Лабораторная работа (дистанционная)

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цели и задачи работы

Оценить неопределенность многократных прямых измерений.

Приборы и оборудование

Рулетки по ГОСТ 7502 различной длины (3м; 5м и 10м) различных классов точности ценой деления 1,0 мм.

Объекты измерений

Длина подоконной плиты; длина, высота или ширина стены помещения и другие конструкции.

Краткие сведения из теории:

Согласно ГОСТ 34100.3-2017 [2]:

Неопределенность измерения – параметр, относящийся к результату измерения и характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине. Параметром может быть стандартное отклонение или полуширина доверительного интервала (п.5).

Стандартная неопределенность – Неопределенность результата измерения, выраженная в виде стандартного отклонения.

Оценивание (неопределенности) типа А – метод оценивания неопределенности путем статистического анализа ряда наблюдений.

Оценивание (неопределенности) типа В – **м**етод оценивания неопределенности, отличный от статистического анализа ряда наблюдений.

Суммарная стандартная неопределенность – **с**тандартная неопределенность результата измерения, полученного из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню взвешенной суммы дисперсий или ковариаций этих величин, весовые коэффициенты при которых определяются зависимостью изменения результата измерения от изменений этих величин.

Расширенная неопределенность – величина, определяющая интервал вокруг результата измерения, который, как ожидается, содержит в себе большую часть распределения значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине.

Долю распределения, охватываемую интервалом, можно рассматривать как вероятность охвата или уровень доверия для данного интервала.

Чтобы сопоставить интервалу, рассчитанному через расширенную неопределенность, некоторое значение уровня доверия, необходимо сделать в явном или неявном виде предположение о форме распределения, характеризуемого результатом измерения и его суммарной стандартной неопределенностью. Уровень доверия, поставленный в соответствие этому интервалу, может быть известен только в той мере, в которой оправдано сделанное предположение о форме распределения.

В параграфе 5 Рекомендаций INC-1 (1980) расширенная неопределенность названа общей неопределенностью.

Коэффициент охвата – Коэффициент, на который умножают суммарную стандартную неопределенность для получения расширенной неопределенности. Коэффициент охвата обычно принимает значения от 2 до 3.

Доверительная вероятность (надежность) – вероятность, с которой в условиях данного эксперимента полученные экспериментальные данные можно считать надежными (достоверными. Величина доверительной вероятности определяется характером производимых измерений. При выполнении лабораторных экспериментов доверительная вероятность обычно считается равной 95% (p=0,95).

То есть расширенная неопределенность позволяет судить о том, в каком доверительном интервале находится средний результат многократных измерений.

Порядок оформления лабораторной работы

1. Изучить краткие сведения из теории.

2. Выписать: цель работы, приборы и оборудование.

3. Определить погрешность используемого средства измерения по его классу точности. Для рулеток применить требования таблицы 1.1 ГОСТ 7502-98 [1]. Если при измерениях температура воздуха отличается от 20°С, то при определении погрешности рулетки применить дополнительно поправку Δ_t на температурный коэффициент линейного расширения по формуле 8.6 ГОСТ 7502-98.

4. Произвести замеры прибором с нескольких позиций параметров помещения – через каждые 0,5-1 м в обоих направлениях в количестве испытаний, заданных по варианту. Значение доверительной вероятности p принять равным 0,95.

Таблица 1.1 – Исходные данные

№ варианта	Количество измерений (n)
1	5
2	6
3	7
4	8
5	9
6	10
7	11
8	12
9	13
10	14
11	15
12	16
13	17
14	18
15	19
16	20
17	21
18	22
19	23
20	24
21	25

22	26
23	27
24	28
25	29
26	30
27	31
28	32
29	33
30	34
31	35
32	36
33	37
34	38
35	39

При этом должны быть соблюдены условия равноточности наблюдений, то есть выполнение наблюдений (измерений) должно проводиться одним наблюдателем, одним и тем же методом, с помощью одного и того же прибора и в одинаковых условиях.

4. Полученные результаты измерений занести в табл. 1.2 (столбцы 1 и 2).

Таблица 1.2 – Результаты измерений

Количество измерений (n)	Результаты измерений (X_i)	Отклонение от среднего $(X_i - \overline{X})$	$(X_i - \overline{X})^2$
1			
2			
...			
n			
$\sum$	$\sum_{i=1}^{n} X_i$	$\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})$	$\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2$

5. Произвести обработку результатов по порядку, приведенному ниже:

1) Определить среднее арифметическое измерений по формуле:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \qquad (1.1)$$

2) Вычислить отклонение каждого измерения от среднего значения: $(X_i - \overline{X})$ и сумму отклонений $\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})$, занести в табл. 1.2 (столбец 3).

3) Возвести в квадрат отклонение каждого измерения от среднего значения: $(X_i - \overline{X})^2$ и определить сумму квадратов отклонений $\sum_{i=1}^{n} (X_i - \overline{X})^2$, занести в табл.1.2 (столбец 4).

4) Определить среднее квадратическое отклонение результатов измерений по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}{n-1}} \qquad (4.2)$$

Среднее квадратическое отклонение σ наиболее часто используется в качестве основного параметра, характеризующего рассеивание результатов измерений, имеет размерность измеряемой величины. В результате замены математического ожидания m_x средним арифметическим $\overline{X}$ выражение n заменяется выражением $(n-1)$. Разница между средним арифметическом σ и математическим ожиданием m_x равна величине случайной погрешности, которая подчиняется тому же закону распределения, указанному на рис.1.1.

