Подписано электронной подписью:
Вержицкий Данил Григорьевич
Должность: Директор КГПИ ФГБОУ ВО «КемГУ»
Дата и время: 2024-02-21 00:00:00
471086fad29a3b30e244c728abc3661ab35c9d50210dcf0e75e03a5b6fdf6436

Кузбасский гуманитарно-педагогический институт
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Кемеровский государственный университет»

Факультет информатики, математики и экономики

Кафедра информатики и вычислительной техники им. В. К. Буторина

И. А. Жибинова

Метрология, стандартизация и сертификация

Методические указания к выполнению курсовой работы

для обучающихся по направлению подготовки

09.03.01 Информатика и вычислительная техника
(направленность (профиль) Автоматизированные системы обработки информации и управления

Новокузнецк

2021

УДК 378.147.88(072)
ББК 74.484(2Рос-4Кем)я73
Ж66

Жибинова И. А.
Ж66 «Метрология, стандартизация и сертификация: метод. указ. к выполнению курсовой работы» для обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 – Информатика и вычислительная техника / И. А. Жибинова ; Кузбасский гуманитарно-педагогический ин-т Кемеров. гос. ун-та. – Новокузнецк: КГПИ ФГБОУ ВО «КемГУ», 2021. – 58 с.

Методические указания к выполнению курсовой работы содержат варианты заданий по обработке результатов однократных прямых и многократных прямых и косвенных измерений; теоретические сведения; порядок выполнения работы; требования к структуре работы и представлению результатов; требования к содержанию основной части пояснительной записки к курсовой работе; список рекомендуемой литературы и необходимых нормативных документов по метрологии.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, направленность (профиль) подготовки «Автоматизированные системы обработки информатики и управления». Могут быть использованы обучающимися по другим направлениям подготовки, занимающимися обработкой результатов измерений.

Рекомендовано
на заседании кафедры информатики и вычислительной техники
им. В. К. Буторина
10 ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой

А. В. Маркидонов

Утверждено
методической комиссией факультета информатики, математики и экономики
09 декабря 2021 г.

Председатель методкомиссии

И. А. Жибинова

©Жибинова И. А., 2021
© Кузбасский гуманитарно-педагогический институт федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кемеровский государственный университет», 2021

Текст представлен в авторской редакции

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5
1 Общие положения 6
2 Теоретические сведения 10
2.1 Понятие и виды погрешностей измерения 10
2.2 Форма записи результата измерений 13
2.3 Округление при обработке результатов измерений 14
2.4 Обработка результатов прямых многократных измерений 16
2.4.1 Графическое изображение ряда результатов измерений 17
2.4.2 Исключение известных систематических погрешностей из результатов измерений 22
2.4.3 Вычисление оценки измеряемой величины 22
2.4.4 Вычисление среднего квадратического отклонения результатов измерений 23
2.4.5 Исключение грубых погрешностей 24
2.4.6 Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов измерений при числе результатов измерений $15 < n \leq 50$ 26
2.4.7 Вычисление доверительной границы случайной погрешности оценки измеряемой величины 28
2.5 Обработка результатов косвенных измерений 31
2.5.1 Косвенные измерения при линейной зависимости 32
2.5.2 Косвенные измерения при нелинейной зависимости 33
2.6 Обработка результатов прямых однократных измерений 34
2.6.1 Оценивание погрешностей измерений 34
2.6.2 Классы точности средств измерений и их использование при оценке погрешности измерения 36

3 Задания и методические указания к выполнению 40
3.1 Задание 1. Прямые многократные измерения 40
3.1.1 Условие задания 40
3.1.2 Указания к выполнению задания 1 41
3.2 Задание 2. Косвенные многократные измерения 42
3.2.1 Условие задания 42
3.2.2 Указания к выполнению задания 2 48
3.3 Задание 3. Прямые однократные измерения 49
3.3.1 Условие задания 49
3.3.2 Указания к выполнению задания 3 51
4 Структура и содержание пояснительной записки к курсовой работе . 52
4.1 Содержание основной части пояснительной записки 52
5 Список рекомендуемой литературы 56

Введение

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника (направленность (профиль) Автоматизированные системы обработки информации и управления), при освоении ими дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Курсовая работа по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» направлена на формирование и обучающихся способности применять на практике естественнонаучные и общеинженерные знания, математические методы, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

Курсовая работа по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» направлена на формирование и обучающихся умений и навыков применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования для решения профессиональных задач, связанных с метрологическим обеспечением проектной и научно-исследовательской деятельности.

Кроме того, обучающиеся приобретут практический опыт использования нормативной документации при решении конкретных задач, что соответствует требованиям к результатам освоения основной образовательной программы по данному направлению подготовки.

В методических указаниях приведены варианты заданий; теоретические сведения, необходимые для их выполнения; содержится список рекомендуемой литературы и нормативных документов по метрологии; детально изложен порядок выполнения заданий; приведены требования к структуре работы и представлению её результатов, которые студент должен показать в пояснительной записке; описаны порядок и критерии оценивания.

1 Общие положения

Курсовая работа по учебной дисциплине - это индивидуальное задание, которое предполагает разработку совокупности документов (расчетно-пояснительной или пояснительной записки, при необходимости – графического, иллюстративного материала), и является творческим или репродуктивным решением конкретной задачи, выполненной студентом самостоятельно под руководством преподавателя, на основе приобретенных по данной и смежным дисциплинам знаний и умений.

В курсовой работе по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» студент должен продемонстрировать владение методами обработки результатов измерений и оценивания точности измеряемой величины посредством погрешностей. Тема курсовой работы «Математическая обработка результатов измерений» является общей. Варианты заданий отличаются физическими величинами и их значениями.

Основная часть курсовой работы состоит из трех разделов.

В первом разделе производится метрологическая оценка результата прямых многократных измерений, во втором – оценка результата косвенных многократных измерений, в третьем – оценка результата прямого однократного измерения.

Руководитель курсовой работы выдает задание на работу (2-я неделя семестра), методические указания по выполнению и оформлению, оказывает студенту помощь в разработке графика и календарного плана на весь период выполнения работы, рекомендует студенту основную литературу, справочные и методические материалы, проводит регулярные консультации по расписанию, проверяет ход выполнения работы.

Ответственность за результаты работы несет студент.

Курсовая работа оформляется в виде *пояснительной записки* и *демонстрационной части* (компьютерной презентации), состоящей из набора

слайдов и их копий на бумажных носителях. Демонстрационные материалы используются во время защиты работы.

Обратите внимание! Общие требования к содержанию и оформлению типовых структурных элементов пояснительной записки к курсовой работе и демонстрационной части приведены в [5] и являются обязательными.

Пояснительная записка представляется руководителю на проверку в электронном и распечатанном виде в соответствии с графиком самостоятельной работы студента.

Курсовая работа подлежит защите. Защита курсовой работы осуществляется в назначенное руководителем время. К защите допускаются студенты, представившие оформленную в соответствии с установленными требованиями пояснительную записку к курсовой работе.

На защите заслушивается:

– устный доклад студента о выполненной работе и ее результатах;

– ответы на вопросы присутствующих на защите (руководителя курсовой работы, студентов группы и приглашенных преподавателей) по представленной пояснительной записке и докладу;

– отзыв руководителя курсовой работы;

– дополнительные вопросы и замечания присутствующих на защите;

– ответы студента на замечания и на дополнительные вопросы.

Для доклада основных итогов работы студенту дается 7-10 минут. Основные положения работы при докладе должны быть представлены в виде компьютерной презентации.

Оценка за курсовую работу складывается из следующих показателей:

– степень соответствия пояснительной записки требованиям к содержанию и оформлению;

– уровень усвоения теоретических знаний, показанный при ответе на вопросы при защите;

– уровень практических навыков, контролируемый выполнением расчетной части работы;

– соблюдение установленных сроков выполнения работы.

Руководитель курсовой работы оценивает качество пояснительной записки, доклада, демонстрационного материала, а также ответов на заданные вопросы, учитывая мнения, высказанные в ходе группового обсуждения присутствовавших на защите.

Критерии оценки выполнения студентами курсовых работ:

Оценка «отлично» ставится в том случае, если:

– работа выполнена в установленные сроки, в полном соответствии требованиям к содержанию и оформлению;

– при защите работы студент показывает глубокие знания вопросов темы, свободно оперирует данными, во время доклада результатов использует наглядные пособия (таблицы, схемы, графики и т.п.), доказательно отвечает на вопросы; количество правильных ответов на защите составляет от 80 до 100 процентов;

– расчетная часть курсовой работы выполнена верно.

Оценка «хорошо» ставится, если работа студента удовлетворяет основным требованиям к работе на оценку «отлично», но в ней допущены несущественные ошибки или недочеты. Количество правильных ответов на защите от 66 до 79 процентов.

