

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Округление результатов физических и технических измерений
УДК 006:53.08:621:53.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ91	Тулбаева Карлыгаш		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., про- фессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н.		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Маркова Наталия Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., про- фессор		
Руководитель ОАР ИШИТР	Филипас Александр Александрович	к.т.н.		

Томск – 2021 г.

**Планируемые результаты освоения направления
27.04.01 «Стандартизация и метрология»**

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-1	Способен к разработке и практической реализации систем стандартизации, сертификации и обеспечения единства измерений
ПК(У)-2	Готов обеспечить необходимую эффективность систем обеспечения достоверности измерений при неблагоприятных внешних воздействиях и планирование постоянного улучшения этих систем
ПК(У)-3	Способен анализировать состояние и динамику метрологического и

	нормативного обеспечения производства, стандартизации и сертификации на основе использования прогрессивных методов и средств
ПК(У)-4	Способен обеспечить выполнение заданий по разработке новых, пересмотру и гармонизации действующих технических регламентов, стандартов и других документов по техническому регулированию, стандартизации, сертификации, метрологическому обеспечению и управлению качеством
ПК(У)-5	Способен разрабатывать процедуры по реализации процесса подтверждения соответствия
ПК(У)-6	Готов обеспечить эффективность измерений при управлении технологическими процессами
ПК(У)-7	Готов обеспечить надежность и безопасность на всех этапах жизненного цикла продукции
ПК(У)-8	Способен к автоматизации процессов измерений, контроля и испытаний в производстве и при научных исследованиях
ПК(У)-29	Готов участвовать в научной и педагогической деятельности в области метрологии, технического регулирования и управления качеством

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Муравьев С.В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ91	Тулебаевой Карлыгаш

Тема работы:

Округление результатов физических и технических измерений	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	15.02.2021 №46–24/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2021
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <small>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</small>	Объектом исследования является процедура округления результатов физических и технических измерений по П.Т. Ульриху.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <small>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</small>	1 Основные понятия 2 Процедуры округления результатов измерений 3 Применения правила округления по П.Т. Ульриху 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная часть

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Федоренко Ольга Юрьевна
Раздел, выполненный на английском языке	Маркова Наталия Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: 1 Основные понятия	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.02.2021
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ91	Тулбаева Карлыгаш		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение школы (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология Метрологический анализ и экспертиза технических систем

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	– тариф на электроэнергию – 6,59 руб. за 1 кВт·ч. – затраты на материалы – 2300 руб. – затраты на зарплату – 133 752,438 руб. – затраты на амортизацию – 76,084 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Расчет инновационного потенциала НТИ	– сегментирование; – диаграмма Исикавы; – оценка научного уровня исследования.
2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта	– расчет материальных затрат; – расчет основной и дополнительной заработной платы; – расчет отчислений во внебюджетные фонды; – расчет бюджета проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Карта сегментирования рынка
2. Диаграмма Исикавы
3. Линейный график работ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ91	Тулебаева Карлыгаш		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ91	Тулебаева Карлыгаш

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение (НОЦ)	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология Метрологический анализ и экспертиза технических систем

Тема ВКР:

Округление результатов физических и технических измерений

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>Объектом исследования является разработка методики округления результатов физических и технических измерений Область применения – сфера работ по стандартизации и метрологии Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером в компьютерном классе. Технические параметры помещения: - площадь 69,4 м²; - отопление - водяное; - вентиляция – искусственная; - освещение – совмещенное.</p>
---	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.2.032-78 Рабочее место при выполнении работ сидя - ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора - СНиП 23-05-95· Естественное и искусственное освещение - Трудовой кодекс Российской Федерации - ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация - СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. - СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
--	---

	<ul style="list-style-type: none"> - СН 2.2.4/ 2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы - ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ Электробезопасность - ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность - ГОСТ 17.4.3.04-85 ССОП Охрана природы. Почвы
<p>2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</p>	<p>Вредные факторы производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - недостаточная освещенность рабочей зоны; - отклонение показателей микроклимата; - повышенный уровень электромагнитных излучений; - повышенный уровень шума; - психофизические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность работы). <p>Опасные факторы производственной среды: электробезопасность (поражение электрическим током; короткое замыкание; статическое электричество).</p>
<p>3. Экологическая безопасность:</p>	<p>Анализ воздействия объекта на литосферу. Воздействие на литосферу происходит при утилизации:</p> <ul style="list-style-type: none"> - компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны); - люминесцентных ламп; - макулатуры.
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Защита в чрезвычайных ситуациях: наиболее возможное ЧС при данных рабочих условиях – пожар;</p> <ul style="list-style-type: none"> - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2021
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ91	Тулбаева Карлыгаш		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.03.2021	Основные понятия	10
20.03.2021	Процедуры округления результатов измерений	20
01.05.2021	Применения правила округления по П.Т. Ульриху	50
01.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
15.05.2021	Социальная ответственность	5
25.05.2021	Оформление графического материала	5
30.05.2021	Оформление расчетно-пояснительной записки	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 92 страниц, 10 рисунков, 25 таблиц, 34 формулы, 32 источника.

Ключевые слова: округление, погрешность, среднее квадратичное отклонение, значащие цифры, процедура округления.

Объектом исследования является процедура округления результатов физических и технических измерений по П.Т. Ульриху.

Цель работы: исследовать процедуры округления результатов измерения с формальным математическим обоснованием.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие процедуры округления результатов измерения;
- исследовать процедуру округления результата измерения по П.Т. Ульриху с математическим обоснованием на основе поправки Шеппарда;
- провести анализ возможностей практического применения процедуры округления результата измерения по П.Т. Ульриху.

Область применения: округление результата измерения является неотъемлемой частью любой методики измерений при их организации в различных отраслях науки и техники.

Содержание

Введение	13
1 Основные понятия	14
1.1 Представление вещественных чисел	14
1.2 Значащие цифры в вычислениях	15
2 Процедуры округления результатов измерений	17
2.1 Стандартизованные процедуры округления	17
2.2 Практика применения правил округления на производстве и в вузах	20
2.3 Правила округления результатов измерений по П.Т. Ульриху	23
3 Применения правила округления по П.Т. Ульриху	35
3.1 Пример округления результатов многократных измерений постоянного напряжения	35
3.2 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях повторяемости	36
3.3 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях прецизионности	38
3.4 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях повторяемости косвенным методом	44
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	48
4.2 Организация и планирование работ	49
4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта	54
4.4 Оценка научного уровня	59
5 Социальная ответственность	62
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	62
5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	63
5.3 Производственная безопасность	64
	11

5.4 Экологическая безопасность	73
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	74
Заключение	78
Список использованной литературы	79
Приложение А (справочное) Rounding physical and technical measurements	82

Введение

Представление числовых данных является важным элементом любых исследований. Любые данные, добываемые или обрабатываемые в ходе эксперимента, как правило, получены с помощью средств измерений, поэтому корректное их представление входит в сферу интересов и ответственности метрологии. Числовые данные часто представляются со слишком большим количеством значащих цифр или знаков после запятой, что может приводить к фиктивной точности и чрезмерным затратам на хранение данных. Поэтому представления результатов измерений необходимым и достаточным ограниченным числом значащих цифр является актуальной проблемой.

Несмотря на то, что округление результата измерения является неотъемлемой частью любой методики измерений при их организации в различных отраслях науки и техники, дальнейшее совершенствование процедуры округления результатов измерений остается востребованным, т.к. необходимо, чтобы рекомендации по округлению были строго обоснованными и понятными.

Цель работы состоит в исследовании процедуры округления результатов измерения с формальным математическим обоснованием. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи: изучить существующие процедуры округления результатов измерения; исследовать процедуру округления результата измерения по П.Т. Ульриху с математическим обоснованием на основе поправки Шеппарда; провести анализ возможностей практического применения процедуры округления результата измерения по П.Т. Ульриху.

1 Основные понятия

1.1 Представление вещественных чисел

Рассмотрим основные понятия, связанные с процедурами округления результатов измерений.

Принято считать, что цифры числа, представляющего результат любого измерения, являются верными (точными) за исключением последней, которая является приближенной.

Рассмотрим, например, число **5,413** (см. рисунок 1). В нем первые три цифры точные, последняя цифра "3" – приближенная.

Степень этого приближения ("точность" представления числа) традиционно оценивается как половина единицы младшего разряда числа. В данном примере точность составляет $\pm 0,0005$. Длина этого интервала равна единице. Т.е. можно утверждать, что "истинное" значение результата измерения лежит в интервале от 5,4125 до 5,4135.

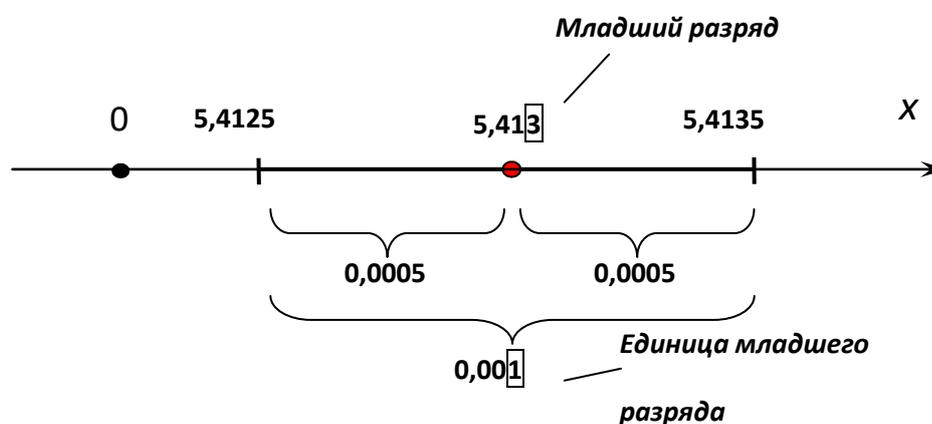


Рисунок 1 – Пример представления вещественного числа 5,413

Число *значащих цифр* считается слева направо, начиная с первой ненулевой цифры. Например, 0,004080 имеет четыре, а $4,08 \cdot 10^{-3}$ – три значащие цифры.

Множитель, имеющий 10 в кратной степени, не влияет на число значащих цифр, а лишь указывает на выбранный масштаб величины, не приводя при этом к фиктивной точности.

Важной характеристикой представления вещественных чисел является *количество цифр после запятой* – это количество цифр справа от запятой, образующих дробную часть вещественного числа.

Если необходимо указать, что число является точным, то после числа в скобках пишут слово "точно" или последняя значащая цифра выделяется жирным шрифтом, например, 0,004080.

Пусть измеренный радиус окружности равен 6 м. Для того, чтобы найти ее длину, обычно дают расчет: $C = 2\pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 6 \text{ м} = 37,68 \text{ м}$. Этот результат неверен, т.к. четыре значащие цифры соответствуют высокой точности (тысячные доли), которая не так уж часто реализуется при измерениях. Откуда взяться такой высокой точности, если по крайней мере одно входящее в формулу значение (6 м), дано с точностью, на два порядка меньшей?

Правильно определенная длина окружности, очевидно, равна 38 м. А если необходим действительно точный ответ, то и данные в условии задачи должны быть с соответствующим числом знаков, т.е. 6,00 м.

1.2 Значащие цифры в вычислениях

При использовании измеренных значений в вычислениях результаты вычислений должны отражать точность этих измеренных значений. Вычислительные операции не должны приводить как к потере, так и к увеличению точности результата. Для этого надо соблюдать следующие правила вычислений [13].

1) При умножении и делении результат должен иметь то же количество значащих цифр, что и операнд с наименьшим числом значащих цифр.

Пример: $1,052 \cdot 12,054 \cdot 0,53 = 6,7208 = 6,7$.

$2,0035 : 3,20 = 0,626093 = 0,626$.

2) При сложении и вычитании результат должен иметь то же количество цифр после запятой, что и операнд с наименьшим числом цифр после запятой.

Пример: $2,345 + 0,07 + 2,9975 = 5,4125 = 5,41$

$$5,9 - 0,221 = 5,679 = 5,7$$

3) При приведении числа к необходимому количеству значащих цифр или цифр после запятой применяются обычные общеизвестные правила округления.

4) Чтобы избежать ошибок округления, следует округлять только окончательный результат вычислений, а не промежуточные.

Процедура округления результата измерения обычно состоит в удалении цифр в левой части вещественного числа, которые не отражают "истинную точность" числового значения, являются "лишними" и приводят к "фиктивной" точности числового представления.

Далее будут рассмотрены процедуры округления результатов измерений.

2 Процедуры округления результатов измерений

2.1 Стандартизованные процедуры округления

Рассмотрим методы округления результатов физических и технических измерений.

В ходе данной работы были изучены книги, научные статьи, а также нормативные документы об округлении результатов измерений.

Стандартизованные процедуры округления результатов измерений описаны в нормативно-технических документах.

Такие как ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [2].

Стандарт распространяется на прямые многократные независимые измерения и устанавливает основные положения методов обработки результатов этих измерений и вычисления погрешностей оценки измеряемой величины.

В данном стандарте прописаны правила округления при обработке результатов измерений.

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

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

Две значащие цифры в погрешности оценки измеряемой величины сохраняют:

- при точных измерениях;
- если первая значащая цифра не более трех.

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

4) Погрешность при промежуточных вычислениях должна быть выражена не более чем тремя значащими цифрами.

5) 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].

Проанализировав нормативные документы «Р 50.1.109-2016 «Политика ИЛАК в отношении неопределенности при калибровках», МИ 1317-2004 «Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров» [3], ПМГ 96-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления» [4], СТ СЭВ 543-77 «Числа. Правила записи и округления» [5] было установлено, что правила округления результата измерения идентичны правилам ГОСТ Р 8.736-2011.

Далее рассмотрим JCGM GUM-6:2020 «Guide to the expression of uncertainty in measurement — Part 6: Developing and using measurement models». Руководство по разработке методики обработки измерения и ее неопределенности [6].

В данном стандарте также рассмотрены правила округления результатов измерений.

1) Числовые значения оценки и ее стандартной неопределенности или расширенной неопределенности не следует указывать с чрезмерным количеством цифр. Обычно достаточно указать не более чем с двумя значащими цифрами.

2) А также, поскольку для большинства вычислений, используется компьютер, вычисления, естественно, будут выполняться с использованием всех доступных цифр (обычно около 16 десятичных цифр в длине компьютерного

слова). Этого количества цифр обычно более чем достаточно для представления результатов измерения с числовой точностью, необходимой на практике.

Рассмотрим NIST (2014) Good Laboratory Practice for Rounding Expanded Uncertainties and Calibration Values. (GLP 9) National Institute for Standards and Technology (Национальный институт стандартов и технологий США) [7].

В данном документе рассматривают варианты округления, которые обычно используются в калибровочных и испытательных лабораториях.

1) Для уровня достоверности 95% расширенная неопределенность должна быть округлена до двух значащих цифр, а сопутствующие измеренные значения должны быть представлены с той же точностью.

Рассмотрим стандарт DIN 1319 Часть 3 [9] утверждает, что значение неопределенности округляется до двух (или, при необходимости, трех) значимых цифр; измеренный результат должен быть округлен таким же образом, как и неопределенность.

Другой стандарт DIN 1313 [10] рекомендует определять число значащих цифр, исходя из неопределенности u таким образом, чтобы значение последней значащей цифры находилось между $u/30$ и $u/3$.

Протокол International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC – Международный союз теоретической и прикладной химии) [11] дает правило округления окончательного среднего значения и стандартного отклонения, которое аналогично правилу DIN 1319: «Стандартные отклонения округляются до двух значащих цифр, а средние и относительные стандартные отклонения округляются с учетом значащих цифр стандартного отклонения»

В результате изучения было выявлено, что результаты измерения чаще всего сообщаются с двумя значащими цифрами.

2.2 Практика применения правил округления на производстве и в вузах

Как показывает практика, многие люди в своей деятельности при обработке результата измерения применяют рекомендации по округлению результатов измерений, которые были сформированы при получении базового уровня образования.

Рассмотрим несколько вариантов применения округления результатов измерений на производстве.

Проанализировав источники форума «Аккредитация в Росаккредитации форум для аккредитованных лабораторий» [12] специалистами были предложены несколько вариантов округления результатов измерений:

- 1) По внутренней методике предприятия.
- 2) До двух значащих цифр.
- 3) Наименьший разряд числового значения результата должен совпадать с наименьшим разрядом числового значения погрешности (правило равенства разрядов).
- 4) Стандартизованными процедурами округления результата измерения.

На основании полученной информации, можно сделать вывод, о том, что не все применяют стандартизованную процедуру округления результата измерения.

Далее рассмотрим правила округления в вузах.

В учебном лабораторном практикуме «Обработка результатов измерений при выполнении лабораторных работ» Кравченко Н.С. [13] описана процедура округления результата измерения, в которой говорится, что при округлении результата измерений получается приближенное значение измеряемой величины. Если приближенное значение величины содержит лишние или недостоверные цифры, то его округляют, сохраняя только верные значащие цифры и отбрасывая лишние.

При этом руководствуются следующими соображениями:

1) Если первая отбрасываемая цифра меньше 4 или равна 4, то последняя сохраняемая цифра не изменяется.

2) Если первая из отбрасываемых цифр больше 5, то последняя цифра увеличивается на единицу.

Последняя цифра увеличивается также и в том случае, когда первая из отбрасываемых цифр 5, а за ней есть одна или несколько цифр, отличных от нуля.

3) Если отбрасываемая цифра 5, а за ней нет значащих цифр, то округление производится на ближайшее четное число, т.е. последняя сохраняемая цифра остается неизменной, если она четная, и увеличивается на единицу, если она нечетная. Например, 0,435 округлим до 0,44; 0,465 округляем до 0,46.

А при записи результата измерений с учетом погрешности в учебном лабораторном практикуме рассматриваются следующие правила:

1) Величину погрешности (доверительного интервала) необходимо округлить до двух значащих цифр, если первая из них единица, и до одной значащей цифры во всех остальных случаях;

2) Результат измерений (среднее значение измеряемой величины) необходимо округлить до того же разряда, что и погрешность. Число значащих цифр окончательного результата ограничено: оно определяется порядком величины абсолютной погрешности (доверительного интервала).

В других учебных пособиях по обработке результатов измерений предложена аналогичная процедура округления результатов измерений.

Рассмотрим несколько рекомендаций по округлению значений в зарубежных вузах, таких как Калифорнийский колледж De Anza College [14], Массачусетский технологический институт [15] и Университет Пердью [16].

Таблица 1 – Округление результатов измерений

Типы округления	MIT	PURDUE	De Anza College
Неопределенность	Знание числа до трех существенных цифр означает, что относительная неопределенность в этом числе составляет <1%; если вы знаете, число до шести значительных цифр, относительная неопределенность составляет менее 0,001%.	Число значащих цифр в экспериментальной неопределенности записывается одним или (когда экспериментальная неопределенность невелика, например, $\pm 0,15$) двумя значащими цифрами	Экспериментальная неопределенность должна быть записана 1 значащей цифрой.
Сложение и вычитание	Неточность правила для умножения и деления заключается в подсчете числа значащих цифр из двух участвующих чисел. Используйте меньшее количество цифр при представлении результата.	Чтобы свести к минимуму погрешность округления, можно использовать все значащие цифры во время промежуточных расчетов и корректировать значащие цифры только для окончательных результатов.	При сложении и вычитании нескольких чисел в результате вычисления оставляют столько цифр после запятой, сколько их содержится в слагаемом с наименьшим числом десятичных знаков
Умножение и деление			При умножении и делении приближенных чисел нужно в результатах сохранять столько значащих цифр, сколько их было в приближенном данном с наименьшим числом значащих цифр
Результаты измерения		Истинное значение (обычно среднее значение) и ее неопределенность (экспериментальная погрешность) всегда должны иметь одинаковое количество цифр после десятичной точки.	Результат измерения должен содержать столько цифр сколько в неопределенности

Проанализировав многие источники, пришли к заключению, что большинство вузов руководствуются, как стандартизованными процедурами округ-

ления результатов измерений, так и не стандартизованными процедурами округления результатов измерений.

2.3 Правила округления результатов измерений по П.Т. Ульриху

Рассмотрим процедуру округления результатов измерений по П.Т. Ульриху [8]. По П.Т. Ульриха представлена процедура определения "точки отсечения" между значащими и незначащими цифрами для представления измеренных и косвенных значений. Процедура заключается в использовании СКО в качестве меры прецизионности и гарантирует, основываясь на поправке Шеппарда, что округление увеличивает СКО ряда округленных значений лишь незначительно, благодаря округлению, установлено что при незначительном округлении выборок округленное стандартное отклонение выборки увеличивается. Обсуждается и демонстрируется применение этой процедуры на четырех примерах.

Неопределенность определяется как оценка, связанная с измеренным значением (или значением, полученным косвенным измерением), характеризующая интервал значений, в пределах которого предположительно находится истинное значение. Вообще говоря, неопределенность содержит несколько составляющих. Среди них та составляющая, которая характеризует интервал значений, в пределах которого находится математическое ожидание распределения вероятностей этих измеренных значений (или косвенных значений), называется случайной составляющей неопределенности. Эта случайная составляющая неопределенности является мерой прецизионности измеренных значений (косвенных значений), и обычно выражается теоретическим или эмпирическим стандартным отклонением σ (или кратным ему).

Рассмотрим пример: пусть ряд из пяти результатов измерений (см. рисунок 1) 1697,760; 1837,783; 1303,495; 1012,953; 1548,305 был получен в условиях повторяемости, т.е. измеренные значения были получены независимо одним и

тем же методом измерения, в той же лаборатории, тем же оператором, использующим одно и то же оборудование в течение непродолжительного времени.

В идеальном случае, т.е. при отсутствии погрешности измерений, эти измеренные значения были бы идентичными друг другу (и истинному значению). В реальности, они варьируются в диапазоне от 1000 до 2000, имеют среднее значение $\mu = 1480,059$ и стандартное отклонение $\sigma = 327,636$.

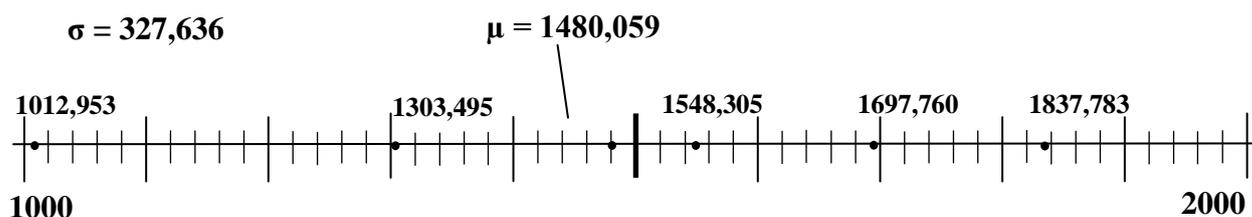


Рисунок 2 – Пример выборки из пяти результатов измерений

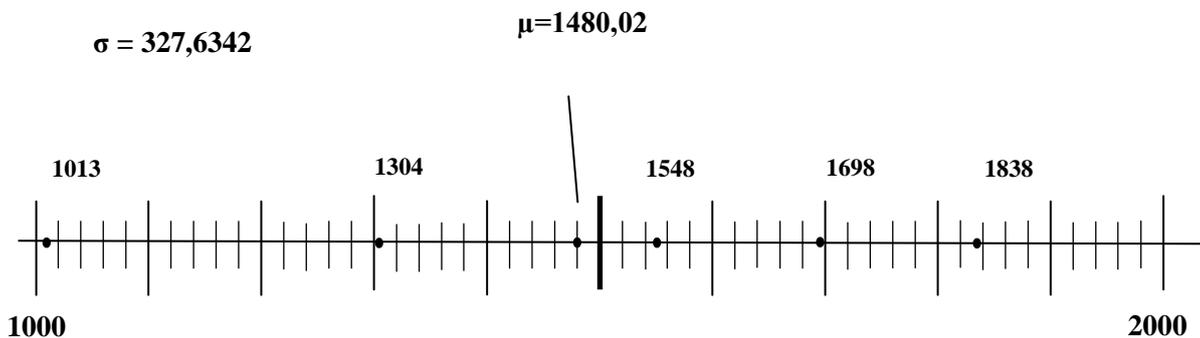


Рисунок 3– Пример выборки с точностью результатов измерений до единиц

На выходе средства измерения каждое измеренное значение представлено в виде действительного числа с 7 цифрами, где три цифры расположены после запятой. При этом, погрешность измерения, то есть разность между измеренным значением и истинным значением, очевидно, составляет величину порядка 10^2 .

Налицо явная несогласованность между неопределенностью измерения, обусловленной большим количеством цифр и кратной 10^{-3} , и фактической неопределенностью измерения, приблизительно равной 300 и кратной 10^2 .

Можно задаться вопросом, являются ли эти семь цифр информативными или было бы достаточно взять значения измерений с четырьмя цифрами как (с точностью до единиц), то есть 1698, 1838, ..., или с тремя значащими цифрами (с точностью до десятков единиц), то есть 1700, 1840, ..., или с другим количеством цифр без потери необходимой информации.

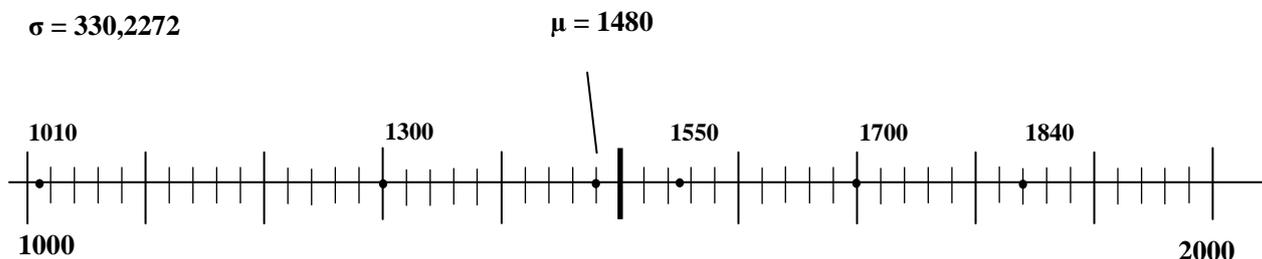


Рисунок 4 – Пример выборки результатов измерений с точностью до десятков единиц

Во избежание указанной выше несогласованности, измеренные значения как прямых, так и косвенных измерений и, вообще говоря, любые измерительные данные должны приводиться только со *значащими цифрами*, то есть со всеми десятичными цифрами, известными точно, плюс первая неточная цифра. Следовательно, необходима процедура округления, позволяющая отбросить все неинформативные цифры и сохранить все информативные цифры.

Процедура округления значений прямых или косвенных измерений, такая, чтобы округленные значения сообщались только со значащими цифрами, должна быть основана на теоретическом или эмпирическом стандартном отклонении этих значений.

2.3.1 Общие правила для округления

Пусть x_1, x_2, \dots, x_n представляет собой ряд значений, полученных независимо при одинаковых условиях измерения на одном и том же объекте измерения или на одинаковых объектах измерения. Каждое значение x_i представлено как значение случайной величины X_i . Предполагается, что все X_i независимы и одинаково распределены с неизвестным математическим ожиданием μ и неизвестным стандартным отклонением σ . Среднее значение \bar{x} и эмпирическое стандартное отклонение s для n значений x_i принимаются в качестве оценок μ и σ .

Мы рассматриваем округленное значение не менее информативным, чем неокругленное, если его округление лишь незначительно влияет на изменение среднего значения \bar{x} и стандартного отклонения s выборки.

Если округление осуществляется с точностью до целых единиц, то будем говорить, что длина Δ класса интервалов равна 10^0 ; если округление осуществляется с точностью до десятков, то будем говорить, что длина Δ класса интервалов равна 10^1 ; если округление осуществляется с точностью до сотен, то будем говорить, что длина Δ класса интервалов равна 10^2 ; и т.д.

Если округление осуществляется с точностью до десятых долей единиц, то будем говорить, что длина Δ класса интервалов равна 10^{-1} ; если округление осуществляется с точностью до сотых долей единиц, то будем говорить, что длина Δ класса интервалов равна 10^{-2} ; если округление осуществляется с точностью до тысячных долей единиц, то будем говорить, что длина Δ класса интервалов равна 10^{-3} ; и т.д.

Тогда округление – это выбор для данного значения подходящего класса длины $\Delta = 10^a$, где a – это положительное или отрицательное целое число.

Если распределение значений симметрично, то влияние округления на среднее значение \bar{x} пренебрежимо мало. Будем полагать, что дисперсия s_{class}^2 ,

рассчитанная после классификации (округления), превышает дисперсию s^2 , рассчитанную для неокругленных измеренных значений на величину $\Delta^2/12$, т.е.

$$s_{\text{class}}^2 = s^2 + \frac{\Delta^2}{12}, \quad (1)$$

где $\Delta^2/12$ известна как поправка Шеппарда [11].

Относительное смещение дисперсии s_{class}^2 определяется по формуле:

$$\frac{s_{\text{class}}^2}{s^2} = 1 + \frac{1}{12} + \frac{\Delta^2}{s^2}. \quad (2)$$

Зададим верхнюю границу для СКО округленного значения в виде:

$$s_{\text{class}} \leq 1,002s, \quad (3)$$

то есть стандартное отклонение s_{class} округленного значения превышает стандартное отклонение неокругленного значения не более чем на 0,2 %. Тогда, с учетом выражения (2), получаем:

$$\frac{s_{\text{class}}^2}{s^2} = 1 + \frac{1}{12} \cdot \frac{\Delta^2}{s^2} \leq 1,002^2 = 1,004, \quad (4)$$

откуда

$$\frac{\Delta}{s} = 0,2. \quad (5)$$

Следовательно, если округление производится с длиной класса $\Delta = 10^a$, то следует выбирать такое наибольшее целое a , чтобы выполнялось условие

$$\Delta = 10^a \leq 0,2s. \quad (6)$$

После логарифмирования выражения (6) получаем формулу

$$a \leq \lg\left(\frac{s}{5}\right)$$

или

$$a = \left\lceil \lg\left(\frac{s}{5}\right) \right\rceil, \quad (7)$$

где $\lceil x \rceil$ – наибольшее целое число, не превышающее x .

В итоге получаем следующее **общее правило округления** (ОПО):

1. Определяем последнюю значащую цифру d как десятичную величину со значением $d \cdot 10^a$, где $a = \left\lceil \lg \left(\frac{s}{5} \right) \right\rceil$.
 2. Округляем значение с помощью обычного правила округления:
 - если первая цифра справа от последней значащей цифры d (т.е. первая незначащая цифра) меньше или равна 4, то округленное значение – это значение со всеми отброшенными незначащими цифрами;
 - если первая цифра справа от последней значащей цифры d больше или равна 5, то округленное значение – это значение, полученное сложением 10^{a-1} со значением со всеми отброшенными незначащими цифрами.
-

В ходе любой обработки измеренных значений или других данных, например, при вычислении среднего или стандартного отклонения или производных значений, промежуточные результаты не должны округляться. Только окончательные результаты должны быть округлены с применением общего правила округления.

Установленные значения, например предельные значения, целевые показатели, ожидаемые значения или теоретические стандартные отклонения, не имеют погрешности, то есть, вообще говоря, они имеют неограниченное количество значащих цифр. Если необходимо, чтобы сравнение таких значений с измеренными значениями или производными значениями было однозначным, то сообщаемое число цифр таких значений должно быть увеличено на соответствующее число нулей справа. Например, измеренный радиус окружности равен 6 м. Найти ее длину. Обычно дают расчет: $C=2\pi R=2 \cdot 3,14 \cdot 6 \text{ м} = 37,68 \text{ м}$.

Он неверен, т.к. четыре значащие цифры соответствуют высокой точности (тысячные доли), которая не так уж часто реализуется при измерениях. от-

куда взяться такой высокой точности, если по крайней мере одно входящее в формулу значение (6 м), дано с точностью, на два порядка меньшей?

Правильный ответ: длина окружности равна 38 м. А если необходим действительно точный ответ, то и данные в условии задачи должны быть с соответствующим числом знаков, т.е. 6,00 м.

Для того чтобы применять ОПО раздела 2 необходимо рассматривать стандартное отклонение измерения. СКО необходимо рассчитывать по формулам приведённых в ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002, учитывая условия проведения измерения.

2.3.2 Округление измеренных значений

Каждое измеренное значение должно быть округлено в соответствии с общим правилом ОПО при соответствующем стандартном отклонении измерения (см. раздел 2.3.1).

Если округление основано на внутрилабораторном стандартном отклонении s_w , которое регулярно получается в результате многократных исследований прецизионности, то нельзя избежать того, что значения, полученные для s_w , варьируются и, следовательно, количество значащих цифр, определяемых применением ОПО, может быть различным. В такой ситуации рекомендуется заранее установить подходящее количество значащих цифр, как обязательных для всех измеренных значений, которые должны сообщаться вне зависимости от фактического значения внутрилабораторного стандартного отклонения.