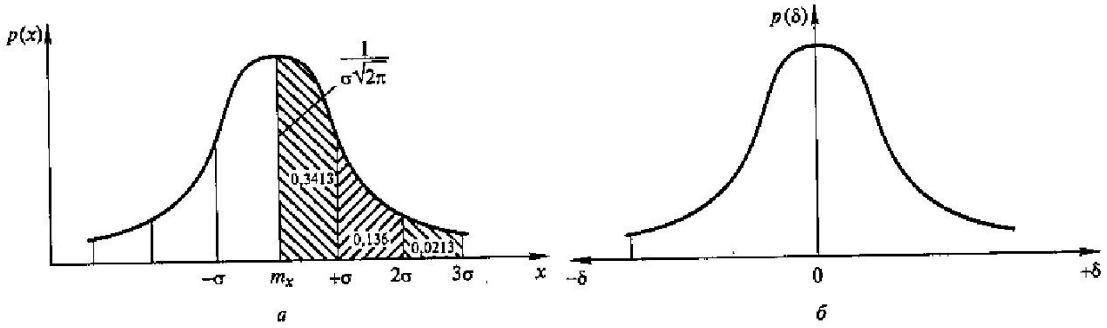


Рисунок 1.1 – Кривая нормального распределения случайной величины (а) и случайной погрешности (б):

$p(x)$ – дифференциальная функция распределения случайной величины;

$p(\delta)$ – дифференциальная функция распределения случайной погрешности;

σ – среднее квадратическое отклонение;

δ – погрешность;

m_x – математическое ожидание.

5) Проверить на промах результат, имеющий наибольшее отклонение от среднего значения.

5.1 Для количества измерений n≤20 применим критерий Романовского:

$$\left|\frac{X_i - \overline{X}}{\overline{\sigma}}\right| = \beta. \qquad (1.3)$$

Сравнить β с коэффициентом β_T, зависящим от заданного уровня значимости $q=1-p$ и числа измерений n (табл. 1.3), где p – доверительная вероятность, с которой случайная погрешность измерения не выйдет за пределы доверительного интервала.

Таблица 1.3 – Значения критерия Романовского β_m при числе намерений n от 4 до 20

q	Число измерений n											
	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
0,05	1,69	1,87	2,00	2,09	2,17	2,24	2,29	2,39	2,46	2,52	2,56	2,62

Если выполняется условие $\beta \geq \beta_T$, то результат считается промахом и отбрасывается.

5.2 Для количества измерений n>20 применим критерий Райта (трех сигм).

$$\left|X_i - \overline{X}\right| < 3\sigma. \qquad (1.4)$$

Если выполняется условие данное условие, то промаха нет. В противном случае, результат отбрасывается.

6) Если в результате обработки измерений был допущен промах, то значение данного измерения X_i исключают из общего числа измерений. Далее заново таким же образом по п.п. 1…5 производят обработку измерений, но уже без данного значения, дающего промах.

7) Определить неопределенность по типу А по формуле:

$$U_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \qquad (1.5)$$

Данная неопределенность характеризует рассеивание многократных значений измеряемой величины.

8) Определить неопределенность по типу Б:

$$U_B = \frac{a_i^+ - a_i^-}{2\sqrt{3}}. \qquad (1.6)$$

При симметричных границах неопределенности:

$$a_i^+ = a_i^-, \qquad (1.7)$$

тогда $U_B = \frac{2a_i}{2\sqrt{3}} = \frac{a_i}{\sqrt{3}} = \frac{\Delta_{СИ}}{\sqrt{3}}$, (1.8)

где $\Delta_{СИ}$ – погрешность используемого средства измерения (СИ).

9) Определить суммарную неопределенность:

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}. \qquad (1.9)$$

Результаты расчетов считать до 4-й или до 5-й цифры после запятой, округлять до 3-й цифры.

9) Определить расширенную неопределенность:

$$U = k \cdot U_C, \qquad (1.10)$$

где k – коэффициент охвата – множитель, на который умножают стандартную суммарную неопределенность U_C измеряемой величины X с целью получения расширенной неопределенности измерения U.

Часто на практике для упрощения вычисления неопределенности результатов измерений делают предположение о нормальности закона распределения возможных значений измеряемой величины X и полагают, что k=2 при доверительной вероятности p=0,95 или k=3 при p=0,99.

5. **Выводы работы записать в форме:** измеряемая величина (длина помещения, ширина подоконной плиты и т.д.) равна $\overline{X} \pm U$ с доверительной вероятностью 0,95.

Вопросы для защиты лабораторной работы

1. Как влияет погрешность средства измерения на результат измерений?
2. Какие условия проведения измерений называют равноточными?
3. По числу измерений какие бывают измерения? Дать краткую характеристику каждому.
4. Что такое доверительная вероятность? Чему она равна при выполнении лабораторных экспериментов?
5. В таблице 2 есть понятие «отклонение от среднего». Что это за погрешность? В каких единицах она измеряется?
6. Что характеризует среднее квадратическое отклонение σ? Почему в ее формуле в знаменателе выражение *n* заменяется выражением *(n-1)*?
7. Как выглядит кривая нормального распределения случайной величины? Что она характеризует?
8. Какие математические критерии определения промаха Вы знаете? Чем они отличаются?
9. Что такое неопределенность измерений? Для чего ее ввели в дополнение к погрешности?
10. Какие типы неопределенности Вы знаете? Что они характеризуют?
11. Напишите формулу неопределенности по типу А. Что она характеризует?
12. Напишите формулу неопределенности по типу Б. Что она характеризует?
13. Как определить суммарную неопределенность?
14. Как определить расширенную неопределенность? Что она характеризует?

15. В каком виде необходимо записывать окончательный результат измерений?

Список литературы

1. ГОСТ 7502-98 «Рулетки измерительные металлические. Технические условия».
2. ГОСТ 34100.3-2017. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения.