

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Отчёт по лабораторной работе №1

**«ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.
ИЗМЕРЕНИЕ ЦИФРОВЫМ ВОЛЬТМЕТРОМ НАПРЯЖЕНИЯ,
СОЗДАВАЕМОГО ПО СТРЕЛОЧНОМУ ПРИБОРУ»**

Выполнил студент:
Почерникова Елизавета Кирилловна
группа: 23.Б12-мм

Проверил:
Морозов Виктор Александрович

Санкт-Петербург, 2025 г.

Содержание

1	Введение	3
1.1	Цель работы	3
1.2	Решаемые задачи	3
2	Основная часть	3
2.1	Теоретическая часть	3
2.2	Экспериментальная часть	4
2.2.1	Погрешность прибора	5
2.3	Обработка данных и обсуждение результатов	5
2.3.1	Исходный код	5
2.3.2	Исходный код для расчёта инструментальной погрешности прибора	5
2.3.3	Исходный код программы для обработки 50 измерений на точной шкале	5
2.3.4	Таблицы	6
2.3.5	Графики	9
3	Выводы	10

1 Введение

В данной лабораторной работе проводится многократное измерение напряжения цифровым вольтметром, задаваемого с помощью стрелочного прибора. Целью работы является освоение методики прямых измерений и оценка случайных и систематических погрешностей, возникающих в ходе эксперимента. Результаты измерений подвергаются статистической обработке: рассчитывается среднее значение напряжения, строится гистограмма распределения данных и вычисляется средняя квадратичная погрешность.

1.1 Цель работы

- Оценить точность измерений и проанализировать влияние случайных и систематических погрешностей;
- Провести статистическую обработку результатов измерений: вычислить среднее значение, построить гистограмму распределения данных и определить среднюю квадратичную погрешность.

1.2 Решаемые задачи

- Многократно измерить напряжение цифровым вольтметром;
- Проанализировать результаты: построить гистограмму, рассчитать среднее значение и погрешности;
- Сравнить экспериментальные погрешности с паспортной точностью прибора.

2 Основная часть

2.1 Теоретическая часть

В процессе многократных измерений физической величины полученные результаты могут различаться из-за наличия погрешностей. Чтобы определить наиболее вероятное значение измеряемой величины, используют среднее арифметическое всех проведенных наблюдений:

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

где x_i — отдельное значение измерения, n — число измерений.

Средняя квадратичная погрешность среднего значения показывает, насколько вычисленное среднее арифметическое может отклоняться от истинного значения измеряемой величины. Она определяется на основе дисперсии всей выборки и количества измерений, что позволяет оценить надежность полученного результата:

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

Необходимо оценить, насколько среднее значение всей серии измерений (\bar{x}) отличается от истинного значения X . Для этого вычислим среднюю квадратичную погрешность среднего, которая показывает точность определения средней величины по выборке:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Итоговый результат измерений записывается в виде:

$$x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}. \quad (4)$$

Для анализа распределения результатов строятся график зависимости измеряемой величины от времени и гистограмма, по которым можно визуально оценить разброс данных и форму распределения.

2.2 Экспериментальная часть

Перед началом измерений была собрана экспериментальная установка в соответствии с вариантом лабораторной работы №16 — измерение напряжения цифровым вольтметром. В состав установки входили следующие компоненты:

- Потенциометр (делитель напряжения);
- Стрелочный вольтметр для задания уровня напряжения;
- Цифровой вольтметр для точного измерения;
- Соединительные провода.

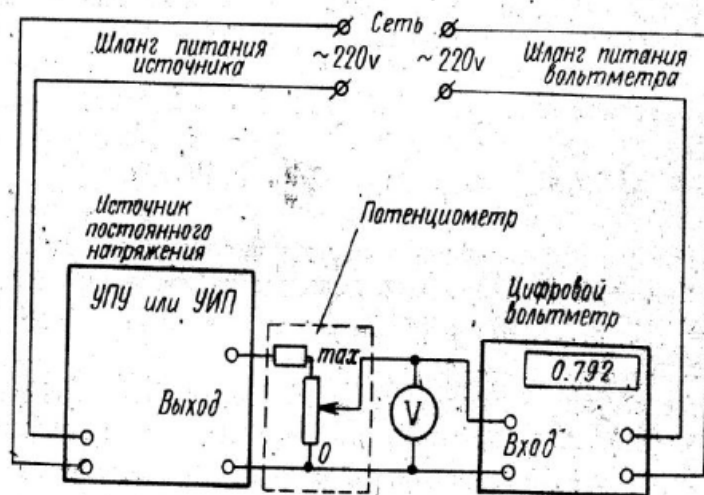


Рис. 1: Блок-схема установки для измерения напряжения (вариант 16)

Проведение измерений. С помощью ручки потенциометра вручную задавалось напряжение в диапазоне от 0,6 до 1,5 В. Для предварительной оценки и настройки были выполнены $n = 10$ измерений на грубой шкале цифрового вольтметра (с пределом измерения $U_k = 10$ В). Результаты занесены в таблицу 1.

Затем, для проведения статистической обработки, была выбрана более чувствительная шкала ($U_k = 1$ В), на которой были выполнены $n = 50$ измерений. Эти данные приведены в таблице 2.

2.2.1 Погрешность прибора

Расчёт абсолютной погрешности цифрового вольтметра производился по формуле:

$$\beta = \pm \left(0,05 + 0,05 \cdot \frac{U_k}{U_x} \right) \%,$$

$$\Delta U_{\text{приб}} = \frac{\beta \cdot U_x}{100},$$

где:

- U_k — предел измерения выбранной шкалы (В);
- U_x — измеренное значение напряжения (В).

2.3 Обработка данных и обсуждение результатов

2.3.1 Исходный код

2.3.2 Исходный код для расчёта инструментальной погрешности прибора

```
1 #include <iostream>
2 #include <vector>
3
4 double calculateInstrumentError(double Ux, double Uk = 10.0) {
5     double beta_percent = 0.05 + 0.05 * (Uk / Ux);
6     return (beta_percent * Ux) / 100.0;
7 }
8
9 int main() {
10     std::vector<double> measurements = {
11         0.356, 0.357, 0.358, 0.355, 0.356,
12         0.357, 0.356, 0.357, 0.356, 0.357
13     };
14
15     for (int i = 0; i < measurements.size(); ++i) {
16         double Ux = measurements[i];
17         double deltaU = calculateInstrumentError(Ux);
18         std::cout << "Measurement " << i + 1 << ": Ux = " << Ux
19             << ", Error = " << deltaU << " " << std::endl;
20     }
21
22     return 0;
23 }
```

Листинг 1: Расчёт абсолютной погрешности цифрового вольтметра

2.3.3 Исходный код программы для обработки 50 измерений на точной шкале

```
1 #include <iostream>
2 #include <vector>
3 #include <cmath>
4 #include <iomanip>
```

```

5
6 void printSmart(double value) {
7     std::cout << std::fixed << std::setprecision(12) << value;
8 }
9
10 int main() {
11     std::vector<double> measurements = {
12         0.3583, 0.3580, 0.3595, 0.3599, 0.3593,
13         0.3594, 0.3592, 0.3590, 0.3593, 0.3588,
14         0.3575, 0.3588, 0.3575, 0.3585, 0.3579,
15         0.3578, 0.3581, 0.3583, 0.3584, 0.3582,
16         0.3584, 0.3582, 0.3586, 0.3582, 0.3588,
17         0.3578, 0.3583, 0.3581, 0.3577, 0.3583,
18         0.3581, 0.3582, 0.3578, 0.3583, 0.3586,
19         0.3582, 0.3584, 0.3582, 0.3584, 0.3581,
20         0.3587, 0.3584, 0.3581, 0.3580, 0.3581,
21         0.3584, 0.3585, 0.3586, 0.3579, 0.3582
22     };
23
24     double sum = 0.0;
25     for (double u : measurements) {
26         sum += u;
27     }
28     double mean = sum / measurements.size();
29
30     std::cout << "Average value: ";
31     printSmart(mean);
32     std::cout << "\n\n";
33
34     for (int i = 0; i < measurements.size(); ++i) {
35         double Ux = measurements[i];
36         double d = Ux - mean;
37         double d_squared = d * d;
38
39         std::cout << "Measurement " << i + 1 << ": Ux = ";
40         printSmart(Ux);
41         std::cout << ", d = ";
42         printSmart(d);
43         std::cout << ", d^2 = ";
44         printSmart(d_squared);
45         std::cout << std::endl;
46     }
47
48     return 0;
49 }

```

Листинг 2: Расчёт среднего значения, отклонений и квадратов отклонений

2.3.4 Таблицы

Таблица 1. Измерения на грубой шкале

№ п.п.	Диапазон показаний использованной шкалы прибора, (В)	Результаты отдельных наблюдений U_i , (В)	Погрешность прибора на данной шкале $\Delta U_{\text{приб}}$, (В)
1	1-10	0,356	0.0051780
2	1-10	0,357	0.0051785
3	1-10	0,358	0.0051790
4	1-10	0,355	0.0051775
5	1-10	0,356	0.0051780
6	1-10	0,357	0.0051785
7	1-10	0,356	0.0051780
8	1-10	0,357	0.0051785
9	1-10	0,356	0.0051780
10	1-10	0,357	0.0051785

Таблица 2. Измерения на точной шкале

№ п.п.	Результаты отдельных наблюдений U_i , (В)	Случайные отклонения от среднего $d_i = U_i - \bar{U}$, (В)	$d_i^2 = (U_i - \bar{U})^2$, (B^2)
1	0,3583	-0,000086	0,000000007396
2	0,3580	-0,000386	0,000000148996
3	0,3595	0,001114	0,000001240996
4	0,3599	0,001514	0,000002292196
5	0,3593	0,000914	0,000000835396
6	0,3594	0,001014	0,000001028196
7	0,3592	0,000814	0,000000662596
8	0,3590	0,000614	0,000000376996
9	0,3593	0,000914	0,000000835396
10	0,3588	0,000414	0,000000171396
11	0,3575	-0,000886	0,000000784996
12	0,3588	0,000414	0,000000171396
13	0,3575	-0,000886	0,000000784996
14	0,3585	0,000114	0,000000012996
15	0,3579	-0,000486	0,000000236196
16	0,3578	-0,000586	0,000000343396
17	0,3581	-0,000286	0,000000081796

№ п.п.	Результаты отдельных наблюдений U_i , (В)	Случайные отклонения от среднего $d_i = U_i - \bar{U}$, (В)	$d_i^2 = (U_i - \bar{U})^2$, (B^2)
18	0,3583	-0,000086	0,000000007396
19	0,3584	0,000014	0,000000000196
20	0,3582	-0,000186	0,000000034596
21	0,3584	0,000014	0,000000000196
22	0,3582	-0,000186	0,000000034596
23	0,3586	0,000214	0,000000045796
24	0,3582	-0,000186	0,000000034596
25	0,3588	0,000414	0,000000171396
26	0,3578	-0,000586	0,000000343396
27	0,3583	-0,000086	0,000000007396
28	0,3581	-0,000286	0,000000081796
29	0,3577	-0,000686	0,000000470596
30	0,3583	-0,000086	0,000000007396
31	0,3581	-0,000286	0,000000081796
32	0,3582	-0,000186	0,000000034596
33	0,3578	-0,000586	0,000000343396
34	0,3583	-0,000086	0,000000007396
35	0,3586	0,000214	0,000000045796
36	0,3582	-0,000186	0,000000034596
37	0,3584	0,000014	0,000000000196
38	0,3582	-0,000186	0,000000034596
39	0,3584	0,000014	0,000000000196
40	0,3581	-0,000286	0,000000081796
41	0,3587	0,000314	0,000000098596
42	0,3584	0,000014	0,000000000196
43	0,3581	-0,000286	0,000000081796
44	0,3580	-0,000386	0,000000148996
45	0,3581	-0,000286	0,000000081796
46	0,3584	0,000014	0,000000000196
47	0,3585	0,000114	0,000000012996
48	0,3586	0,000214	0,000000045796
49	0,3579	-0,000486	0,000000236196

№ п.п.	Результаты отдельных наблюдений U_i , (В)	Случайные отклонения от среднего $d_i = U_i - \bar{U}$, (В)	$d_i^2 = (U_i - \bar{U})^2$, (B^2)
50	0,3582	-0,000186	0,000000034596

$$\bar{x} = \bar{U} = 0.358386, \quad \sum x_i = \sum U_i = 17.9193 \quad \sum |d_i| = 0.018816, \quad \sum d_i^2 = 0.0000126602$$

2.3.5 Графики



Рис. 2: Зависимость результатов наблюдений от времени

3 Выводы

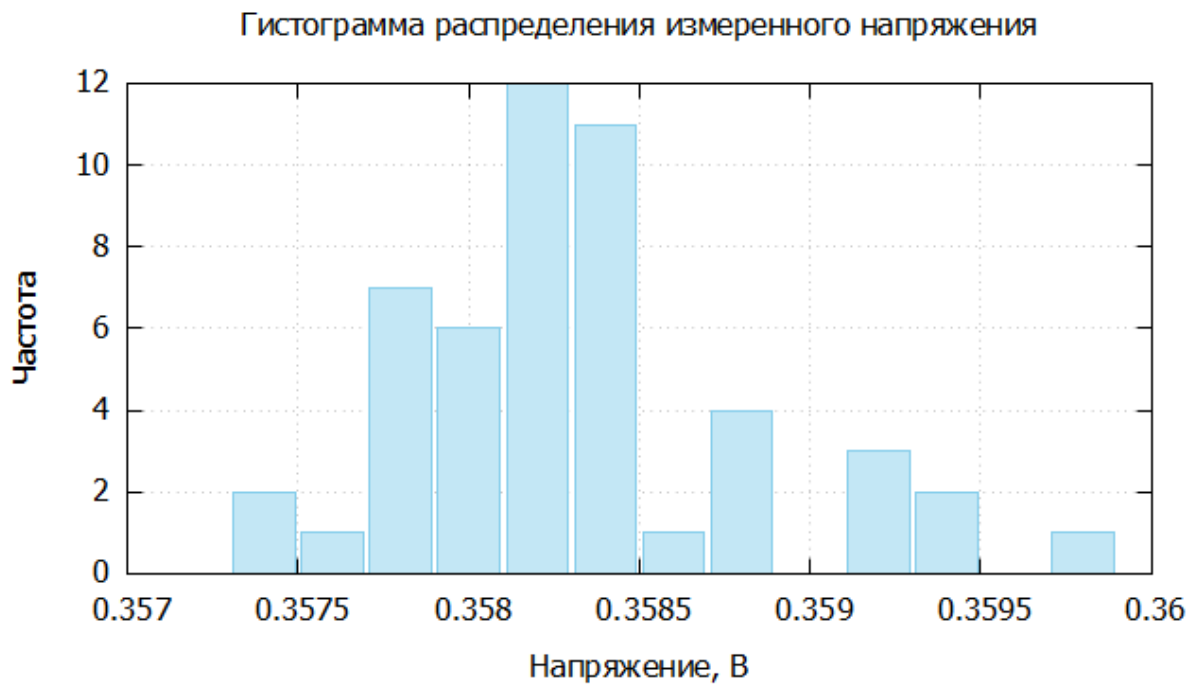


Рис. 3: Распределение результатов наблюдений

В работе проведены прямые многократные измерения напряжения с помощью цифрового вольтметра. Получены 10 предварительных и 50 точных измерений.

На основе результатов:

- Вычислено среднее значение напряжения $\bar{U} = 0,358386$ В;
- Оценена средняя квадратическая погрешность среднего $\sigma_{\bar{U}} \approx 0,000014$ В;
- Установлено отсутствие дрейфа и близкое к нормальному распределение измерений;
- Инструментальная погрешность прибора $\Delta U_{\text{приб}} \approx 0,00518$ В превышает статистическую.

Окончательный результат:

$$U = 0,358386 \pm 0,00518 \text{ В.}$$