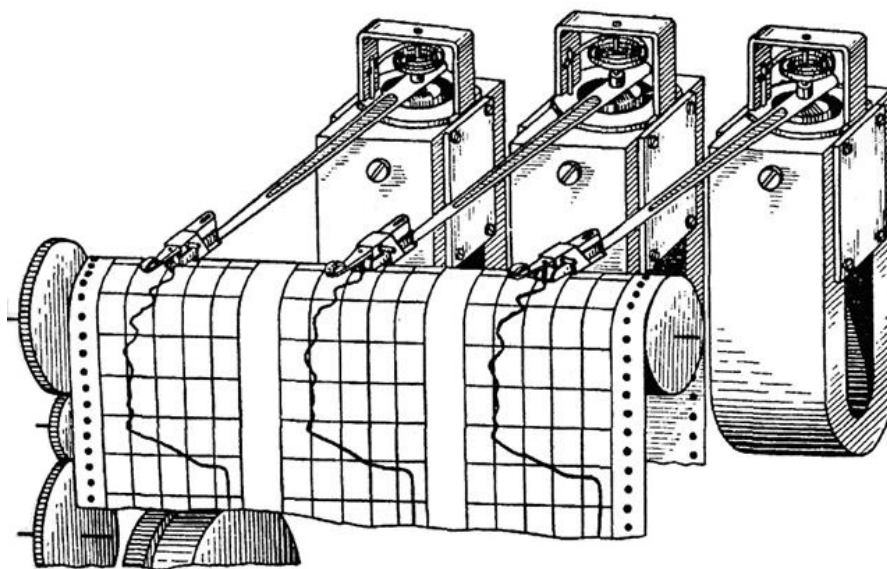


Особенности построения графиков при выполнении олимпиадных экспериментальных задач.

П.С. Тихонов



Основная публикация:

Тихонов П.С. Особенности построения графиков при выполнении школьниками олимпиадных экспериментальных задач. // Физика в школе. – 2022. – № 7.



Москва
2022

Особенности построения графиков при выполнении олимпиадных экспериментальных задач.

График – простой, но мощный инструмент визуализации и анализа экспериментальных данных. При решении экспериментальных задач график позволяет максимально быстро и наглядно показать проявление того или иного явления, определить основные параметры исследуемой зависимости. Выполнение графика в решении олимпиадной экспериментальной задачи – ключевой элемент работы, который удостоен отдельного пристального внимания. В младших классах зачастую построение графика является основным требуемым результатом работы на экспериментальном туре.

В этой статье изложены рекомендации по построению графиков при выполнении задач экспериментального тура олимпиад по физике. Для начала давайте определим основные элементы, которые должны присутствовать на графике (Рис. 1).

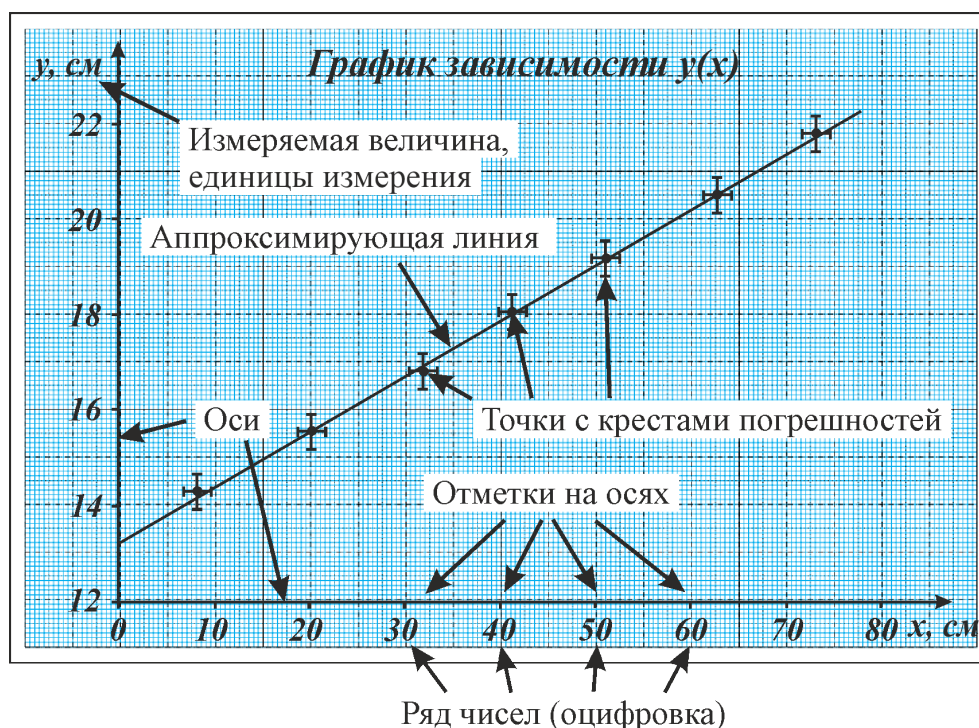


Рис. 1. Основные элементы графика.

Общие принципы оформления элементов графика состоят в том, чтобы обеспечить возможность максимально легко и быстро определять координату любой точки в поле построения графика. Это касается не только экспериментальных (измеренных в эксперименте) точек, но и любой геометрической точки в поле построения графика.

На сегодняшний день при проверке работ участников экспериментального тура ВсОШ по физике жюри руководствуется следующими основными критериями [3, 4]:

- оптимальность выбранного масштаба графика;
- правильность оформления координатных осей (количество отметок, оцифровка, обозначения величин и т.д.);

- присутствие на графике всех измеренных точек в соответствии с данными из представленных в работе таблиц;
- присутствие на графике аппроксимирующей прямой или кривой (в зависимости от задачи).

Эти ориентиры для ответа на вопрос о том, на чём следует акцентировать внимание при построении графика.

При выполнении задачи на экспериментальном туре олимпиады по физике графики принято строить на клетчатой масштабно-координатной (миллиметровой) бумаге, либо на бланках, оснащённых специальным клетчатым полем, устроенным аналогичным образом. Лист миллиметровой бумаги обычно имеет размер А4 (297 x 210 мм) или А5 (210 x 148 мм). В последние годы на заключительном этапе ВсОШ область построения графика ограничивается половинкой листа А4 (т.е. размером А5). Стандартная масштабно-координатная бумага получила название «миллиметровой», потому что размер наименьшей клетки в её сетке равен 1 мм. Следует иметь в виду, что для того чтобы лишить участника возможности использовать лист миллиметровой бумаги для проведения измерений при проведении опытов, масштабно-координатная бумага, выдаваемая участнику для построения графиков, зачастую масштабируется специальным образом (так чтобы наименьшая клетка на листе уже не соответствовала 1 мм реальной длины).

Масштаб графика определяет величину отрезка на листе, которому на графике соответствует единица измеряемой величины. При построении графика следует выбирать такой масштаб, чтобы область, которую занимают экспериментальные точки на графике занимала максимально много места, не заступая за установленные границы. Иногда рекомендации по выполнению графиков содержат в себе указание минимально допустимого процента площади, который должен занимать график, от общей площади клетчатой области на листе. Однако разумнее всего руководствоваться следующей логикой: **при соблюдении всех остальных правил построения график должен занимать максимально возможную площадь**. Если при проверке построенного графика жюри найдёт способ как можно было сделать график крупнее, нежели он есть – соответствующий балл в критериях оценивания работы будет снят.

Лист бумаги может использоваться в книжном и альбомном формате (Рис. 2).

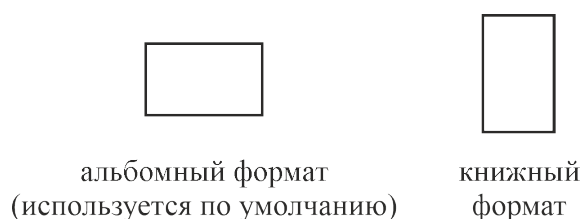


Рис. 2. Формат листа.

Существует устойчивое мнение, что при использовании альбомного формата экспериментатором достигается наилучшее зрительное восприятие данных. Поэтому альбомный

формат стоит использовать по умолчанию. Если при использовании альбомного формата и соблюдении правил оформления отдельных элементов графика достичь наилучшего масштаба не удаётся (Рис. 3), то в этом случае с целью увеличения площади графика допускается использовать книжный формат листа. Напомним, что выход графика за пределы области построения на листе не допускается.

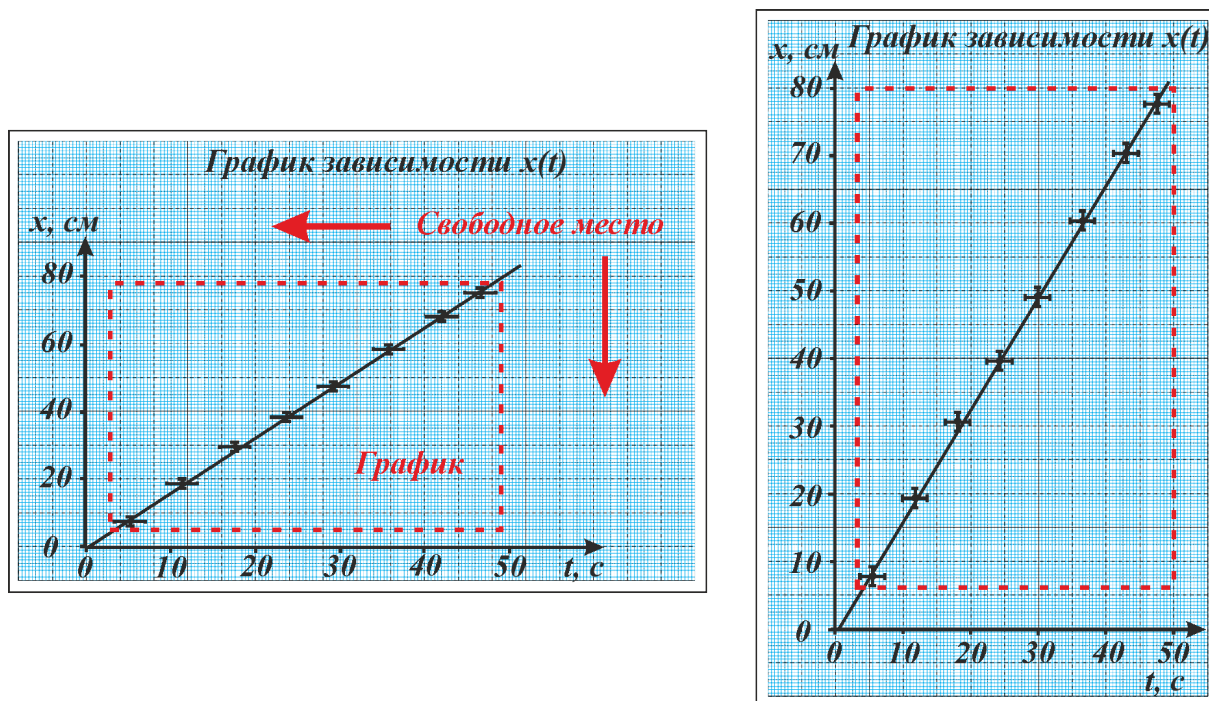


Рис. 3. Пример зависимости, график которой при соблюдении всех правил построения на листе размера А5 лучше всего строить в книжном формате.

Оси на графике играют роль линеек, по которым экспериментатор должен иметь возможность определить координаты любой точки (не только измеренной в эксперименте, но и любой другой). Отсчёт по осям осуществляется слева-направо, снизу-вверх. Положение осей на листе в зависимости от диапазона изображаемых на графике величин изображено на Рис. 4. Если координаты экспериментальных точек содержат только положительные значения – вертикальная ось проводится в левой части графика, а горизонтальная ось – в нижней части. Оси не обязательно должны начинаться с нуля. Но если на оси есть точка 0, вторая ось должна пересекать эту ось по нулевой отметке. Первая и последняя отметка на оси определяется диапазоном величин, которые требуется изобразить на графике. Вертикальная ось должна соответствовать значениям функции, а горизонтальная – значениям аргумента этой функции. Каждая ось должна быть подписана: должна быть указана физическая величина, отложенная вдоль этой оси, и (через запятую) единица её измерения. Оси на графике рисуются с отступом 1 – 2 см от края клетчатой области на листе. Отступ нужен для того, чтобы нанести оцифровку осей. Числа оцифровки должны легко читаться. Для этого они должны быть нанесены достаточно крупным разборчивым почерком.

Отметки на осях наносятся через равные интервалы. Оцифровку штрихов рекоменду-

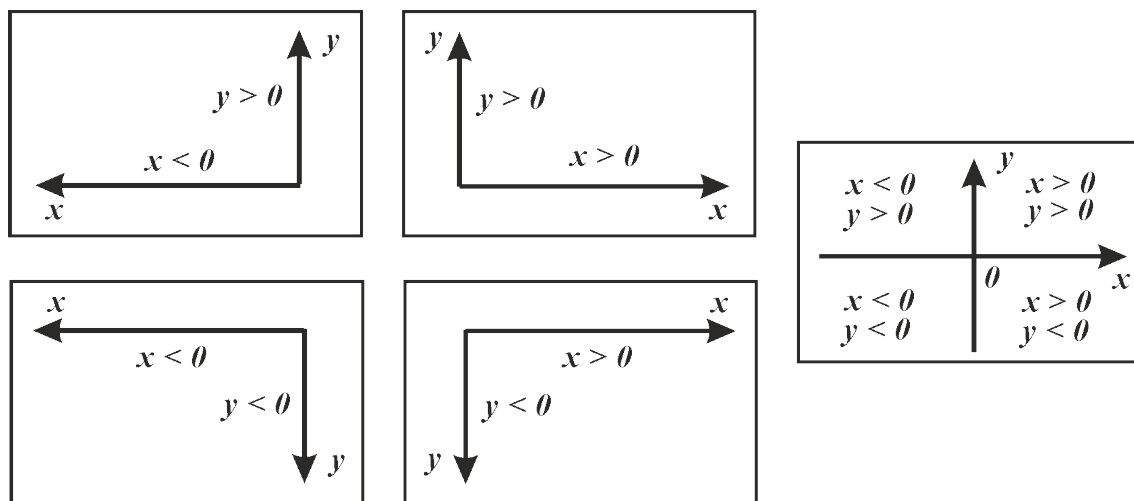


Рис. 4. Положение осей на листе.

ется проводить с интервалом 2 – 4 см. Отталкиваясь от используемых форматов бумаги это даёт основания рекомендовать следующее количество отметок: по длинной оси графика должно быть оцифровано от 5 до 11 делений, по короткой – от 4 до 7 (Рис. 5).

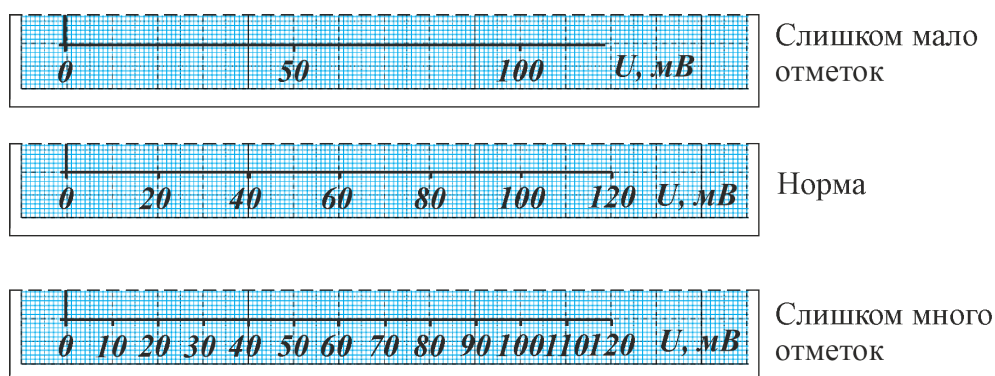


Рис. 5. Возможные варианты выбора числа отметок на оси.

При построении графика на экспериментальном туре олимпиады по физике при оцифровке настоятельно рекомендуется использовать только один из четырёх рядов чисел:

- 1, 2, 3, 4... $\cdot 10^n$,
- 2, 4, 6, 8... $\cdot 10^n$,
- 4, 8, 12, 16... $\cdot 10^n$,
- 5, 10, 15, 20... $\cdot 10^n$, n – целое число.

В некоторых отдельно оговоренных случаях (которые обычно называются представителями жюри олимпиады перед туром) использование ряда чисел 4, 8, 12, 16... для оцифровки может ограничиваться или быть запрещено. Не следует отмечать на осях координаты экспериментальных точек, либо цену одной клетки.

