

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Физика»

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 100
«Измерение электронным секундомером интервалов времени,
задаваемых по механическому секундомеру»

Выполнил студент: курса

группа:

зачетная книжка:

Преподаватель:

г. Санкт – Петербург
2021 г.

Цель работы – освоение алгоритма обработки результатов прямых многократных измерений, построение гистограммы экспериментальных значений определяемой величины и оценка параметров распределения Гаусса по кривой закона распределения.

Теоретическая часть:

В зависимости от способа получения числового значения измеряемой величины измерения делятся на прямые, косвенные, невоспроизводимые косвенные.

Прямыми называются измерения, при которых искомое значение величины получают из опытных данных. При прямых измерениях экспериментальные операции производятся над самой измеряемой величиной. Числовое значение измеряемой величины получают в экспериментальном сравнении с мерой или по показаниям приборов. Например, измерение тока амперметром, напряжения вольтметром, температуры термометром, массы на весах.

Косвенными называют такие измерения, при которых числовое значение измеряемой величины определяется по известной функциональной зависимости через другие величины, которые можно прямо измерить. При косвенных измерениях числовое значение измеряемой величины получают с участием оператора на основе прямых измерений – решением одного уравнения. К косвенным измерениям прибегают в тех случаях, когда неудобно или невозможно осуществить автоматическое вычисление известной зависимости между одной или несколькими входными величинами и измеряемой величиной. Например, мощность в цепях постоянного тока определяет оператор, умножая напряжение на ток, измеренные прямым измерением с помощью амперметра и вольтметра.

Невоспроизводимые косвенные измерения – это когда при выполнении косвенных измерений невозможно повторить наблюдения в

тождественных условиях относительно одного или нескольких аргументов измеряемой функции.

При выполнении каких-либо расчетов, всегда существует погрешность этих измерений.

Погрешность измерения — отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения. Погрешность измерения является характеристикой точности измерения.

Выяснить с абсолютной точностью истинное значение измеряемой величины, как правило, невозможно, поэтому невозможно и указать величину отклонения измеренного значения от истинного. Это отклонение принято называть ошибкой измерения.

В погрешность определяемой величины входят две составляющие: случайная (статистическая) и систематическая (приборная). Грубый прибор характеризуется погрешностью значительно больше случайной, поэтому при многократных измерениях результат получается практически один и тот же. Точный прибор характеризуется меньшей систематической (приборной) погрешностью по сравнению со случайной, поэтому на распределении полученных результатов измерений сказывается случайный разброс.

Исходные данные:

Таблица 1 – Характеристика приборов

№ прибора	Название	Диапазон секундомера	Цена деления	Погрешность прибора
1	Механический секундомер	0-1800 с.	0,2 с.	0,1 с.
2	Электронный секундомер	0-999,999 с.	0,001 с.	0,001 с.

Таблица 2 – Таблица измерений

№ измерения (предварительный)	Алфавит	№ измерения (окончательный)	t_i	Δt_i	Δt_i^2
1	А		4,791		
2	Б	1	4,913	0.064	0,00410

3	В		5,246		
4	Г	2	4,992	-0,015	0,00022
5	Д		4,814		
6	Е	3	4,869	0,108	0,01167
7	Ё	4	4,747	0,230	0,05292
8	Ж	5	5,258	-0,281	0,07894
9	З	6	5,034	-0,057	0,00324
10	И		5,128		
11	Й	7	5,045	-0,068	0,00462
12	К		5,001		
13	Л		4,928		
14	М	8	4,915	0,062	0,00385
15	Н	9	5,003	-0,026	0,00067
16	О		4,812		
17	П		4,686		
18	Р		5,241		
19	С		5,144		
20	Т	10	4,166	0,811	0,65779
21	У	11	4,938	0,039	0,00152
22	Ф	12	4,850	0,127	0,01614
23	Х	13	5,015	-0,038	0,00144
24	Ц	14	5,228	-0,251	0,06298
25	Ч	15	5,161	-0,184	0,03384
26	Ш	16	5,156	-0,179	0,03202
27	Щ	17	5,009	-0,032	0,00102
28	Ъ	18	5,078	-0,101	0,01019
29	Ы	19	4,978	-0,001	0,00000
30	Ь	20	4,865	0,112	0,01255
31	Э	21	4,772	0,205	0,04204
32	Ю	22	4,911	0,066	0,00436
33	Я		4,960		
34	А		5,231		
35	Б	23	5,181	-0,204	0,04160
36	В		4,894		
37	Г	24	5,123	-0,146	0,02130

38	Д		4,891		
39	Е	25	4,633	0,344	0,11837
40	Ё	26	4,930	0,047	0,00221
41	Ж	27	5,159	-0,182	0,03311
42	З	28	5,092	-0,115	0,01321
43	И		5,086		
44	Й	29	4,959	0,018	0,00033
45	К		5,382		
46	Л		4,909		
47	М	30	5,003	-0,026	0,00067
48	Н	31	4,901	0,076	0,00578
49	О		5,048		
50	П		5,259		
51	Р		4,765		
52	С		5,244		
53	Т	32	4,851	0,126	0,01589
54	У	33	5,048	-0,071	0,00503
55	Ф	34	5,186	-0,209	0,04366
56	Х	35	4,981	-0,004	0,00002
57	Ц	36	4,982	-0,005	0,00002
58	Ч	37	5,027	-0,050	0,00250
59	Ш	38	4,954	0,023	0,00053
60	Щ	39	5,060	-0,083	0,00688
61	Ъ	40	5,137	-0,160	0,02559
62	Ы	41	5,147	-0,170	0,02888
63	Ь	42	4,909	0,068	0,00463
64	Э	43	4,703	0,274	0,07510
65	Ю	44	4,962	0,015	0,00023
66	Я		4,936		
67	А		4,670		
68	Б	45	5,133	-0,156	0,02432
69	В		4,992		
70	Г	46	4,846	0,131	0,01717
71	Д		4,917		
72	Е	47	5,009	-0,032	0,00102

73	Ё	48	5,108	-0,131	0,01715
74	Ж	49	4,848	0,129	0,01665
75	З	50	4,821	0,156	0,02435
76	И		5,175		
77	Й	51	4,903	0,074	0,00548
78	К		5,066		
79	Л		4,971		
80	М	52	5,148	-0,089	0,00791
81	Н	53	5,010	0,006	0,00004
82	О		5,065		
83	П		4,953		
84	Р		5,093		
85	С		4,805		
86	Т	54	4,814	-0,171	0,02923
87	У	55	5,066	-0,033	0,00109
88	Ф	56	5,021	-0,044	0,00193
89	Х	57	4,943	0,034	0,00116
90	Ц	58	5,012	-0,035	0,00122
91	Ч	59	5,043	-0,066	0,00435
92	Ш	60	5,229	-0,252	0,06348
93	Щ	61	4,810	0,167	0,02790
94	Ъ	62	5,031	-0,054	0,00291
95	Ы	63	4,988	-0,011	0,00012
96	Ь	64	4,774	0,203	0,04123
97	Э	65	5,129	-0,152	0,02309
98	Ю	66	4,811	0,166	0,02757
99	Я		4,999		
100	А		5,126		

Расчётные формулы:

1) выборочное среднее значение: $\bar{t} = \frac{\sum t_i}{n}$,

где t_i – результат наблюдения; n – количество измерений.

2) отклонения отдельных результатов наблюдений от среднего:

$$\Delta t_i = t_i - \bar{t},$$

где i - номер измерения; t_i – результат наблюдения; \bar{t} – среднее значение результатов.

3) расчет среднеквадратичной погрешности $S(t)$ отдельного результата наблюдения: $S(t) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum \dot{t}_i^2}$,

где n – количество измерений; Δt_i -отклонение от среднего результата.

4) среднеквадратичную погрешность $S(\bar{t})$ среднего арифметического результата измерений по формуле: $S(\bar{t}) = \frac{S(t)}{\sqrt{n}}$,

где $S(t)$ - среднеквадратичной погрешности отдельного результата; n – количество измерений

5) случайная погрешность: $\Delta t_{cl} = t_{n.p} \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (\Delta t_i^2)}$,

