Ярославский государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского

Вводный практикум

В.К. Мухин

Лабораторная работа № 020

Определение частоты настройки звукового генератора с помощью счетчика импульсов

Ярославль
2013

Оглавление

Вопросы для подготовки к работе 3
Теоретическое введение 3
Некоторые определения 4
Элементы теории ошибок 5
Описание установки 7
Порядок выполнения работы 8
Задание 1. Знакомство с лабораторной установкой. 8
Задание 2. Определение частоты звукового генератора. 9
Контрольные вопросы 10

Лабораторная работа №020

Определение частоты настройки звукового генератора с помощью счетчика импульсов

(Статистические закономерности, возникающие при измерениях)

Цель работы: приобретение навыков оценки случайной погрешности измерений.

Приборы и принадлежности: звуковой генератор ГЗШ, электронный счетчик-секундомер ССЭШ – 2 шт., видоизмененный телеграфный ключ, набор проводов.

Литература

1. Физический практикум, Механика и молекулярная физика, под ред. В.И. Ивероновой – М: «Наука», 1967.
2. Лабораторные занятия по физике. Под ред. Л.Л. Гольдина, изд. – М: «Наука», 1983.
3. Зайдель А. Н.. Элементарные оценки ошибок измерений. – Л: «Наука», 1968.
4. Игольников М.Л. Руководство к лабораторной работе «Статистические закономерности, возникающие при измерениях». – Ярославль: Рукопись, 1980.

Вопросы для подготовки к работе

1. Что называется частотой и периодом периодически изменяющейся физической величины? Как они связаны между собой?

2. Как классифицируются погрешности измерений?

3. На чем основана теория случайных погрешностей?

4. Что является наилучшим значением измеряемой величины? Как его вычислить?

5. Что такое стандартная (или среднеквадратичная) погрешность? Как ее вычислить?

Теоретическое введение

Физика – экспериментальная наука. Наблюдение, размышление и эксперимент являются составными частями ее научного метода. Отсюда следует, что умение воспроизводить физические процессы и измерять различные физические величины имеет особое значение для человека, специализирующегося в этой области науки.

Некоторые определения

Физическая величина – это свойство, в качественном отношении общее для всех физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Нахождение значения физической величины опытным путем при помощи специальных технических средств называется **измерением**. Измерения бывают прямые и косвенные.

Прямым измерением называют такое измерение, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных.

Косвенное измерение позволяет получить искомое значение величины на основании известной функциональной зависимости (формулы) между ней самой и величинами, найденными из прямых измерений.

Любое измерение всегда выполняется с некоторой **погрешностью** (ошибкой), которая появляется из-за несовершенства методов и средств измерений. На величину погрешности также оказывают влияние непостоянство условий наблюдения и недостаточный опыт экспериментатора. Следовательно, задачей измерения является не только нахождение значения физической величины, но и *оценка* допущенной при этом погрешности. Более того, *результаты измерений объективны постольку, поскольку правильно оценены их погрешности.*

Ошибки измерений делятся на три основные группы.

1. **Грубые ошибки или промахи.** Источниками их является недостаточное внимание экспериментатора при считывании и записи опытных данных, производстве вычислений, а также сбои в работе измерительных приборов и вычислительной техники, резкое изменение условий измерений и т. п.

2. **Систематические (приборные, методические) ошибки.** Это ошибки, регулярно повторяющиеся при повторных измерениях. Величина таких ошибок одинакова во всех измерениях, выполняющихся одним и тем же методом с помощью одних и тех же измерительных приборов. Они всегда односторонне влияют на результаты измерений: только увеличивая или только уменьшая их. Принципиально систематические ошибки всегда могут быть устранены.

3. **Случайные (статистические) ошибки.** К случайным относятся все те ошибки, которые в каждом акте измерения одной и той же величины, выполняющемся в одинаковых условиях, одними и теми же приборами, одним и тем же экспериментатором и с одинаковой тщательностью, *не повторяются*, изменяясь случайным образом по величине и знаку.

Исключить случайные ошибки нельзя, так как многочисленные их причины либо неясны, либо неизвестны. Вместе с тем, оценить случайные ошибки, как правило, можно, используя методы теории ошибок (погрешностей).

Теория ошибок имеет дело *только со случайными ошибками*. Выводы этой теории справедливы при достаточно большом числе повторяющихся измерений, проведенных в одних и тех же доступных контролю условиях.