Числа при оцифровке округляются до одинакового разряда и приводятся к такому виду, при котором их запись наиболее компактна и удобна для восприятия: числа не должны содержать большого числа нулей, которые можно вынести в общий множитель (Рис. 6). Этот множитель следует вынести и указать рядом с указанием измеряемой величины.

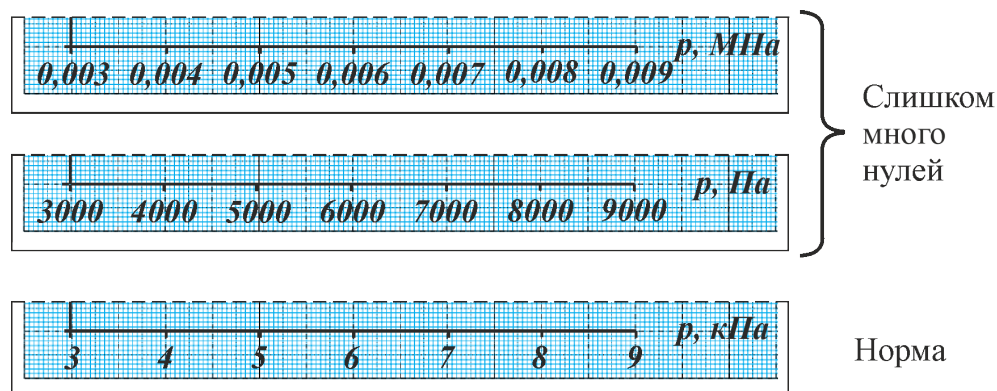


Рис. 6. Оформление оцифровки оси.

Пример: ряд чисел 1200, 1400, 1600..., обозначающих частоту f , измеряемую в герцах, должен быть преобразован к виду 1.2, 1.4, 1.6..., тогда обозначение на оси примет вид « $f, \cdot 10^3$ Гц» или « f , кГц».

Число клеток сетки между отметками на осях (**шаг сетки**) должно обеспечивать возможность легко и точно наносить точки, а также определять их координаты. Для этого следует придерживаться следующих рекомендаций:

- для рядов чисел оцифровки оси $1, 2, 3, 4... \cdot 10^n$ следует использовать шаг сетки кратный 2, 5, 10 и т.д.,
- для рядов чисел $2, 4, 6, 8... \cdot 10^n$, а также $4, 8, 12, 16... \cdot 10^n$ – шаг сетки кратный 2, 4, 10 и т.д.,
- для рядов $5, 10, 15, 20... \cdot 10^n$ – шаг сетки кратный 5, 10 и т.д.

Пример 1: Оцифровка 50, 55, 60, 65, 70, 75... может быть использована. Оцифровка 52, 57, 62, 67, 70, 77... (несмотря на то, что числа, как и в первом случае, идут с шагом 5) – не может использоваться.

Пример 2: Оцифровка 20, 22, 24, 26, 28... может быть использована. Оцифровка 21.5, 23.5, 25.5, 27.5, 29.5... – не может использоваться.

Точки на график нужно наносить так, чтобы они были чётко видны (Рис. 7). Для того чтобы показать, что величина, наносимая на график, имеет погрешность, из каждой точки проводятся отрезки вверх и вниз, вправо и влево. Длина горизонтальных отрезков соответствует абсолютной погрешности величины, отложенной по горизонтальной оси в масштабе графика, длина вертикальных отрезков – погрешности величины, отложенной

по вертикальной. Таким образом, обозначаются области определения экспериментальной точки, называемые *крестами ошибок* или *крестами погрешностей* (Рис. 1).

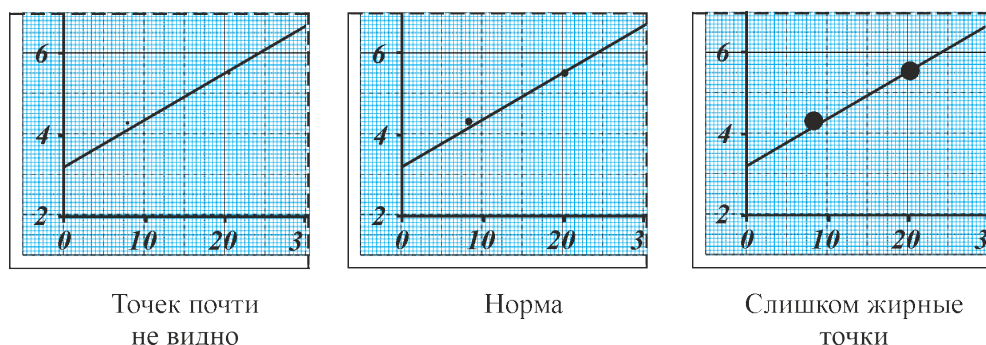


Рис. 7. Выбор размера точек (в случае, когда кресты погрешностей отсутствуют).