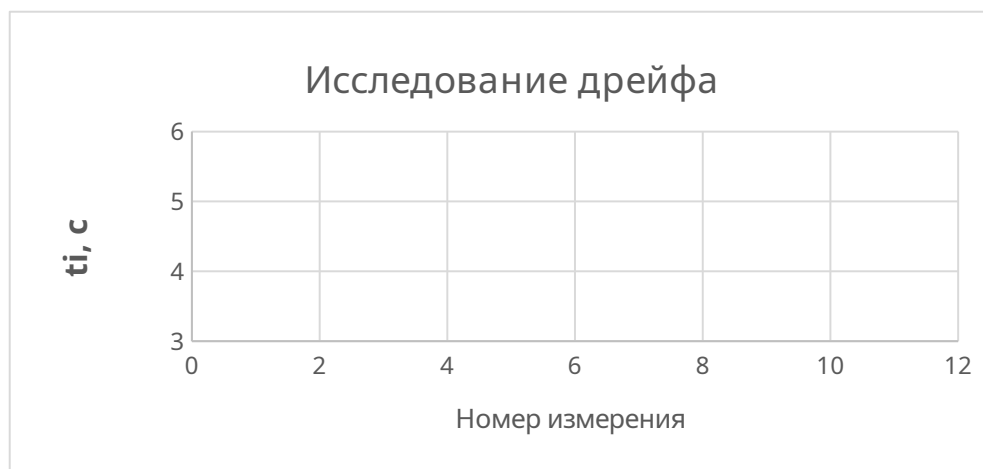
где $t_{n.p}$ - коэффициент Стьюдента; n – количество измерений; Δt_i -отклонение от среднего результата.

6) ширина интервала: $\sigma = \frac{t_{max} - t_{min}}{n}$

где t_{max} – максимальное значение времени; t_{min} – минимальное значение времени; n – число ячеек массива.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Для начала исследуем дрейф: для этого построим график зависимости результатов наблюдений от порядкового номера наблюдения:



По графику определяем, что дрейф отсутствует.

2. Статистический анализ выборки

Выборочное среднее значение: $\bar{t} = \frac{328,485}{66} = 4,977$ с

Отклонение отдельных результатов наблюдений от среднего:

$$\Delta t_1 = 4,913 - 4,977 = -0,064 \text{ с}$$

...

$$\Delta t_2 = 4,992 - 4,977 = +0,015 \text{ с}$$

$$\Delta t_{65} = 5,129 - 4,977 = +0,152 \text{ с}$$

$$\Delta t_3 = 4,869 - 4,977 = -0,108 \text{ с}$$

$$\Delta t_{66} = 4,811 - 4,977 = -0,166 \text{ с}$$

Результаты записываем в таблицу 2 и проверяем выполнение равенства

$$\sum_{i=1}^n \Delta t_i = 0$$

$$\sum \Delta t_i = (0,064) + (-0,015) + (0,108) + \dots + (-0,152) + (-0,166) = 0$$

Вычисляем значения $(\Delta t_i)^2$ и сумму $\sum \Delta t_i^2$. Результаты записываем в таблицу 2.

Среднеквадратичная погрешность отдельного результата наблюдения:

$$S(t) = \sqrt{\frac{1}{66-1}} * 4,977 = 0,617 \text{ с}$$

Среднеквадратичная погрешность среднего арифметического результата измерений:

$$S(\bar{t}) = \frac{0,617}{\sqrt{66}} = 0,0759 \text{ с}$$

Вычисляем случайную погрешность: (для нашего количества измерений при доверительной вероятности $P = 0,95$, коэффициент Стьюдента $t_{n,P} = 1,96$).

$$\Delta t_{сл} = 1,96 * \sqrt{\frac{1}{66(66-1)}} * 4,977 = 0,034 \text{ с}$$

Приборная погрешность электронного секундомера Δx прибора = 0,001с. Она меньше случайной более чем в два раза. Тогда доверительную погрешность результата измерений приравниваем к случайной: $\Delta t = t_{сл} = 0,034$

Окончательный результат измерений: $t = 4,977 \pm 0,034$ с; $P = 0,95$.

3. Оценим параметры закона распределения вероятностей с помощью гистограммы

По результатам измерений: $t_{\max} = 5,258$ с; $t_{\min} = 4,166$ с, тогда ширина интервала: $\frac{5,258 - 4,166}{6} = 0,182$ с.

Разобьем массив по ячейкам и результат занесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Массив данных

№	t_{\min}	t_{\max}	Δn	$\Delta n/n$
1	4,166	4,348	1	0,015
2	4,348	4,530	0	0
3	4,530	4,712	2	0,030
4	4,712	4,894	13	0,20
5	4,894	5,076	33	0,50
6	5,076	5,258	17	0,26

$$\frac{\Delta n_1}{n} = \frac{1}{66} = 0,015;$$

$$\frac{\Delta n_4}{n} = \frac{13}{66} = 0,20;$$

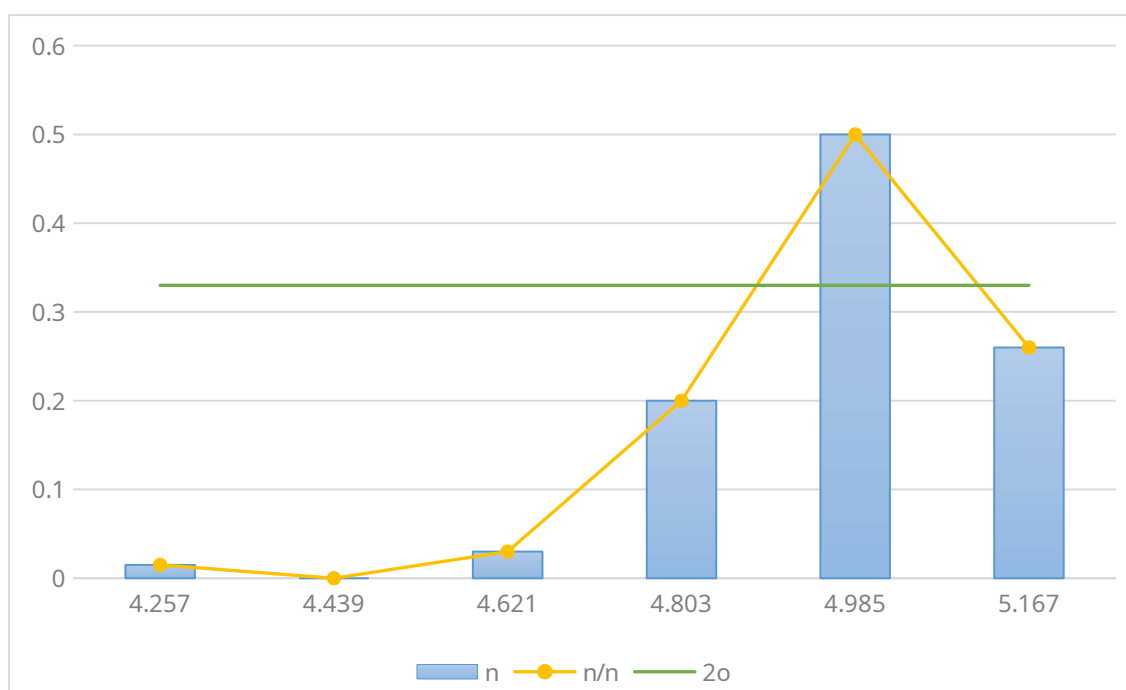
$$\frac{\Delta n_2}{n} = \frac{0}{66} = 0;$$

$$\frac{\Delta n_5}{n} = \frac{33}{66} = 0,50;$$

$$\frac{\Delta n_3}{n} = \frac{2}{66} = 0,030;$$

$$\frac{\Delta n_6}{n} = \frac{17}{66} = 0,26$$

Приступаем к построению гистограммы экспериментальных значений и кривой закона распределения:



$$2\sigma = 5,148 - 4,821 \approx 0,33, \text{ тогда } \sigma \approx \frac{0,33}{2} \approx 0,165$$

Сравним величину $S(t)$ со значением σ , полученным при построении гистограммы и кривой закона распределения:

$S(t) = 0,617$, а $\sigma = 0,165$. Из этого сравнения видно, что расчетное значение $S(t)$ более чем в 4 раза больше найденное значение σ .

Вывод: при выполнении данной лабораторной работы мною были получены практические навыки в освоении алгоритма обработки результатов прямых многократных прямых измерений, построена гистограммы экспериментальных значений определяемой величины и произведена оценка параметров распределения Гаусса из кривой закона распределения. По данной оценке можно сделать вывод, что расчетное значение $S(t) = 0,617$ более чем в 4 раза превышает найденное по гистограмме $\sigma = 0,165$. Возможно, такое расхождение получилось из-за некорректные работы оператора, снимающего показания.

Список литературы

1. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин: учеб. пособие А. Н. Зайдель. – СПб.: Лань, 2005. – 112 с.
2. Деденко Л. Г. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента / Л. Г. Деденко, В. В. Керженцев. – М.: МГУ, 1977.
3. Измерения физических величин и обработка результатов измерений: метод. указания к лабораторной работе № 100. – СПб., 2000. – 30 с.
4. Руководство к лабораторным занятиям по физике / Под ред. Л. Л. Гольдина. – М.: Наука, 1973.