Оценка « удовлетворительно» ставится, если:

– без уважительной причины нарушался установленный график выполнения заданий;

– допущены существенные ошибки, работа отличается поверхностным анализом и недостаточно критическим разбором предмета работы, в ней просматривается непоследовательность изложения материала, имеются замечания по содержанию работы и методике анализа;

– оформление пояснительной записки не в полной мере отвечает уста-

новленным требованиям;

– при защите студент проявляет неуверенность, показывает слабое знание вопросов темы, не дает полного, аргументированного ответа на заданные вопросы; количество правильных ответов на защите от 50 до 65 процентов.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если:

– без уважительной причины нарушался установленный график выполнения заданий;

– оформление пояснительной записки не в полной мере отвечает установленным требованиям;

– допущены принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных заданий, работа не содержит анализа и практического разбора предмета работы, не отвечает требованиям, изложенным в методических рекомендациях, высказываются сомнения руководителя о достоверности результатов и выводов;

– при защите работы студент затрудняется отвечать на поставленные вопросы и (или) допускает существенные ошибки; количество правильных ответов на защите менее 50 процентов.

Студенту, выполнившему работу в срок, но получившему при защите неудовлетворительную оценку, назначается повторная защита.

2 Теоретические сведения

2.1 Понятие и виды погрешностей измерения

Результат (измерения величины) – множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существенной информацией.

Погрешность (результата измерения) – отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

$$\Delta x = x_{изм} - x_{ист(дст)}, \qquad (2.1)$$

где Δx - абсолютная погрешность измерения;

$x_{изм}$ –значение величины, полученное путем ее измерения;

$x_{ист}$ - истинное значение измеряемой величины;

$x_{дст}$ - действительное значение измеряемой величины.

Погрешности классифицируют по способу выражения, по источнику возникновения и другим признакам.

По способу выражения различают *абсолютную*, *относительную* и *приведенную* погрешности.

Абсолютная погрешность Δx – это погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины и определяемая по формуле $\Delta x = x_{изм} - x_{ист(дст)}$, (2.1).

Относительная погрешность – это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности Δx к действительному значению величины. Относительную погрешность δ находят из выражения

$$\delta = \frac{\Delta x}{x_{\text{дст}}} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta x}{x_{\text{дст}}} \cdot 100\%, \qquad (2.2)$$

где Δx - границы абсолютной погрешности измерения;

$x_{дст}$ –действительное или измеренное значение величины.

Приведенная погрешность (средства измерений) – это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность средства измерений отне-

сена к условно принятому значению x_N, постоянному на всем диапазоне измерений или его части, так называемому нормирующему значению

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\%, \qquad (2.3)$$

где x_N – нормирующее значение.

Правила выбора нормирующего значения x_N показаны в 2.6.2 методических указаний.

В зависимости от знака Δx, значения δ и γ могут быть как положительными, так и отрицательными.

По источнику возникновения различают *погрешность метода измерений*, *инструментальную* и *субъективную* погрешности.

Погрешность метода измерений (*методическая погрешность*) – это составляющая погрешности измерения, обусловленная несовершенством принятого метода измерений. Погрешность метода измерений в основном проявляется как систематическая погрешность, но иногда может проявляться и как случайная погрешность.

Инструментальная погрешность (измерения): составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Субъективная погрешность – это составляющая систематической погрешности измерения, обусловленная индивидуальными особенностями конкретного оператора.

По характеру проявления различают *систематическую*, *случайную* и *грубую* погрешности.

Систематическая погрешность измерения; систематическая погрешность - составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Отличительный признак систематических погрешностей заключается в том, что они могут быть предсказаны, обнаружены и, благодаря этому, почти полностью устранены введением соответствующей поправки в результат измерения (см. 2.4.2 методических указаний). Поправки определяются и вычисляются с некоторой погрешностью, часть систематических погрешностей оказывается необнаруженной, поэтому существует понятие *неисключенной систематической погрешности*.

Неисключенная систематическая погрешность измерения (далее — НСП) - составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью оценивания систематической погрешности, на которую введена поправка, или систематической погрешностью, на которую поправка не введена.

Неисключенная систематическая погрешность оценки измеряемой величины образуется из составляющих, в качестве которых могут быть приняты НСП:

- метода;
- средства измерений;
- вызванные другими источниками.

В качестве границ составляющих НСП принимают, например, пределы допускаемых основных и дополнительных погрешностей средств измерений, если случайные составляющие погрешности пренебрежимо малы.

Случайная погрешность измерения; случайная погрешность - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же величины, проведенных с одинаковой тщательностью.

Эти погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Их можно существенно уменьшить путем увеличения числа наблюдений.

В основе теории случайных погрешностей лежит теория вероятностей и методы математической статистики. Из этого следует, что точный расчет по-

грешностей невозможен. Их можно только *оценить* с некоторой определенной вероятностью. Оценку случайной погрешности и определение интервала, внутри которого с заданной вероятностью лежит истинное значение физической величины, проводят по результатам статистической обработки ее многократных измерений (см. 2.4, 2.5 методических указаний).

Грубая погрешность измерения: погрешность измерения, существенно превышающая зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешностей.

При однократном измерении промах может быть обнаружен только путем логического анализа или сопоставления результата с априорным представлением о нем. При многократном измерении одной и той же величины постоянного размера промахи проявляются в том, что результаты отдельных измерений, входящих в один ряд, резко отличаются от остальных результатов этого ряда. Такие промахи выявляют с помощью специальных критериев при обработке результатов измерений. При последующей статистической обработке результат, признанный промахом, не учитывают (см.2.4.5 методических указаний).

Погрешность измерения равна сумме случайной и систематической погрешностей.

2.2 Форма записи результата измерений

Оформление записи результата измерений проводят в соответствии с правилами по межгосударственной стандартизации.

Результат измерения результат измерения является реализацией случайной величины, равной сумме значения измеряемой величины и значения погрешности измерений. Характеристиками погрешности измерений являются:

– среднеквадратичное отклонение (СКО) погрешности измерений (точечные характеристики качества измерений);

– доверительные границы погрешности измерений – границы интервала, в котором погрешность измерений находится с заданной вероятностью, называемой доверительной $P_{дов}$ (интервальные характеристики качества измерений).

В случаях, когда результаты измерений являются окончательными, пригодными для решения определенной технической задачи и не предназначенными для совместного использования с другими результатами измерений и расчетов, применяют в основном интервальные характеристики погрешности.

При симметричных доверительных границах погрешности результат измерения представляют в форме

$$x = x_{изм} \pm \Delta, P = P_{\text{дов}} \quad (2.4)$$

где $x_{изм}$ –значение величины, полученное путем ее измерения (измеренное значение величины);

Δ – доверительные границы погрешности измерений;

$P_{\text{дов}}$ – доверительная вероятность.

$x_{изм}$ и Δ находят в результате математической обработки экспериментальных данных, полученных в ходе измерения, по правилам и в порядке, установленным нормативными документами по метрологии для каждого вида измерений (см. 2.4 – 2.6 методических указаний).

2.3 Округление при обработке результатов измерений

Погрешность результата измерений позволяет определить те цифры результата, которые являются достоверными. При расчете величины погрешности, особенно с помощью ЭВМ, значение погрешности получается с большим числом знаков. Это создает впечатление о высокой точ**н**ости измерений, что не соответствует действительности. Вследствие этого рассчитанное значение погрешности и результата измерения следует округлять.

Округление при обработке результатов измерений выполняют в соответствии со следующими правилами (П):

П.1. Точность результатов измерений и точность вычислений при обработке результатов измерений должны быть согласованы с требуемой точностью получаемой оценки измеряемой величины.

П.2. Погрешность оценки измеряемой величины следует выражать не более чем двумя значащими цифрами.

Все цифры, кроме нуля, всегда значащие.

Нуль является значащей цифрой, если он стоит между другими цифрами. Например, в числе 1,105 нуль является значащей цифрой.

Нуль не является значащей цифрой:

–если он стоит слева от других цифр. Например, в числе 0,00115 три нуля, стоящих слева от цифры 1, являются незначащими;

–конечные нули, когда они являются просто заполнителями для обозначения масштаба числа.

Две значащие цифры в погрешности оценки измеряемой величины сохраняют при точных измерениях или если первая значащая цифра не более трех.

Погрешность результата измерения указывают *одной* значащей цифрой, если первая равна 3 и более.

П.3. Результат измерения округляют до того же десятичного разряда, которым оканчивается значение абсолютной погрешности;

П.4. Число цифр в промежуточных вычислениях при обработке результатов измерений должно быть на две больше, чем в окончательном результате.

П.5. Погрешность при промежуточных вычислениях должна быть выражена не более чем тремя значащими цифрами.

П.6. Сохраняемую значащую цифру в погрешности оценки измеряемой величины при округлении увеличивают на единицу, если отбрасываемая

цифра неуказываемого младшего разряда больше либо равна пяти, и не изменяют, если она меньше пяти.

2.4 Обработка результатов прямых многократных измерений

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Под *многократными измерениями* понимают не менее четырех измерений.

Несколько результатов измерений (не менее четырех), полученных при измерениях одной и той же величины, выполненных с одинаковой тщательностью, одним и тем же средством измерений, одним и тем же методом и одним и тем же оператором, называется *группой результатов измерений величин.*

При статистической обработке группы результатов прямых многократных независимых измерений выполняют следующие операции:

1. Исключают известные систематические погрешности из результатов измерений.
2. Вычисляют оценку измеряемой величины.
3. Вычисляют среднее квадратическое отклонение результатов измерений.
4. Проверяют наличие грубых погрешностей и при необходимости исключают их.
5. Проверяют гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному распределению.
6. Вычисляют доверительные границы случайной погрешности (доверительную случайную погрешность) оценки измеряемой величины.
7. Вычисляют доверительные границы (границы) неисключенной систематической погрешности оценки измеряемой величины (НСП).

8. Вычисляют доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины путем построения композиции распределений случайных погрешностей и НСП, рассматриваемых как случайные величины в соответствии.

Так как по условию задания в курсовой работе НСП не определены, исключим связанные с ними операции из дальнейшего рассмотрения.

2.4.1 Графическое изображение ряда результатов измерений

Результаты измерений и применения статистических процедур при их обработке наглядно представляются в виде графиков, как правило, это график «протокола» измерений и гистограмма.

2.4.1.1 График «протокола» измерений

При построении графика «протокола» измерений по горизонтали откладывается номер измерения i, а по вертикали - значение измерения x_i. Соседние точки соединяются отрезками.

Для построения графика протокола измерений средствами MS Excel используется **«Мастер диаграмм»**, выбирается тип диаграммы – *точечная* с прямыми отрезками и маркерами.

Параметры шкалы для построения графика требуется подобрать так, чтобы изображение графика было максимально крупным, а маркеры наиболее удобными для восприятия. Для этого следует:

– найти минимальное (x_{min}) и максимальное (x_{max}) значения,

– вычислить Размах = x_{max} - x_{min} ;

– в качестве минимального значения шкалы выбирать округленное с недостатком число x_{min} и, округленное с избытком число x_{max} – в качестве максимального значения шкалы так, чтобы шаг шкалы был представлен числом с минимальным количеством десятичных знаков.

С помощью графика становится возможным провести анализ измерений и в случае необходимости для проведения дальнейшего исследования

выполнить предварительную обработку совокупности данных. В частности, на графике следует отметить особые точки «выбросы» - резко отличающиеся измерения в наборе данных, которые согласно порядку обработки результатов прямых многократных измерений (см. 2.4.5) следует обработать с применением статистических критериев и исключить или сохранить их в ряду измерений для проведения дальнейших расчетов.

2.4.1.2 Гистограмма

В стандарте на методы обработки результатов прямых многократных измерений указывается, что приведенные в нем методы обработки установлены для результатов наблюдений, принадлежащих нормальному распределению.

Для того, чтобы достаточно обоснованно выдвинуть гипотезу о виде закона распределения, экспериментальные данные группируют и выборку представляют в виде гистограммы, состоящей из k столбцов с определенной протяженностью (l) соответствующих им интервалов. По виду полученной гистограммы и формулируется гипотеза о законе распределения опытных данных, которую затем подтверждают с использованием соответствующего критерия согласия, либо отвергают и выдвигают новую, которую также предстоит затем подтвердить.

При построении гистограммы следует соблюдать некоторые общие правила.

Опытные данные упорядочивают (представляют в виде *вариационного ряда* от $x_{\min}$ до $x_{\max}$ в порядке возрастания), и группируют по интервалам. Ширину интервалов Δl обычно выбирают одинаковой, и рассчитывают по формуле

$$\Delta l = \frac{x_{max} - x_{\min}}{k} \qquad (2.5)$$

где x_{max} - максимальное значение наблюдения в ряду измерений;

x_{min} - минимальное значение наблюдения в ряду измерений;

k - число групп.

Подсчитывают количество наблюдений $n_к$, попадающих в каждый интервал (*частоту*) и *относительную частоту*, определяемую отношением $n_к$ к числу наблюдений n.

Значение величины интервала должно определяться в соответствии с точностью, принятой для измерения значений элементов ряда: если значения представлены целыми числами, то рассчитанная величина интервала округляется до ближайшего целого числа, если значения представлены с точностью до 0,1, то и величина интервала округляется до целых с десятыми и т.д.

Число групп может быть определено по формуле Стерджесса:

$$k=1+3{,}322\ lg\ n, \qquad (2.6)$$

где n - число измерений.

Число групп, определенное по формуле Стерджесса, почти всегда оказывается дробной величиной, которую следует округлить до ближайшего целого числа, так как число групп не может быть дробной величиной.

Задача оптимального выбора количества интервалов не имеет в общем виде строгого решения. Число интервалов разбиения нельзя выбирать очень большим или очень малым.

При группировании данных в большое число мелких интервалов некоторые из них окажутся пустыми. Гистограмма будет иметь "гребенчатый" вид, то есть резко отличаться от плавной кривой. Следовательно, если внутри гистограммы получаются пустые интервалы, это, чаще всего, говорит о том, что число интервалов разбиения выбрано слишком большим.

При очень малом числе интервалов будут потеряны характерные особенности опытного распределения.

Результаты группировки сводят в таблицу, аналогичную таблице Таблица 2.1 построенной на основании результатов 100 наблюдений.

Таблица 2.1

Номер интервала	1	2	3	4	5	6	7
Частота n_k	6	12	18	25	17	14	8
Относительная частота n_k / n	0,06	0,12	0,18	0,25	0,17	0,14	0,08

Изобразим полученные результаты графически, нанеся на ось абсцисс значения физической величины и обозначив границы интервалов, а на ось ординат - относительную частоту попаданий n_k/n. Построив на диаграмме прямоугольники, основанием которых является ширина интервалов, а высотой n_k/n, получим гистограмму, дающую представление о плотности распределения результатов наблюдений в данном опыте (см. рисунок 2.1).

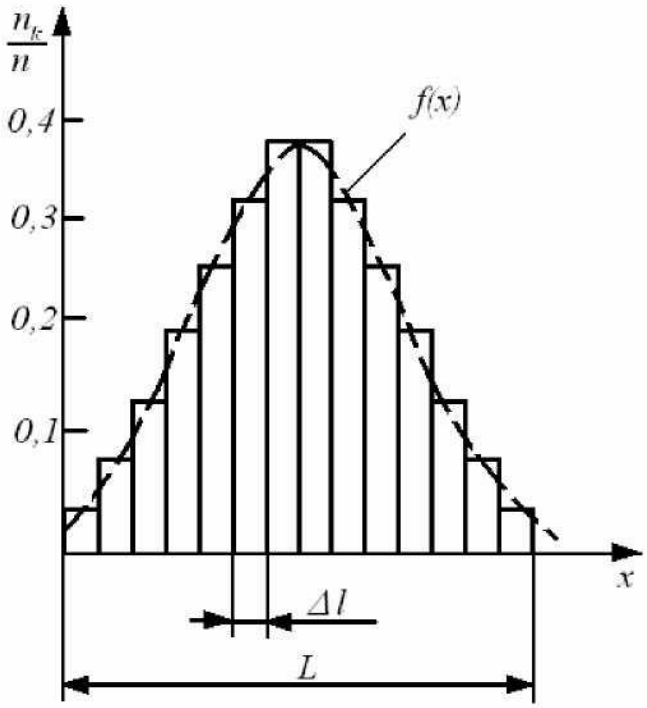


Рисунок 2.1 - Гистограмма

При бесконечном увеличении числа наблюдений $n \to \infty$ и бесконечном уменьшении ширины интервалов $\Delta l \to 0$, ступенчатая кривая, огибающая гистограмму, перейдет в плавную кривую $f(x)$ (см. рисунок Рисунок 2.1), называемую *кривой плотности распределения вероятностей случайной величины,* а уравнение, описывающее ее - дифференциальным законом распределения.

Масштаб по осям при построении гистограммы рекомендуется выбирать так, чтобы высота графика относилась к его основанию как 3 к 5 . При этом общая площадь между осью абсцисс и ступенчатой кривой должна быть равной единице (условие нормировки).

В практике измерений встречаются различные формы кривых распределения случайных величин:

– трапецеидальные, например, равномерное, треугольное (Симпсона);

– экспоненциальные, например, распределение Лапласа, распределение Гаусса (нормальное);

– семейство распределений Стьюдента (предельное распределение семейства законов Стьюдента - распределение Коши);

– двухмодальные, например, дискретное двузначное распределение, арксинусоидальное распределение, остро- и кругло-вершинные двухмодальные распределения.

Из теории известно, что форма кривой (плотности) распределения *x,* приблизительно «видна» в гистограмме частот попадания x_i в те или иные интервалы. Если из построенной гистограммы следует, что кривая опытного распределения имеет форму близкую к колоколообразной (см. рисунок Рисунок 2.1), целесообразно первой проверить гипотезу о нормальности распределения опытных данных.

2.4.2 Исключение известных систематических погрешностей из результатов измерений

Полученный в процессе измерения результат, содержащий систематическую погрешность, называется *неисправленным результатом* ($x^*_{изм}$).

Неисправленный результат измерений величины - результат измерений величины, полученный до введения в него поправки в целях устранения систематических погрешностей.

Для исправления полученного результата надо внести *поправку.*

Поправка ($x_п$) - величина абсолютной систематической погрешности, взятая с обратным знаком, т.е.

$$x_п = - \Delta x_{сист} , \qquad (2.7)$$

где $\Delta x_{сист}$ – систематическая погрешность измерения.

Поправка прибавляется к неисправленному результату измерений

$$x_{изм} = x^*_{изм} + x_п, \qquad (2.8)$$

где $x_{изм}$ - *исправленный результат измерений величины* - результат измерений величины, полученный после введения поправки в целях устранения систематических погрешностей в неисправленный результат измерений величины.

2.4.3 Вычисление оценки измеряемой величины

Оценку измеряемой величины (действительного значения), за которую принимают среднее арифметическое значение $\bar{x}$ исправленных результатов измерений, вычисляют по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i , \qquad (2.9)$$

где x_i - i-й результат измерений;

n - число исправленных результатов измерений.

Если во всех результатах измерений содержится постоянная систематическая погрешность, ее допускается исключить после вычисления среднего арифметического значения неисправленных результатов измерений.

2.4.4 Вычисление среднего квадратического отклонения результатов измерений

Наличие случайных погрешностей вызывает рассеяние результатов измерений. В качестве основной числовой характеристики случайного рассеяния результатов измерений принята дисперсия $D = \sigma^2$ или стандартное отклонение (СКО) σ. Ограниченное число результатов измерений позволяет получать лишь оценки этих характеристик (S^2 и S).

Оценку средней квадратической погрешности *единичного измерения* (S) в ряду равноточных измерений, за которую принимают среднее квадратическое отклонение группы, содержащей n результатов измерений, вычисляют по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \qquad (2.10)$$

где $(\bar{x})$ - среднее арифметическое значение исправленных результатов измерений;

x_i - i-й результат измерений;

n - число исправленных результатов измерений.

Среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки измеряемой величины) вычисляют по формуле

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} \qquad (2.11)$$

Полученные по формулам (2.6) – (2.8) числовые характеристики выражаются определенным числом и называются *точечными оценками*.

С использование точечных оценок результат измерения с учетом случайной погрешности может быть представлен в виде

$$x = \bar{x} \pm S_{\bar{x}} \qquad (2.12)$$

Более полную информацию о значении измеряемой величины дает представление результата измерения в виде *доверительного интервала* при заданной доверительной вероятности $P_{дов}$ (см. 2.4.7 методических указаний).

2.4.5 Исключение грубых погрешностей

Ряд экспериментальных данных, полученных при многократном измерении одного и того же значения измеряемой величины, может содержать результаты, имеющие в своем составе грубые погрешности. Для того, чтобы эти данные не искажали результат измерений, их следует исключить.

Для исключения грубых погрешностей по ГОСТ Р 8.736-2011 используют *критерий Граббса*. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого вычисляют критерии Граббса G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший или наименьший результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{max} - \bar{x}|}{S}, \quad G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{min}|}{S}. \qquad (2.13)$$

Рассчитанные значения G_1 и G_2 сравнивают с теоретическим значением G_T критерия Граббса при выбранном уровне значимости q. Критические значения критерия Граббса приведены в таблице Таблица 2.2.

Таблица 2.2 - Таблица критических значений критерия Граббса

n	Одно наибольшее или одно наименьшее значение при уровне значимости q		n	Одно наибольшее или одно наименьшее значение при уровне значимости q	
	Свыше 1%	Свыше 5%		Свыше 1%	Свыше 5%

n	Одно наибольшее или одно наименьшее значение при уровне значимости q		n	Одно наибольшее или одно наименьшее значение при уровне значимости q	
	Свыше 1%	Свыше 5%		Свыше 1%	Свыше 5%
3	1,155	1,155	20	3,001	2,709
4	1,496	1,481	21	3,031	2,733
5	1,764	1,715	22	3,060	2,758
6	1,973	1,887	23	3,087	2,781
7	2,139	2,020	24	3,112	2,802
8	2,274	2,126	25	3,135	2,822
9	2,387	2,215	26	3,157	2,841
10	2,482	2,290	27	3,178	2,859
11	2,564	2,355	28	3,199	2,876
12	2,636	2,412	29	3,218	2,893
13	2,699	2,462	30	3,236	2,908
14	2,755	2,507	31	3,253	2,924
15	2,806	2,549	32	3,270	2,938
16	2,852	2,585	33	3,286	2,952
17	2,894	2,620	34	3,301	2,965
18	2,932	2,651	36	3,330	2,991
19	2,968	2,681	38	3,356	3,014
20	3,001	2,709	40	3,381	3,036

Если $G_1 > G_T$, то x_{max} исключают как маловероятное значение. Если $G_2 > G_T$, то x_{min} исключают как маловероятное значение. Далее вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда ре-

зультатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Если $G_1 \leq G_T$, то x_{max} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений. Если $G_2 \leq G_T$, то x_{min} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений.

2.4.6 Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов измерений при числе результатов измерений $15 < n \leq 50$

При числе результатов измерений $15 < n \leq 50$ нормальность их распределения проверяют с помощью составного критерия.

Критерий 1

Вычисляют отношение $\tilde{d}$

$$\tilde{d} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{nS^*}, \quad (2.14)$$

где S^* - смещенное среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по формуле

$$S^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.15)$$

Результаты измерений в ряду считают распределенными нормально, если

$$d_{1-q/2} < \tilde{d} \leq d_{q/2}, \quad (2.16)$$

где $d_{1-q/2}$ и $d_{q/2}$ – квантили распределения, получаемые из таблицы Таблица 2.3 по n, $q_1/2$ и $(1 - q_1/2)$, причем q_1 — заранее выбранный уровень значимости (1 %, 5 %, 99 % или 95 %).

Таблица 2.3 – Квантили $d_{q/2}$ и $d_{1-q/2}$ распределения

n	(q_1/2)·100%		(1 - q_1/2) ·100 %	
	1 %	5 %	99%	95%
16	0,9137	0,8884	0,6829	0,7236
21	0,9001	0,8768	0,6950	0,7304
26	0,8901	0,8686	0,7040	0,7360
31	0,8826	0,8625	0,7110	0,7404
36	0,8769	0,8578	0,7167	0,7440
41	0,8722	0,8540	0,7216	0,7470
46	0,8682	0,8508	0,7256	0,7496
51	0,8648	0,8481	0,7291	0,7518

Критерий 2

Считают, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению, если не более m разностей $(x_i - \bar{x})$ превысили значение $z_{P/2} \cdot S$,

где S — среднее квадратическое отклонение, вычисляемое по формуле $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$., (2.10);

$z_{P/2}$ — верхний квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающий вероятности P/2.

Значения вероятности P определяют из таблицы Таблица 2.4 по выбранному уровню значимости q_2, %, и числу результатов измерений n. Зависимость $z_{P/2}$ от P приведена в таблице Таблица 2.5. При уровне значимости, отличном от предусмотренных в таблице Таблица 2.4, значение P находят путем линейной интерполяции. При несоблюдении хотя бы одного из критериев считают, что распределение результатов измерений группы не соответствует нормальному.

Таблица 2.4 – Значения P для вычисления $z_{P/2}$

n	m	$q_2 \cdot 100$ %		
		1 %	2%	5 %
10	1	0,98	0,98	0,96
11 – 14	1	0,99	0,98	0,97
15 – 20	1	0,99	0,99	0,98
21 – 22	2	0,98	0,97	0,96
23	2	0,98	0,98	0,96
24 – 27	2	0,98	0,98	0,97
28 – 32	2	0,99	0,98	0,98
33 – 35	2	0,99	0,98	0,98
36 – 49	2	0,99	0,99	0,98

Таблица 2.5 – Значения $z_{P/2}$

P	$z_{P/2}$	P	$z_{P/2}$
0,96	2,06	0,98	2,33
0,97	2,17	0,99	2,58

2.4.7 Вычисление доверительной границы случайной погрешности оценки измеряемой величины

Доверительные границы погрешности измерения – верхняя и нижняя границы интервала, внутри которого с заданной вероятностью находится значение погрешности измерений.

Для определения доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины доверительную вероятность $P_{дов}$ обычно принимают равной 0,95.

В особых случаях, например, при измерениях, результаты которых имеют значение для здоровья людей, допускается кроме доверительной вероят-

ности $P_{дов} = 0{,}95$ указывать более высокую доверительную вероятность $P_{дов} = 0{,}99$.

Доверительные границы случайной погрешности оценки измеряемой величины устанавливают для результатов измерений, принадлежащих *нормальному распределению*.

При невыполнении этого условия методы вычисления доверительных границ случайной погрешности должны быть указаны в методике измерений.

При числе результатов измерений $n \leq 15$ принадлежность их к нормальному распределению не проверяют. При этом вычисление доверительных границ случайной погрешности оценки измеряемой величины по приведенной методике, допускается только в том случае, если заранее известно, что результаты измерений принадлежат нормальному распределению.

При числе результатов измерений $15 < n \leq 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению предпочтителен составной критерий (см. 2.4.6 методических указаний).