Замечание: В некоторых случаях кресты погрешностей в масштабе графика получаются настолько малыми, что нанести их на график не представляется возможным. В этом случае допускается не наносить кресты. Но тогда величины этих погрешностей обязательно должны быть указаны в отчёте (в решении задачи).

Через точки на графике экспериментальной зависимости должна быть проведена **аппроксимирующая прямая или кривая** (в зависимости от задачи). Аппроксимирующая прямая (кривая) должна быть проведена как можно ближе к каждой из точек. В случае, если невооружённым глазом можно заметить точки, которые выпадают из общего характера зависимости, следует задуматься о причинах этого явления. Часто это свидетельствует о том, что при проведении конкретного измерения были допущены ошибки. В таком случае аппроксимирующую кривую придётся провести, проигнорировав ошибочную точку. Нелишним будет указать сверху название графика.

Теперь давайте разберём процесс построения графика на конкретном примере. Рассмотрим таблицу с экспериментальными данными (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты измерений.

x , см	y , см
5.4	11.7
10.6	12.8
22.2	13.6
32.0	15.0
51.0	17.2
62.5	18.5
73.0	19.8

σ_x , см	σ_y , см
1.5	0.4

Требуется построить график зависимости величины y от величины x . σ_x и σ_y – аб-

солютные погрешности. В нашем распоряжении лист миллиметровой бумаги размера А5. По короткой стороне на листе 13 «сантиметровых» клеток, по длинной – 20. Вспомним что для оформления оцифровки оси должны отступать от краёв листа на 1-2 см. Итого по длинной стороне остаётся максимум 19 «сантиметровых» клеток, по короткой – 12. Диапазон численных значений величины x начинается почти от нуля. В таком случае отметку 0 стоит внести в диапазон оцифровки. Тогда, начиная с нуля, численный диапазон величины x – округлённо – от 0 до 75-80. Диапазон величины y округлённо начинается с 10 или 11 и заканчивается на 20. Как уже было сказано, формат листа, который мы постараемся использовать – альбомный. Попробуем подобрать оцифровку для оси x для данного формата:

- При выборе ряда чисел 0, 5, 10... 75 количество отметок – минимум 16. Это слишком много (максимально допустимо 11 отметок).
- При выборе ряда чисел 0, 10, 20... 80 количество отметок равно 9. Это нам подходит.
- При выборе ряда чисел 0, 20, 40, 60, 80 количество отметок равно 5. Формально это тоже нам подходит. Однако в этом случае хуже информативность. Остановимся на предыдущем варианте.

Теперь выберем шаг сетки для оси x :

- При шаге сетки «одна «сантиметровая» клетка на одно деление по оси x » мы задействуем лишь 8 клеток. Это меньше половины длины. Рациональным такой масштаб явно не назовёшь.
- При шаге сетки «две «сантиметровых» клетки на одно деление» мы задействуем 16 клеток из 19. То что надо.

Остальные варианты приведут к тому, что диапазон значений по оси x не поместится на листе. В этом не трудно убедиться самостоятельно. Далее выберем ряд чисел для оцифровки оси y :

- При выборе ряда чисел 10, 11, 12...20 количество отметок – 11. Это количество было бы допустимым, если бы мы использовали книжный формат. В нашем случае эта ось будет изображена по короткой стороне листа (для которой максимальное число отметок – 7).
- При выборе ряда чисел 10, 12, 14... 20 количество отметок равно 6. Это нам подходит.
- При выборе ряда чисел 10, 15, 20 количество отметок – 3. Это слишком мало.

Выберем шаг сетки для оси y :

- При шаге сетки «одна «сантиметровая» клетка на одно деление по оси y » мы задействуем лишь 5 клеток из 12. Слишком мало.
- При шаге сетки «две «сантиметровых» клетка на одно деление» мы задействуем 10 клеток из 12. Это наилучший вариант.

