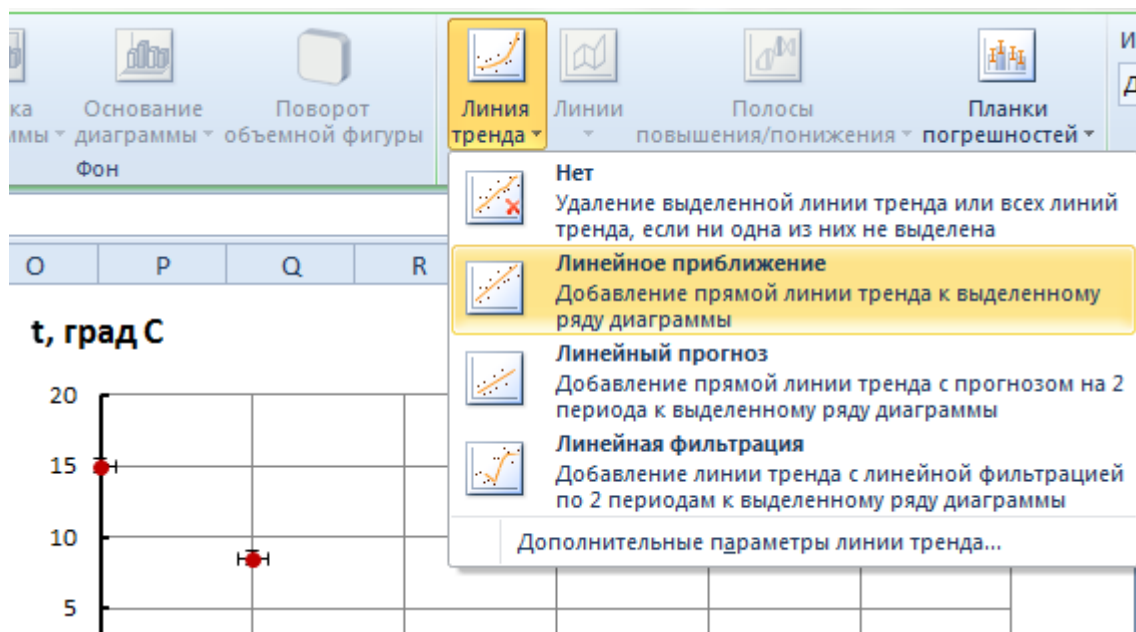
Аналогично укажите и погрешности по оси X (выделите горизонтальные планки погрешностей и в окне редактирования введите значения столбца B).

6. Можно изменить внешний вид точек (форму, цвет, размер). Для этого выделите точки данных и настройте их вид через окно редактирования.



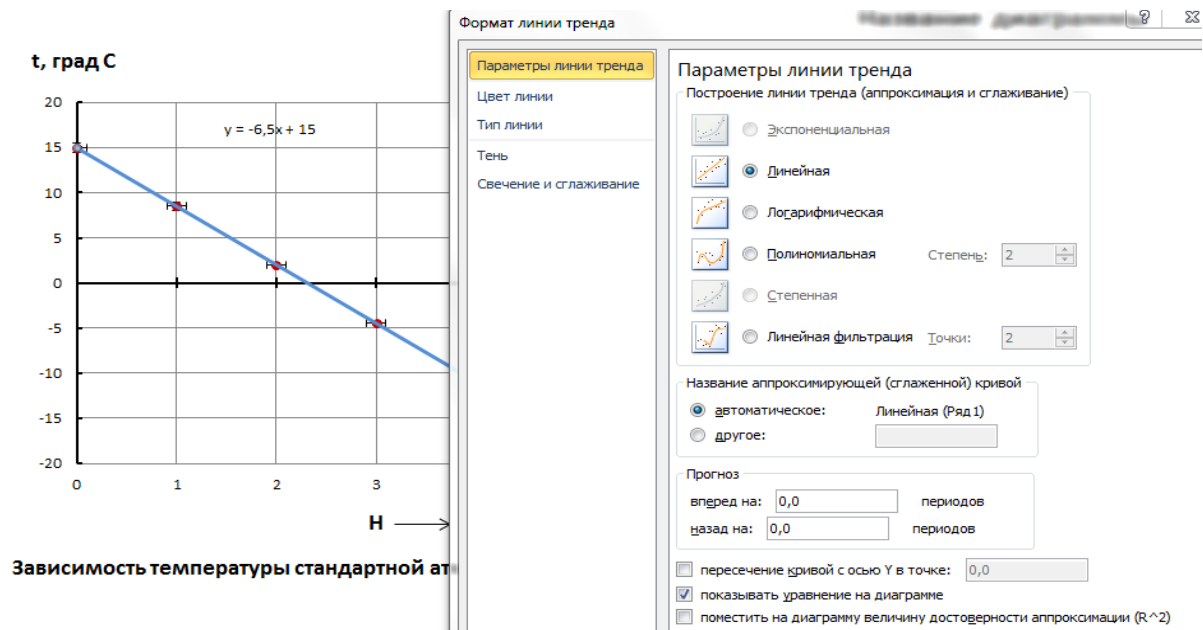
7. Провести линию функциональной зависимости через нанесенные на график точки. Для этого воспользуемся «Линией тренда» из главного меню «Работа с диаграммами», «Макет».