При числе результатов измерений $n > 50$ для проверки принадлежности их к нормальному распределению предпочтителен один из критериев: К. Пирсона или Мизеса-Смирнова.

Доверительные границы (без учета знака) случайной погрешности оценки измеряемой величины вычисляют по формуле

$$\varepsilon = t \cdot S_{\bar{x}}, \qquad (2.17)$$

где t - коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности и числа результатов измерений находят по таблице Таблица 2.6.

Таблица 2.6 - Значения коэффициентов t для случайной величины, имеющей распределение Стьюдента с n-1 степенями свободы

n-1	P=0,95	P=0,99	n-1	P=0,95	P=0,99
3	3,182	5,841	16	2,120	2,921
4	2,776	4,604	18	2,101	2,878
5	2,571	4,032	20	2,086	2,845
6	2,447	3,707	22	2,074	2,819
7	2,365	2,998	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	26	2,056	2,779
9	2,262	3,250	28	2,048	2,763
10	2,228	3,169	30	2,042	2,750
12	2,179	3,055	∞	1,960	2,576
14	2,145	2,977			

Формулой, аналогичной $\varepsilon = t \cdot S_{\bar{x}}$,

(2.17) для определения границ симметричного доверительного интервала можно пользоваться при любом законе распределения случайной погрешности, если имеются таблицы соответствующего закона распределения. К сожалению, для других законов распределения (кроме нормального) такие таблицы не получили широкого применения. Но анализ интегральных кривых различных законов распределения обнаружил уникальное свойство доверительного интервала, соответствующего доверительной вероятности $P_{дов}$ = 0,9. Оказалось, что для широкого класса симметричных

распределений (нормального, равномерного, треугольного, трапецеидального, экспоненциального и даже ряда двухмодальных законов) с погрешностью не более ±10% границы симметричного доверительного интервала при $P_{дов}$ =0,9 равны ±1,6σ. Поэтому при отсутствии данных о виде закона распределения определять симметричный доверительный интервал возможно при $P_{дов}$ =0,9 пользуясь соотношением:

$$\varepsilon = \pm 1{,}6 \cdot S_{\bar{x}} \qquad (2.18)$$

Таким же образом следует определять доверительный интервал для перечисленных выше законов распределения при отсутствии таблиц соответствующего распределения.

2.5 Обработка результатов косвенных измерений

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной.

При косвенных измерениях искомая физическая величина A является функцией нескольких независимых переменных, и ее обычно вычисляют по соответствующей формуле, в которую подставляют результаты прямых измерений физических величин (a_1, , a_i, ,a_m)

$$A = f(a_1, \ , a_i, \ ,a_m) \qquad (2.19)$$

Приведенная ниже методика устанавливает основные положения определения результатов косвенных измерений и оценивания их погрешностей при условии, что аргументы, от которых зависит измеряемая величина, принимаются за постоянные физические величины; известные систематические погрешности результатов измерений аргументов исключены, а неисключенные систематические погрешности распределены равномерно внутри заданных границ ±Θ.

При оценивании доверительных границ погрешностей результата косвенного измерения обычно принимают вероятность, равную 0,95 или 0,99. Использование других вероятностей должно быть обосновано.

По виду функциональной зависимости *f* косвенные измерения делятся на две основные группы – линейные и нелинейные.

2.5.1 Косвенные измерения при линейной зависимости

Искомое значение A связано с m измеряемыми аргументами a_1 a_2,. . .,a_m уравнением

$$A = b_1a_1 + b_2a_2, + ...+ b_ma_m, \quad (2.20)$$

где b_1, b_2,..., b_m - постоянные коэффициенты при аргументах a_1, a_2, . . , a_m соответственно.

Результат косвенного измерения $\bar{A}$ вычисляют по формуле

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^{m} b_i \cdot \bar{a}_i, \quad (2.21)$$

где $\bar{a}_i$ – результат измерения аргумента a_j, m – число аргументов.

Среднее квадратическое отклонение результата косвенного измерения $S_{\bar{A}}$ вычисляют по формуле

$$S_{\bar{A}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} b_i^2 \cdot S^2(\bar{a}_i)}, \quad (2.22)$$

где $S(\bar{a})$ – среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента a_j, рассчитываемое по формуле $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$

(2.11).

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют (без учета знака) по формуле

$$\varepsilon = t \cdot S_{\bar{A}}, \quad (2.23)$$

где t - коэффициент Стьюдента, который в зависимости от доверительной вероятности и числа результатов измерений.

2.5.2 Косвенные измерения при нелинейной зависимости

Для косвенных измерений при нелинейных зависимостях аргументов используют метод линеаризации.

Метод линеаризации предполагает разложение нелинейной функции в ряд Тейлора

$$f(a_1, \dots, a_m) = f(\bar{a}_1, \dots, \bar{a}_m) + \sum_{i=1}^{m} \frac{\partial f}{\partial a_i} \Delta a_i + R, \quad (2.24)$$

где $f(a_1, \dots, a_m)$ – нелинейная функциональная зависимость измеряемой величины от измеряемых аргументов a_i;

$\frac{\partial f}{\partial a_i}$ – первая производная от функции f по аргументу a_i, вычисленная в точке $\bar{a}_1, \dots, \bar{a}_m$;

Δa_i – отклонение результата измерения аргумента a_i от его среднего арифметического;

R – остаточный член (которым можно пренебречь, в случае если погрешности измерения величин не коррелированы).

Результат измерения $\bar{A}$ вычисляют по формуле

$$\bar{A} = f(\bar{a}_1, \dots, \bar{a}_m) \quad (2.25)$$

Среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенного измерения вычисляют по формуле

$$S_{\bar{A}} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \left(\frac{\partial f}{\partial a_i}\right)^2 \cdot S^2(\bar{a}_i)}, \quad (2.26)$$

где $S(\bar{a})$ – среднее квадратическое отклонение результата измерения аргумента a_j, рассчитываемое по формуле $S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}}$

(2.11).

Доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения при условии, что распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, вычисляют

в соответствии с п. 2.5.1 (см. формулу $\varepsilon = t \cdot S_{\bar{A}}$,

(2.23)).

2.6 Обработка результатов прямых однократных измерений

2.6.1 Оценивание погрешностей измерений

Однократное измерение – измерение, выполненное один раз.

За результат однократного измерения x принимают значение величины, полученное при измерении. До измерения должна быть проведена априорная оценка составляющих погрешности. Известные систематические погрешности исключены (внесены поправки на все известные источники неопределенности, имеющие систематический характер).

Приведённая ниже методика оценивания погрешностей применима при выполнении следующих условий: распределение случайных погрешностей не противоречит нормальному распределению, а неисключенные систематические погрешности, представленные заданными границами ± Θ, распределены равномерно.

При определении доверительных границ погрешности результата измерений доверительная вероятность $P_{дов}$ принимается, как правило, равной 0,95.

Составляющими погрешности результата однократного измерения являются погрешности средства измерений, метода, оператора, а также погрешности, обусловленные изменением условий измерения.

Погрешность средства измерений определяют на основании их метрологических характеристик, которые должны быть указаны в нормативных и технических документах.

Погрешности метода и оператора должны быть определены при разработке и аттестации конкретной методики выполнения измерений.

Погрешность результата однократного измерения чаще всего представлена НСП и случайными погрешностями.

Оценивание неисключенной систематической погрешности измерения. Характеристикой НСП могут быть: границы ± Θ или доверительные границы ± Θ ($P_{дов}$).

НСП результата измерения выражают границами этой погрешности, если среди составляющих погрешности результата измерения в наличии одна НСП.

При наличии нескольких НСП, заданных своими границами ± Θ, доверительную границу НСП результата измерения ± $\Theta_{\Sigma Pдов}$ (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\Theta_{\Sigma_{Pдов}} = \pm k_{Pдов} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \Theta_i^2}\ , \qquad (2.27)$$

где $k_{Pдов}$ — поправочный коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью и числом n составляющих Θ_i. Строгое определение значения коэффициента $k_{Pдов}$ достаточно сложная задача, поэтому на практике пользуются усредненными значениями коэффициента $k_{Pдов}$ (не зависящими уже от числа слагаемых n): при $P_{дов} = 0{,}95$, k = 1,1, при $P_{дов} = 0{,}99$, k = 1,4. .

Оценивание случайной погрешности измерения. Характеристикой случайных погрешностей могут быть: СКО S или доверительные границы ± ε($P_{дов}$).

Если случайные погрешности представлены несколькими СКО S_i то СКО результата однократного измерения S_x вычисляют по формуле

$$S_x = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} S_i^2}, \qquad (2.28)$$

где n — число составляющих случайных погрешностей.

Доверительную границу случайной погрешности результата измерения ± ε($P_{дов}$) вычисляют по формуле

$$\varepsilon(P_{дов}) = Z_{P/2}\, S_x, \qquad (2.29)$$

где $Z_{P/2}$ – точка нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности P. При доверительной вероятности $P_{дов}$ = 0,95 $Z_{P/2}$ принимают равным 2, при $P_{дов}$ = 0,99 $Z_{P/2}$ = 2,6.