Остальные варианты снова приведут к тому, что ось y не поместится на листе. Аналогичную логику мы применяем, попробовав использовать книжный формат. Сравнив наилучшие варианты масштаба графика для двух форматов (альбомного и книжного), мы останавливаемся на альбомном.

На график наносим оси, метки, оцифровку, подписи величин, точки. Рассчитаем размеры крестов погрешностей: величине $\sigma_x = 1.5$ см в масштабе графика соответствует три «миллиметровых» клетки, величине $\sigma_y = 0.4$ см – четыре «миллиметровых» клетки. Кресты погрешности одинаковые для всех точек. Через точки, как можно ближе к каждой из них, проведём аппроксимирующую прямую. Сверху напомним название графика. Результат нашей работы представлен на Рис. 8.

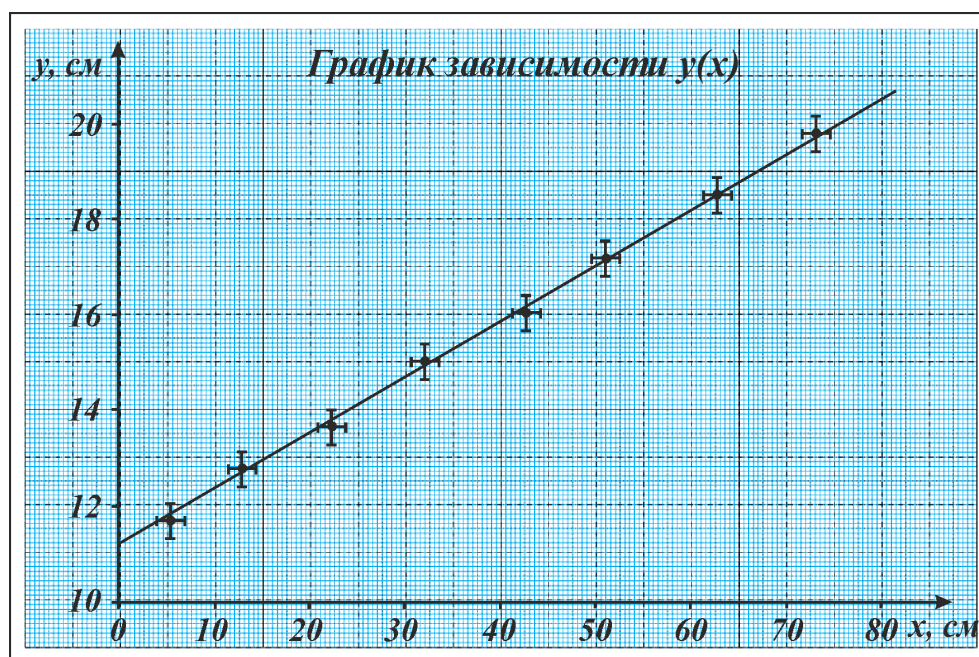


Рис. 8. Построенный нами график.

Подводя итог, можно сказать, что сформулированные в этой статье рекомендации в целом соответствуют общепринятым правилам графического представления экспериментальных данных. Однако, есть особенности, связанные прежде всего с олимпиадной спецификой. Система оценивания работ на олимпиаде в совокупности с условиями работы участника на экспериментальном туре приводят к необходимости выработки и использования специальных рекомендаций, содержащих строгие критерии исполнения элементов графика, сопровождающиеся разъяснением их принципов.

Литература.

1. Ананьева Н.Г., Ананьева М.С., Самойлов В.Н. Графическое оформление результатов эксперимента. М.: Кафедра общей физики физического факультета МГУ, 2016 – 23 с.
2. Всероссийская олимпиада школьников по физике – URL: <https://vos.olimpiada.ru/> (дата обращения 05.06.2022).
3. Замятнин М.Ю. Культура построения графиков. // Потенциал. Математика. Физика. Информатика. – 2018. – № 11 (166). – с. 21–30.
4. Сайт подготовки национальных команд Российской Федерации к Международной олимпиаде по физике IPhO и Международной естественнонаучной олимпиаде юниоров IJSO – URL: <http://4ipho.ru> (дата обращения 20.04.2022).
5. Сергеев С.Н. Обработка результатов физического эксперимента в лаборатории физического практикума. М.: СУНЦ МГУ, 1998 – 40 с.