Линия тренда – основная тенденция изменения ряда (trend – тенденция – англ.), она может быть описана различными уравнениями: линейными, логарифмическими, степенными и т.д.

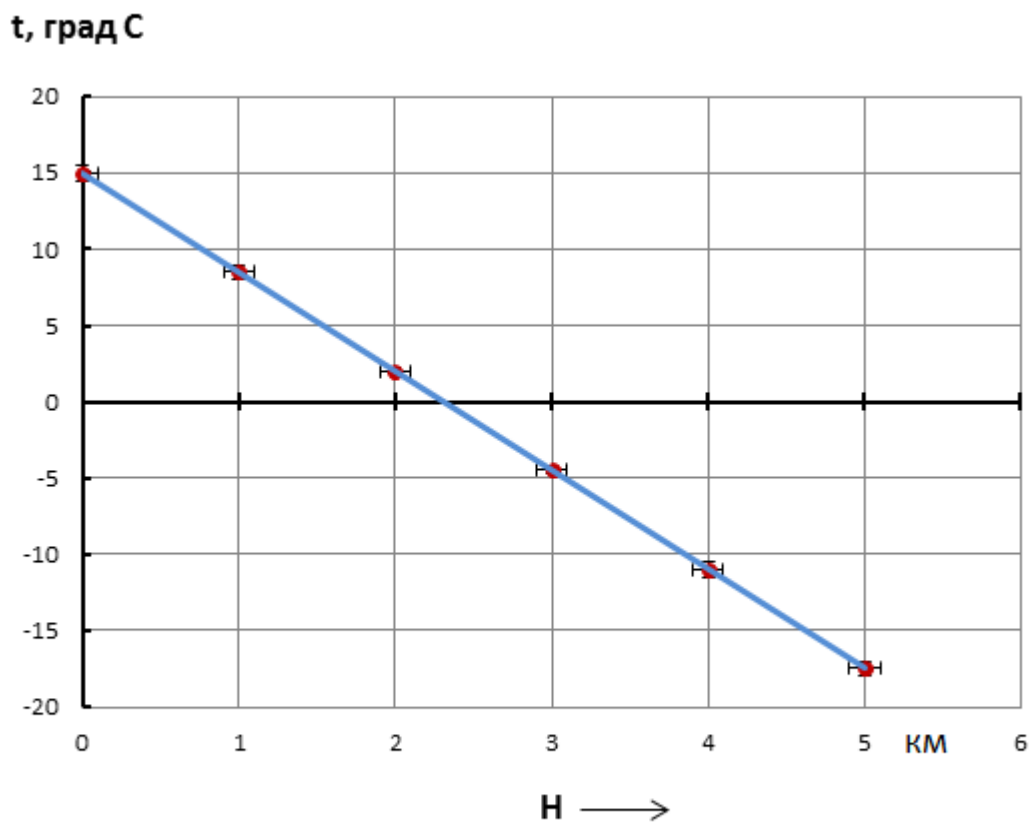


В примере, очевидно, надо использовать линейное приближение. После того, как линия проведена, ее можно отредактировать (цвет, толщина линии). На закладке «Параметры линии тренда» можно попросить показать уравнение линии тренда. **Как правило, в графических редакторах оценка параметров проводится методом МНК без учета погрешностей! Этого достаточно, чтобы провести линию на графике,**

но нельзя использовать для расчёта каких-то либо величин с погрешностями!



Окончательный вид графика:



Зависимость температуры стандартной атмосферы от высоты.

5. Примерная схема оформления задачи практикума:

Задача №... . Название задачи.

Теоретическая часть (конспект): цель задачи, схема установки, теоретические основы (из описания задачи и рекомендованной литературы).

В конспекте должно быть самое основное (цель, методы ...), он не должен быть излишне подробным. По тому, что Вы выбрали, что в задаче основное, преподаватель делает предварительную оценку Вашей подготовки к работе:

- слишком подробный конспект = не вникая в суть дела, переписали все;
- конспект не большой, но не связный логически, какие-то вопросы не освещены = задачу не поняли или случайным образом выбрали материал.

Окончательная оценка подготовки к задаче ставится после беседы: даются рекомендации: лучше учить теоретический материал или учиться излагать мысли и научный материал – вести лабораторный журнал.

Упражнение 1. Название упражнения.

Кратко описать, что выполняете в упражнении, если необходимо, зарисовать схему установки для данного упражнения.

Практическое выполнение: Измерения заносить в таблицы.

Таблица № Название таблицы.

N	Измеряемые величины, погрешности измерений					
1						
2						
...						

Обработка результатов: Расчеты косвенных измерений, расчеты всех погрешностей: обязательно записать расчетную формулу, числа, подставленные в эту формулу. Если много однотипных расчетов (по одной формуле), привести расчет один раз.

Графики.

Упражнение 2. Название упражнения.

...

Итоги работы: Полученные результаты: ...

Выводы: например, сравнить полученные Вами результаты со справочными данными.