Если СКО определены экспериментально при небольшом числе измерений ($n < 30$), то в данной формуле вместо коэффициента $Z_{P/2}$ следует использовать коэффициент Стьюдента, соответствующий наименьшему числу измерений.

Если случайные погрешности представлены доверительными границами $\varepsilon_i(P_{дов})$, соответствующими одной и той же вероятности, доверительную границу случайной погрешности результата однократного измерения вычисляют по формуле

$$\varepsilon_{i(\text{Рдов})} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{i(\text{Рдов})}^2} \qquad (2.30)$$

Оценивание погрешности измерения. Если погрешности метода и оператора пренебрежимо малы по сравнению с погрешностью используемых средств измерений (не превышают 15 % погрешности средства измерений), то за погрешность результата измерения принимают погрешность используемых средств измерения.

Если $\frac{\Theta}{S_x} < 0{,}8$, то НСП пренебрегают и принимают в качестве погрешности измерения доверительные границы случайных погрешностей.

Если $\frac{\Theta}{S_x} > 8$, то случайными погрешностями пренебрегают и принимают в качестве погрешности измерения границы НСП.

Если $0{,}8 \le \frac{\Theta}{S_x} \le 8$, то доверительную границу погрешности результата измерений вычисляют по формуле

$$\Delta x_{Рдов} = K \cdot [\Theta_{Рдов} + \varepsilon_{Рдов}] \qquad (2.31)$$

где K — коэффициент, значение которого для доверительной вероятности 0,95 равно 0,76; для доверительной вероятности 0,99 значение коэффициента K равно 0,83.

2.6.2 Классы точности средств измерений и их использование при оценке погрешности измерения

В большинстве случаев погрешность однократных измерений оценивают на основании класса точности средства измерений.

Класс точности – это обобщенная характеристика данного типа средств измерений, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность. Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность средства измерений данного типа.

Класс точности может нормироваться в виде пределов *приведенных*, *относительных* или *абсолютных* погрешностей. В большинстве случаев используют нормирование пределов приведенной или относительной основной погрешности.

Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме приведенной погрешности или относительной погрешности, классы точности в документации обозначают числами, которые равны этим пределам, выраженным в процентах. Обозначение класса точности в этом случае дает непосредственное указание на предел допускаемой основной погрешности. Правила построения и примеры некоторых обозначений классов точности в документации и на средствах измерений приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7

Форма выражения погрешности	Формула определения пределов допускаемой основной погрешности (см. п 2.1)	Примеры		
		Пределы допускаемой основной погрешности, %	Обозначение класса точности в документации	Обозначение класса точности на средстве измерений
Приведенная	$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% = \pm p$, где p – положительное число, выбираемое из стандартизованного ряда	$\gamma = \pm 1{,}5$	Класс точности 1,5	1,5
Относительная	$\delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% = \pm q$, где q – положительное число, выбираемое из стандартизованного ряда	$q = \pm 0{,}5$	Класс точности 1,5	0,5
	$\delta = \frac{\Delta x}{x} = \pm \left[c + d\left(\left\lvert\frac{X_K}{x}\right\rvert - 1\right)\right]$, где X_K – больший (по модулю) из пределов измерений; c и d – положительные числа, выбираемые из стандартизованного ряда.	$\delta = \frac{\Delta x}{x} = \pm \left[0{,}2 + 0{,}1\left(\left\lvert\frac{X_K}{x}\right\rvert - 1\right)\right]$,	Класс точности 0,2/0,1	0,2/0,1

Для случая, если пределы допускаемой основной погрешности выражены в форме приведенной погрешности γ установлены следующие *правила выбора нормирующего значения* x_N**.**

1. Для средств измерений с равномерной или степенной шкалой, а также для измерительных преобразователей, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений, нормирующее значение устанавливают равным большему из пределов измерений.

2. Если нулевое значение находится внутри диапазона измерений, то нормирующее значение берется равным большему из модулей пределов измерений.

3. Для электроизмерительных приборов с равномерной шкалой, практически равномерной или степенной шкалой и нулевой отметкой внутри диапазона измерений x_N допускается устанавливать равным сумме модулей пределов измерений.

4. Для средств измерений, для которых принята шкала с условным нулем (например, в градусах Цельсия), нормирующее значение устанавливают равным модулю разности пределов измерений.

5. Для средств измерений с установленным номинальным значением нормирующее значение равно этому номинальному значению.

3 Задания и методические указания к выполнению

3.1 Задание 1. Прямые многократные измерения

3.1.1 Условие задания

При многократном измерении одной и той же физической величины (условной) получена серия из 24 результатов измерений $X_i; i \in [1...24]$. Эти результаты после внесения поправок представлены в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 3.1 – Исходные данные

Предпоследняя цифра шифра	**Последняя цифра шифра**										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
1	482	483	483	484	483	483	484	484	484	481	482 495
2	483	485	482	484	483	485	482	482	481	482	492 484
3	483	482	482	486	483	484	484	481	480	481	483 494
4	482	485	486	486	483	483	483	483	481	480	492 486
5	483	484	485	482	484	483	485	485	484	483	481 494
6	486	486	485	483	484	485	486	480	485	485	495 484
7	485	484	486	482	483	484	484	481	485	485	485 492
8	484	485	487	483	482	484	482	483	484	484	492 483
9	484	486	484	484	481	485	484	482	483	485	482 493
0	483	480	487	482	481	483	486	483	483	484	493 480
	484 493	492 484	487 495	492 484	483 495	493 484	487 495	493 484	485 492	492 484	

Необходимо провести метрологическую оценку результата прямых многократных измерений согласно ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые

многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.

Уровень доверительной вероятности принять равным $P_{дов}$=0,95 и $P_{дов}$=*0,99*.

Результат измерения записать в стандартной форме, с учетом округления.

3.1.2 Указания к выполнению задания 1

Выполнение задания следует проводить, руководствуясь сведениями, приведенными в 2.4 настоящих методических указаний, в следующей последовательности:

1. Составить таблицу исходных данных согласно варианту.

Серию экспериментальных данных студент выбирает из таблицы 3.1 по предпоследней и последней цифрам номера зачетной книжки. Например, номеру 96836 соответствует серия, включающая все результаты измерений, которые приведены в строке 3 и столбце 6.

2. Построить блок-схему алгоритма обработки прямых многократных измерений на основе ГОСТ Р 8.736-2011.

3. Построить график протокола измерений. Отметить «особые» точки (выбросы).

4. Построить гистограмму результатов измерений. По виду полученной гистограммы сделать предположение о нормальности закона распределения вероятности результата измерения.

5. Определить на основании заданного количества измерений:

1) наиболее достоверное (среднее арифметическое) значение величины $\bar{x}$;

2) среднее квадратическое отклонение погрешности однократного измерения *S*;

3) среднее квадратическое отклонение среднего арифметического (оценки измеряемой величины) $S_{\bar{x}}$;

6. Проверить ряд результатов измерений на наличие «выбросов» по критерию Граббса. В случае статистического подтверждения наличия «выбросов», исключить их как маловероятное значение. Далее вновь вычислить среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторить.

7. Проверить гипотезу о принадлежности результатов измерений нормальному распределению.

8. Определить доверительные границы случайной погрешности измерения ε при заданной доверительной вероятности Р*дов* = 0,95, Р*дов* = 0,99.

9. Провести проверку результатов расчетов с использованием режимов «Описательная статистика» и «Гистограмма» надстройки «Анализ данных» Microsoft Excel.

10. Записать результат измерения (с учетом округления) в установленной форме при Р*дов* = 0,95 и Р*дов* = 0,99. Объяснить различия в полученных результатах.

3.2 Задание 2. Косвенные многократные измерения

3.2.1 Условие задания

При прямых многократных измерениях независимых величин a_1, a_2, …,a_m получено по 10 результатов измерений. Эти результаты после внесения поправок представлены в таблице**Ошибка! Источник ссылки не найден.**.

Необходимо: провести метрологическую оценку результата косвенного измерения величины *A*, согласно МИ 2083 – 90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей.

Считать, что аргументы, от которых зависит измеряемая величина, принимаются за постоянные физические величины; известные систематические

погрешности результатов измерений аргументов исключены; распределения погрешностей результатов измерений аргументов не противоречат нормальным распределениям, а неисключенные систематические погрешности распределены равномерно внутри заданных границ ±Θ.Уровень доверительной вероятности принять равным $P_{дов}$=0,95.

Результат измерения записать в установленной форме, с учетом округления.

Таблица 3.2 – Исходные данные для оценки результата косвенных измерений

1.										
$W = L \cdot I^2/2$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L, мкГн	486	486	485	483	484	485	486	480	485	485
I, мА	482	483	483	482	483	486	485	484	484	483
2.										
$\nu = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$										
L, мкГн	483	485	482	484	483	485	482	482	481	482
C, мкФ	481	482	481	480	483	485	485	484	485	492
3.										
$P = U \cdot I$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	20	21	21	22	21	20	21	22	21	22
I, А	4 ,3	4,0	4,0	4,4	4,3	4,2	4, 4	4,6	4,4	4,2
4.										
$P = U^2 / R$										

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	20	22	21	23	20	19	22	21	20	20
R, Ом	100	101	100	102	100	103	106	103	104	101
5.										
P = U·I										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	256	264	257	263	258	262	259	261	260	259
I, А	0,125	0,130	0,126	0,131	0,127	0,128	0,132	0,129	0,130	0,132
6.										
I = U / R										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	381	382	385	388	389	390	395	397	399	389
R, Ом	116	117	118	120	121	130	130,5	131	134	121
7.										
$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	115	123	125	116	126	122	117	121	119	118
I, А	7,1	7,9	7,8	7,7	8,2	8,3	7,4	7,3	7,2	7,4
8.										
A = P · t										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, Вт	600	601	605	603	600	601	599	600	602	605
t, с	60,2	60	60, 3	60,5	60	60,1	60,5	60,4	59	60
9.										
$\sin\varphi = \frac{Q}{U \cdot I}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q,	250	251	252	253	254	257	255	259	260	252

ВАр										
U, В	138	137	136	140	141	141	142	143	146	135
I, А	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,6	3,3
10.										
$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	50,05	50,02	50,02	50,04	50,01	50,02	50,02	50,01	50,02	50,02
I , А	5,05	10,04	10,05	10,05	10,02	10,03	10,04	10,02	10,00	10,01
$\sin\varphi$	0,45	0,49	0,48	0,48	0,47	0,45	0,44	0,45	0,46	0,44
11.										
$Q = U \cdot I \cdot \cos\varphi$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	52,5	52,2	52,2	52,4	52,1	52,2	52,2	52,1	52,2	52,2
I , А	1,5	1,4	1,5	1,5	1,2	1,3	1,4	1,2	1,0	1,1
$\cos\varphi$	0,75	0,80	0,79	0,78	0,77	0,75	0,74	0,75	0,76	0,74
12.										
$\cos\varphi = \frac{P}{U \cdot I}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, Вт	650	685	662	600	670	620	680	630	690	700
U, В	326	323	327	322	328	321	329	321	320	335
I, А	5,65	5,79	6,63	5,65	5,66	5,67	5,66	5,68	-	5,72
13.										
$K = \frac{E_1}{E_2}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E_1, В	295	291	293	299	310	305	297	298	299	315
E_2, В	157	162	159	160	153	164	153	160	155	165

14.										
$W = \frac{q^2}{2C}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q, пКл	482	485	486	486	483	483	483	483	481	480
C, пФ	484	484	486	486	482	483	482	483	484	482
15.										
$W = L \cdot I^2/2$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L, мкГн	483	482	482	486	483	484	484	481	480	481
I, мА	483	485	484	483	483	485	484	484	485	483
16.										
$\rho = 3 \cdot m/4\pi \cdot r^3$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m, мкг	483	485	482	484	483	485	482	482	481	482
r, мкм	484	484	486	486	482	483	482	483	484	482
17.										
$W = \frac{q^2}{2C}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q, пКл	482	483	483	484	483	483	484	484	484	481
C, пФ	483	485	484	483	483	485	484	484	485	483
18.										
$a = \frac{2S}{t^2}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, м	483	482	482	486	483	484	484	481	480	481
t, мс	483	485	484	483	483	485	484	484	485	483

19.

$$W = L \cdot I^2/2$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L, мкГн	484	486	484	484	481	485	484	482	483	485
I, мА	482	483	483	482	483	486	485	484	484	483

20.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, В	60,05	60,02	60,02	60,04	60,01	60,02	60,02	60,01	60,02	60,02
I , А	5,05	12,04	12,05	12,05	12,02	12,03	12,04	12,02	12,00	12,01
sinφ	0,45	0,49	0,48	0,48	0,47	0,45	0,44	0,45	0,46	0,44

21.

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m, г	483	482	482	486	483	484	484	481	480	481
k, Н/м	483	485	484	483	483	485	484	484	485	483

22.

$$A = P \cdot t$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, Вт	700	701	705	703	700	701	699	700	702	705
t, с	60,3	60,1	60, 4	60,5	60,0	60,1	60,6	60,3	59,0	60,0

23.

$$K = \frac{E_1}{E_2}$$

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E_1, В	285	281	283	289	310	305	287	288	289	315
E_2, В	147	152	149	147	143	144	143	150	145	155

24.										
$P = I^2 \cdot R$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I, А	1,13	1,12	1,2	1,14	1,09	1,05	1,07	1,13	1,12	1,15
R, Ом	204	205,5	204	205	210	209	215	205	209	210
25.										
$\eta = \frac{P_1}{P_2}$										
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P2, Вт	831	839	832	838	833	837	834	837	835	836
P1, Вт	475	476	483	477	482	478	481	479	480	481

3.2.2 Указания к выполнению задания 2

Выполнение задания следует проводить, руководствуясь сведениями, приведенными в п. 2.4, 2.5 настоящих методических указаний, в следующей последовательности:

1. Составить таблицу исходных данных согласно варианту.

2. Серию экспериментальных данных студент выбирает из таблицы 3.2 по номеру в журнале группы.

3. При определении искомой величины следует предварительно выразить значения измеренных величин в единицах системы СИ.

4. Обработать результаты измерений величин a_1, a_2, ...,a_m отдельно по алгоритму, изложенному в п. 2.4, при этом:

– определить оценки результатов измерений $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_m$ и средние квадратические отклонения погрешностей однократного измерения $S_{a_1}, S_{a_2}, \dots, S_{a_m}$;

– обнаружить и исключить грубые погрешности;

– определить средние квадратические отклонения среднего арифметического $S_{\bar{a}_1}, S_{\bar{a}_2} \dots, S_{\bar{a}_m}$.

5. Определить результат косвенного измерения:

$$\bar{A} = f(\bar{a}_1, ..., \bar{a}_m).$$

6. Определить среднее квадратическое отклонение случайной погрешности результата косвенного измерения $S_{\bar{A}}$.

7. Определить доверительные границы случайной погрешности результата косвенного измерения для принятой доверительной вероятности.

8. Записать результат измерения (с учетом округления) в установленной форме.

3.3 Задание 3. Прямые однократные измерения

3.3.1 Условие задания

Показания средства измерений x', полученные при однократном измерении физической величины (условной) x, а также данные об используемых средствах измерений представлены таблице Таблица 0.1.

Экспериментатор обладает следующей априорной информацией:

– погрешности метода и оператора пренебрежимо малы по сравнению с погрешностью используемых средств измерений;

– распределение случайных погрешностей не противоречит нормальному распределению;

– СКО результата случайной погрешности результата измерений однократного измерения S_x определены экспериментально при числе измерений $n < 10$;

– неисключенные систематические погрешности распределены равномерно.

Необходимо: провести метрологическую оценку результата прямого однократного измерения согласно Р 50.2.038-2004 ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений.

Доверительные границы погрешности результата измерения определить при доверительной вероятности, равной 0,95. Результат измерения записать в стандартной форме, с учетом округления.

Таблица 0.1 –Исходные данные для оценки результата прямого однократного измерения

Вариант	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Показание средства измерений	25	10	20	25	15	30	30
Шкала средства измерений	0…100	-50…+50	0…50	0…50	-30…+30	0…50	0…100
Класс точности средства измерений	1,0	0,2/0,1	1,0	4,0	1,5	0,2/0,1	4,0
Погрешность градуировки	1	-2	-1	2	1	-1	-1
Среднее квадратическое отклонение	0,1	0,006	0,05	0,2	0,05	0,006	0,2
Вариант	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**
Показание средства измерений	20	10	4	10	5	90	5
Шкала средства измерений	-50…+50	0…30	-10…+10	-30…+50	-50…+30	0…150	-20…+20
Класс точности средства измерений	2,5	6,0	1,0	2,5	2,5	1,0	1,5
Погрешность градуировки	2	1	-1	1	1	-2	-1
Среднее квадратическое отклонение	0,1	0,2	0,01	0,1	0,05	0,1	0,01
Вариант	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**
Показание средства измерений	5	25	55	20	4	10	
Шкала средства измерений	-30…+30	0…50	-100…100	10…100	0…30	0…50	0…100
Класс точности средства измерений	0,4/0,2	4,0	0,1	0,2	0,5	0,25	4,0
Погрешность градуировки	0,5	-1,0	0,2	0	0,9	-0,7	-0,5
Среднее квадратическое отклонение	0,005	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1

Вариант	**22**	**23**	**24**	**25**
Показание средства измерений	2	5	15	8
Шкала средства измерений	-10…+10	-10…+10	-30…+20	-25…+25
Класс точности средства измерений	0,01/0,02	0,5	1,0	1,5
Погрешность градуировки	0,1	-0,2	-0,1	-0,5
Среднее квадратическое отклонение	0,0001	0,005	0,03	0,02

3.3.2 Указания к выполнению задания 3

Выполнение задания следует проводить, руководствуясь сведениями, приведенными в п. 2.6 настоящих методических указаний, в следующей последовательности:

1. Составить таблицу исходных данных согласно варианту.

Исходные данные студент выбирает из таблицы 3.3 по номеру в журнале группы.

2. Провести расчеты в следующем порядке:

– исключить известные систематические погрешности;

– проанализировать априорную информацию

– оценить неисключенную систематическую погрешности измерения;

– оценить случайную погрешность измерения;

– оценить погрешность однократного измерения по соотношению её составляющих.

3. Записать результат измерения (с учетом округления) в установленной форме.

4 Структура и содержание пояснительной записки к курсовой работе

Пояснительная записка к курсовой работе (далее – пояснительная записка) выполняется в виде текстового документа.

Пояснительная записка должна содержать следующие структурные элементы:

- **титульный лист;**
- **реферат;**
- **содержание**;
- **нормативные ссылки;**
- обозначения и сокращения;
- **основная часть;**
- **заключение;**
- **список использованных источников;**
- приложения.

Обязательные структурные элементы выделены полужирным шрифтом, остальные включают в пояснительную записку при необходимости.

Общие правила составления и оформления структурных элементов пояснительной записки приведены в [5].

Образец титульного листа, выполненный в актуальном макете, размещен на информационной доске кафедры.

4.1 Содержание основной части пояснительной записки

В основной части пояснительной записки подробно излагается ход работы, обосновываются и формулируются ее промежуточные и конечные результаты.

Основная часть пояснительной записки должна включать три раздела, которые следует назвать следующим образом:

1. Обработка результатов прямых многократных измерений.

2. Обработка результатов косвенных многократных измерений.
3. Обработка результатов прямых однократных измерений.

Текст разделов должен делиться на более мелкие рубрики. Такое деление проявляется в наличии взаимосвязанных друг с другом разделов, подразделов, пунктов и подпунктов, отражающих порядок выполнения работы.

Следует использовать цифровую нумерацию, когда самые крупные части – разделы нумеруются одной цифрой (например, 1), подразделы – двумя цифрами – номером раздела и номером подраздела (например, 1.1), пункты – тремя цифрами (например, 1.1.1), разделенными точкой. Четырехзначная нумерация является предельной. Такая система допускает отсутствие слов «часть», «раздел» (см. Рисунок 4.1).

1 Обработка результатов прямых многократных измерений
- 1.1 Исходные данные и постановка задачи
- 1.2 Графическое преставление ряда многократных измерений
  - 1.2.1 График «протокола» измерений
  - 1.2.2 Гистограмма
- 1.3 Исключение известных систематических погрешностей из результатов измерений
- 1.4 Вычисление оценки измеряемой величины
- 1.5 Вычисление среднего квадратического отклонения результатов измерений
- 1.6 Исключение грубых погрешностей
- 1.7 Проверка гипотезы о нормальности распределения результатов измерений
- 1.8 Вычисление доверительной границы случайной погрешности оценки измеряемой величины
- 1.9 Оформление записи результата измерений.

Рисунок 4.1 – Фрагмент нумерации разделов, подразделов, пунктов и подпунктов основной части пояснительной записки

В структуре основной части можно выделить следующие составляющие:

Исходные данные и постановка задачи. Приводятся в соответствии с 3.1.1, 3.2.1, 3.3.1 согласно варианту.

Краткие теоретические сведения. Теоретические сведения, на которых основано выполнение работы, могут быть выделены как в отдельную часть текста, так и приведены по ходу изложения результатов работы и сопровождаться ссылками на использованные источники. Приведенный материал не должен копировать содержание методического пособия или учебника по данной теме, а ограничивается кратким изложением основных понятий и законов, расчетных формул, таблиц, требующихся для получения результата.

Обратите внимание! Все использованные расчетные формулы в обязательном порядке приводятся с пояснениями.

Например: « *.... Класс точности К обычно указан на шкале прибора. Он определяется выраженной в процентах приведенной погрешностью:*

$$K = \frac{\Delta}{D} \cdot 100\%,$$

где Δ – сумма основной и дополнительной погрешностей прибора;

D – диапазон измерений [12]. *....*».

Краткое описание программного средства, использованного в работе. Например: «……*Для расчета коэффициента доверия t (t-критерия Стьюдента использовали функцию СТЬЮДРАСПОБР из набора статистических функции мастера-функций Microsoft Excel*. »

Решение задачи. В этой части в последовательности, заданной в п. 2, 3.1.2, 0, 3.3.2 настоящих указаний, приводятся непосредственно результаты вычислений, полученные в ходе работы: определенные значения величин, графики, таблицы, диаграммы. Решение задачи излагается подробно с соответствующими текстовыми пояснениями. Например: «*На рисунке ……приведена гистограмма. Для построения гистограммы проведены вы-*

числения по формулам (…) – (...), *сведенные в таблицу ….. Из вида гистограммы следует, что ……»* .

Промежуточные вычисления и полученные результаты должны быть обобщены в таблицах по примеру, показанному на рисунке Рисунок 4.2.

Номер измерения n	Температура (T), °C	$(T - \overline{T})$	$(T - \overline{T})^2$
1	25	0	0
2	24	1	1
……			
10	25	0	0
Σ			
$\overline{T}$, °C			
D			
S_T, °C			
$S_{\overline{T}}$, °C			

Рисунок 4.2 – Пример представления промежуточных вычислений и результатов расчетов

Результаты работы и их анализ. Приводится запись результата измерений и объяснение полученных основных и промежуточных результатов.

5 Список рекомендуемой литературы

Учебная литература

1. Радкевич, Я. М. Метрология, стандартизация и сертификация. В 3 ч. Часть 1: Метрология : учебник для академического бакалавриата / Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе. – 5 изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2019. – 235 с. – (Серия : Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-01917-9 (ч. 1) - URL: https://biblio-online.ru/viewer/metrologiya-standartizaciya-i-sertifikaciya-v-3-ch-chast-1-metrologiya-434415 (дата обращения: 30.08.2021). - Текст : электронный.

2. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация и сертификация. В 2 ч. Часть 1: Метрология : учебник и практикум для академического бакалавриата / А. Г. Сергеев, В. В. Терегеря. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2019. - 324 с. – (Серия : Бакалавр. Академический курс). - ISBN 978-5-534-03436-5 (ч. 1). - URL: https://biblio-online.ru/viewer/metrologiya-standartizaciya-i-sertifikaciya-v-2-ch-chast-1-metrologiya-434574 (дата обращения: 30.08.2021). - Текст : электронный.

3. Степанова, Е. А. Метрология и измерительная техника: основы обработки результатов измерений : учеб. пособие для вузов / Е. А. Степанова, Н. А. Скулкина, А. С. Волегов; под общ. ред. Е. А. Степановой. – Москва : Юрайт ; Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 95 с. – (Серия : Университеты России). – ISBN 978-5-534-00686-5. - URL: https://biblio-online.ru/viewer/metrologiya-standartizaciya-i-sertifikaciya-v-3-ch-chast-1-metrologiya-434415 (дата обращения: 30.08.2021). - Текст : электронный.

4. Шишкин, И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений : учебник для вузов / И.Ф. Шишкин. – 4 изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Питер, 2010. – 192с. – (Серия «Учебник для вузов). – ISBN 978-5-49807-203-6. – Текст : непосредственный.

5. Правила оформления учебных работ студентов : учебно-методическое пособие / И. А. Жибинова [и др.]; Новокузнецк, ин-т (фил.) Кемеров. гос. ун-та; под ред. И. А. Жибиновой. – Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2018. – 119 с.– Текст : непосредственный.

Нормативные документы

6. ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования: межгосударственный стандарт : издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 12 ноября 1980 г. № 5320 : введен впервые : дата введения 1981 -01-07 .– Москва: Изд-во стандартов, 1991; Москва: Стандартинформ, 2010. – 10 с. – Текст непосредственный.

7. МИ 2083 – 90 ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей: рекомендация : издание официальное: утверждена и НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менеделеева 20 декабря 1989 г. : введена впервые : дата введения 1992 – 01- 01 / разработана НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менеделеева. – Москва : Изд-во стандартов, 1991. – 10 с. – Текст непосредственный.

8. Р 50.2.038-2004 ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений: рекомендации по метрологии: издание официальное: утверждены и введены в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 октября 2004 г. N 43-ст : дата введения : 2005-01-01 / разработаны Федеральным государственным унитарным предприятием Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева Госстандарта России (ФГУП ВНИИМ им. Д. И. Менделеева) . – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004; Москва : Стандартинформ, 2011. – 8.с. – Текст непосредственный.

9. ПМГ 96-2009 ГСИ. Правила по межгосударственной стандартизации. Результаты и характеристики качества измерений : издание официальное: приняты Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии 11 ноября 2009 г. протокол № 36: дата введения: 2011 - 01 – 01 / разработаны Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВИИМС) . – Москва: Стандартинформ, 2010 .– 10 с. – Текст непосредственный.

10. ГОСТ Р 8.736-2011 ГСИ. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011 г. № 1045-ст: введен впервые : дата введения 2013-01-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева» (ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева») Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии .– Москва: Стандартинформ, 2013 .– 20 с. – Текст непосредственный.