Заметим, что систематическая ошибка, связанная со свойствами измерительного прибора или измеряемого объекта, часто может быть преобразована в случайную погрешность. Для этого измерения организуют таким образом, что-

бы постоянный фактор, ответственный за систематическую ошибку, в каждом измерении изменялся по величине и знаку случайным образом.

Пример. Измеряя длину некого предмета, можно воспользоваться не одной линейкой, а для каждого отдельного измерения линейками разных фирм. Такие линейки наверняка имеют систематические погрешности, отличающиеся по величине и знаку случайным образом.

Прием превращения систематической ошибки в случайную называется **рандономизацией.** Он позволяет практически исключить многие неизвестные систематические ошибки.

Случайные ошибки подчиняются законам теории вероятностей и математической статистики.

Элементы теории ошибок

В основе теории ошибок лежат два предположения, подтверждаемые на опыте.

1. При большом числе измерений случайные ошибки (погрешности) одинаковой величины, но разного знака встречаются одинаково часто.

2. Большие погрешности встречаются реже, чем малые, то есть вероятность появления погрешности уменьшается с ростом величины погрешности.

В этом разделе опишем – с пояснениями, но без доказательств – основные правила обработки случайных погрешностей.

Рассмотрим ситуацию обработки **прямых измерений** на примере измерения массы некоторого тела.

Таблица **1.**

№	m_i (кг)	Δm_i (кг)	$(\Delta m_i)^2$
1	m_1	$\overline{m} - m_1$	$(\overline{m} - m_1)^2$
2	m_2	$\overline{m} - m_2$	$(\overline{m} - m_2)^2$
...	…….	……..	……..
n	m_n	$\overline{m} - m_n$	$(\overline{m} - m_n)^2$
	$\overline{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} m_i$		$\sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i)^2$

В качестве наилучшего значения для измеряемой величины обычно применяют среднее арифметическое значение из всех полученных результатов:

$$\overline{m} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} m_i ,$$

где n – число измерений.

Из математической статистики следует, что этому результату (среднему арифметическому) следует приписать погрешность, определяемую формулой:

$$\Delta m = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i)^2}{n(n-1)}}.$$

Результат опыта записывается в виде:

$$m = (\overline{m} \pm \Delta m) \text{ кг.}$$

Теория погрешностей говорит о том, что при небольшом числе измерений (так обычно и бывает в учебном лабораторном практикуме) «ошибка в определении ошибки примерно равна самой ошибке». Поэтому *погрешность результата не столько определяют, сколько* ***оценивают.***

Оценка Δm подобрана таким образом, что при проведении многочисленных *серий измерений* погрешность в 2/3 случаев (точнее в 0,683) оказывается меньше Δm, а в 1/3 случаев больше, чем Δm. Погрешность, определенную таким образом, обычно называют ***стандартной*** *или среднеквадратичной погрешностью опытов.* В математической статистике среднеквадратичную погрешность обозначают греческой буквой σ (сигма), а квадрат этой величины называется *дисперсией*. Интервал значений от $(\overline{m} - \sigma)$ до $(\overline{m} + \sigma)$ носит название *доверительного интервала*.

Если пользоваться терминологией теории вероятностей, то можно сказать, что с вероятностью (надежностью) $\alpha \approx 2/3$, результат измерений не выходит за пределы доверительного интервала.

Погрешность измерений может быть выбрана как $\Delta m = 2\sigma$. В этом случае при бесконечно большом количестве опытов надежность $\alpha = 0{,}954$, или только в 5% случаев результаты опыта оказываются за пределами интервала $\pm\Delta m$. Если погрешность выбирается как 3σ, то $\alpha = 0{,}970$ и практически невероятно, чтобы результаты измерений оказались за пределами интервала $\pm\Delta m$.

Если нас интересует погрешность не среднего арифметического значения σ, а погрешность *единичного* измерения σ_n, то из математической статистики следует:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta m_i)^2}{n-1}}.$$

Отсюда следует практическое правило для определения промахов при обработке результатов измерений. *Промахами считаются результаты измерений, оказавшиеся за пределами интервала* $\pm 3\sigma_n$. Промахи исключаются, и результаты измерений обрабатываются заново. После вторичной обработки ре-

зультатов вновь производится проверка на промахи, и если они обнаруживаются, то результаты обрабатываются третий раз т. д., до полного исключения промахов.

Если число измерений n достаточно велико, то столбец Δm_i в первой таблице имеет смысл обработать так, как столбец Δf_i во второй таблице (см. ниже). Здесь следует суммировать отдельно $+\Delta m_i$ и $-\Delta m_i$, и полученные суммы алгебраически сложить. Полученный близкий к нулю результат будет свидетельствовать о правильности произведенных измерений и безошибочном вычислении $\overline{m}$.

Косвенные измерения в нашем лабораторном практикуме будут обрабатываться как прямые измерения (см. Таблица 2.). Теория [3] говорит о том, что это допустимо, если результаты измерений не сильно отличаются от соответствующего среднего значения.

С более строгой теорией обработки косвенных измерений Вы познакомитесь в лаборатории механики. Там же Вы научитесь учитывать **систематические погрешности**.

Описание установки

Структурная схема установки представлена на Рис. 1.

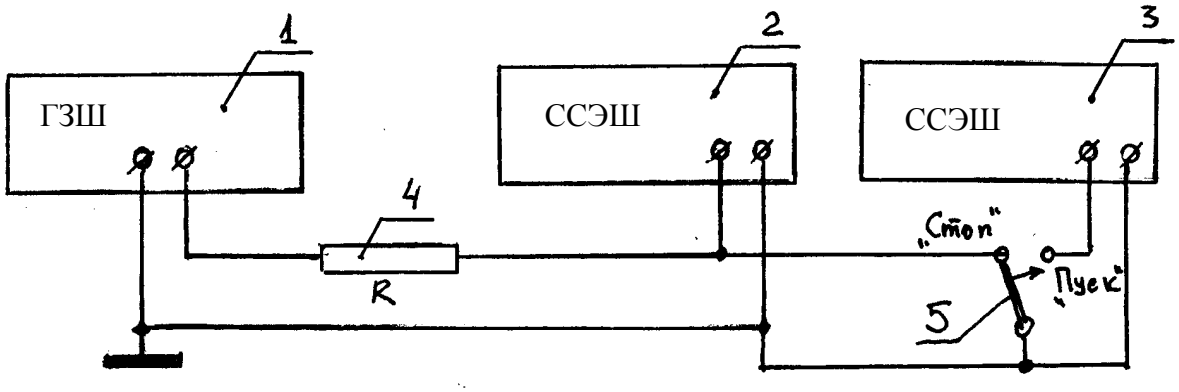

Рис. 1

В состав экспериментальной установки входят:

1 – генератор электрических колебаний звуковой частоты;

2 – счетчик импульсов;

3 – секундомер;

4 – резистор ограничительный R = 500 Ом;

5 – ключ телеграфный усовершенствованный.

Генератор 1 вырабатывает гармонические электрические колебания звуковой частоты. Частота этих колебаний f определяется с помощью счетчика импульсов и секундомера, в качестве которых используются два однотипных электронных счетчика-секундомера ССЭШ (счетчик-секундомер электронный школьный). Один из них используется в режиме счета импульсов, а второй – как секундомер. Соответствующие переключения в ССЭШ интуитивно понятны и здесь не описываются.

Счетчик импульсов 2 через ограничительный резистор 4 соединен с выходом звукового генератора 1. Ниже (в первом задании) описана процедура регулировки амплитуды выходного напряжения генератора для уверенного срабатывания счетчика импульсов. Срабатывание счетчика происходит только в положительные полупериоды выходного переменного напряжения, то есть один раз за каждый период. Счетчик имеет три пересчетные декады, и, следовательно, его емкость равна 999 импульсов.

Одновременно с включением счетчика импульсов должен включаться и секундомер 3. Точность используемого секундомера 0,01 с, а диапазон измеряемого времени 0,01 – 9,99 сек.

Управление установкой осуществляется с помощью усовершенствованного телеграфного ключа. Запускается установка нажатием на ключ, а останавливается при его отпускании. Зазор между контактами телеграфного ключа должен быть установлен минимальным; чем он меньше, тем точнее совпадает момент включения счетчика с моментом включения секундомера. Сброс показаний после каждого измерения производится вручную нажатием кнопок «Сброс» на счетчике и секундомере.

Порядок выполнения работы

Задание 1. ***Знакомство с лабораторной установкой.***

Выясните назначение органов управления звукового генератора и электронного счетчика-секундомера. Назначение органов управления в этих приборах интуитивно понятно, но если возникают сомнения, то обратитесь к преподавателю.

Изучите электрическую схему установки и проверьте правильность соединения электрических цепей.

Включите установку в электросеть, при этом должны загореться контрольные лампочки на приборах. Прогрейте приборы в течение 10 – 20 мин. Отрегулируйте напряжение, поступающее с выхода звукового генератора на счетчик импульсов. Для этого нажмите ключ и постепенно увеличивайте выходное напряжение генератора с нуля вольт (рука регулировки выходного напряжения в крайнем левом положении) до напряжения, соответствующего устойчивому срабатыванию счетчика импульсов. При изменении частоты электрического сигнала, поступающего с генератора, скорость работы счетчика должна соответственно изменяться (проверьте!).

При нажатии на ключ, одновременно со счетчиком импульсов должен включиться секундомер. Правильность работы установки в целом можно проверить следующим способом: установите частоту генератора 100 Гц и нажмите ключ на 5 секунд (контроль времени по электронному секундомеру), при этом счетчик импульсов должен отсчитать приблизительно 500 импульсов. В дальнейшем подсчет импульсов выполняйте за такой же интервал времени (5 сек).

Задание 2. ***Определение частоты звукового генератора.***

Настройте генератор по его шкале на частоту, на частоту, указанную преподавателем. Запишите ее значение. Установленное значение частоты является приблизительным, так как используемые в эксперименте генераторы ГЗШ (генератор звуковой школьный) имеют крайне низкий класс точности. Отметим, что счетчик-секундомер ССЭШ (счетчик-секундомер электронный школьный) принципиально имеет весьма высокую точность измерений.

В результате этого эксперимента Вы значительно точнее определите частоту настройки звукового генератора, чем это можно сделать по его собственной шкале.

Об обозначениях. В физике частоту обычно обозначают греческой буквой «ν» (ню). В электронике, электротехнике, радиотехнике чаще применяется буква «f». Поскольку в этой работе определяется частота переменного тока, то мы будем использовать обозначение «f».

Частота генератора $f_г$= _____ Гц

Таблица 2.

№	N_i	t_i (с)	$f_i = \frac{N_i}{t_i}$ (Гц)	Δf_i		$(\Delta f_i)^2$
				+	–	
1						
2						
…	……	……	……	.....	.....	……
33						
	Номера измерений, оказавшихся промахами: _____. Число промахов $к$ = ____.		$\overline{f} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_i}{n}$	$+\Sigma\Delta f_i$	$-\Sigma\Delta f_i$	$\sum_{i=1}^{n}(\Delta f_i)^2$
				$\sum_{i=1}^{n}\Delta f_i = +\Sigma\Delta f_i - \Sigma\Delta f_i$		

N_i – число импульсов, сосчитанных за время t_i;
n – число измерений.

Таблицу обработайте в следующем порядке.

1. Проверьте $\sum_{i=1}^{n}\Delta f_i = +\sum\Delta f_i - \sum\Delta f_i \approx 0$. Если сумма сильно отличается от нуля, то вариантов два: неправильно вычислено среднее значение $\overline{f}$ или есть ошибки в вычислении отклонений от среднего арифметического Δf_i. Существует и третий, *весьма маловероятный вариант* – незамеченные сбои в работе счетчиков-секундомеров ССЭШ во время проведения эксперимента. По этому поводу следует обратиться к преподавателю.

2. Вычислите стандартную погрешность единичного измерения

$$\Delta f_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta f_i)^2}{n-1}}.$$

Проверьте результатыΔf_i на наличие промахов. Если соответствующее значение $\Delta f_i > 3\Delta f_n$, то данный результат будет промахом и его следует исключить из таблицы. Подобным образом исключите все промахи, а оставшиеся результаты обработайте снова, заполняя новую итоговую (последнюю) строку таблицы. Этот процесс продолжайте до полного исключения всех промахов.

3. Вычислите стандартную погрешность среднего арифметического

$$\Delta f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta f_i)^2}{n(n-1)}},$$

Окончательный результат запишите в виде:

$$f = \left(\overline{f} \pm \Delta f\right) \text{ Гц} \quad \text{при } \alpha \approx 2/3.$$

Оцените относительную погрешность $\varepsilon = \frac{\Delta f}{\overline{f}} 100\%$.

Контрольные вопросы

1. Какие виды ошибок измерений Вы учитывали в этой работе?
2. Что называют надежностью результатов измерений, и как ее увеличить?
3. Что такое доверительный интервал?