2.3.3 Округление дисперсий или стандартных отклонений

Если s^2 – дисперсия с ν степенями свободы, то оценка стандартной погрешности дисперсии s^2 определяется по формуле [8]:

$$s_{s^2} = \sqrt{\frac{2}{\nu}} s^2, \quad (8)$$

и оценка стандартной погрешности стандартного отклонения s вычисляется по формуле:

$$s_s \approx \frac{s}{\sqrt{2\nu}}. \quad (9)$$

Чтобы округлить s^2 или s , к ним можно применить ООП с учетом s_{s^2} или s_s , соответственно.

Как правило, число значащих цифр стандартного отклонения, полученное в результате применения общего правила, в большинстве случаев будет равно 2 в большинстве случаев и никогда не превышает 3, если его число степеней свободы не превышает 200.

2.3.4 Округление средних значений

Пусть среднее значение из ряда n независимых измеренных значений x_1, x_2, \dots, x_n имеет вид

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (10)$$

и пусть σ – теоретическое стандартное отклонение значений x_i . Тогда

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (11)$$

является стандартным отклонением среднего значения.

Для того чтобы округлить среднее значение, применяют ОПО к среднему арифметическому значению \bar{x} при СКО $\sigma_{\bar{x}}$.

Однако, теоретическое стандартное отклонение σ как правило не известно. Стандартное отклонение измерения, как описано в разделе 2.2.1, применимо только в том случае, если выборка измерений получена на одном и том же (или

идентичном) объекте измерения. Если выборка состоит из измерений, полученных на разных объектах измерений, то ее стандартное отклонение больше, чем стандартное отклонение измерений, полученных на одном объекте измерения.

Следовательно, округление должно быть выполнено с оценкой этого большего стандартного отклонения. Это может быть получено как

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

и, следовательно, рассчитываем стандартное отклонение среднего значения по формуле

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}. \quad (13)$$

Для того чтобы округлить среднее значение по общему правилу ОПО применяют округление по среднему арифметическому значению \bar{x} с СКО $s_{\bar{x}}$.

2.3.5 Округление косвенных измерений при одном аргументе

Пусть $y = f(x)$ – это известная функция косвенного измерения одного аргумента, имеющая первую и вторую производную соответственно. Приближенные значения математического ожидания μ_y и стандартного отклонения σ_y для y приведены в таблице 2, как функции математического ожидания μ_x и стандартного отклонения σ_x для x .

Для того, чтобы округлить y по ОПО, применяют соответствующее функции f значение σ_y из таблицы 2.

Таблица 2 – Округление производных (косвенных) значений, полученных как значения функций измеряемой величины

№	Функция $y = f(x)$	Математическое ожидание $\mu_y = E(Y)$	Стандартное отклонение $\sigma_y = \sqrt{V(Y)}$,

Продолжение таблицы 2

№	Функция $y = f(x)$	Математическое ожидание $\mu_y = E(Y)$	коэффициент вариации $y_y = \sigma_y / \mu_y $
1	Линейная функция $y = a \pm bX \quad b > 0$	$\mu_y = a + b\mu_x$	$\sigma_y = b\sigma_X$
2	$y = h(X)$ непрерывная монотонная функция X	$\mu_y \approx h(\mu_x) + \frac{1}{2}h''(\mu_x)\sigma_x^2$	$\sigma_y \approx h'(\mu_x) \sigma_x$
3	Степенная функция $y = aX^k \quad x > 0$	$\mu_y \approx a\mu_x^k \left[1 + \frac{k(k-1)}{2}y_x^2 \right]$	$y_y \approx k y_x$
4	$y = aX^2 \quad x > 0$	$\mu_y \approx a\mu_x^2 \left[1 + y_x^2 \right]$	$y_y \approx 2y_x$
5	$y = a\sqrt{X} \quad x > 0$	$\mu_y \approx a\sqrt{\mu_x} \left[1 - \frac{1}{2}y_x^2 \right]$	$y_y \approx \frac{1}{2}y_x$
6	$y = a / X \quad x > 0$	$\mu_y \approx \frac{a}{\mu_x} \left[1 + y_x^2 \right]$	$y_y \approx y_x$
7	$y = \ln(X / a) \quad a > 0, x > 0$	$\mu_y \approx \ln\left(\frac{\mu_x}{a}\right) - \frac{1}{2}y_x^2$	$\sigma_y \approx y_x$
8	$y = e^{X/a}$	$\mu_y \approx e^{\frac{\mu_x}{a}} \left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma_x}{a}\right)^2 \right]$	$y_y \approx \sigma_x / a $

2.3.6 Округление косвенных измерений при двух и более аргументах

Пусть $z = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ является известной функцией косвенного измерения аргументов x_1, x_2, \dots, x_k , которая имеет первую $\partial h / \partial x_i$ и вторую производные $\partial^2 h / (\partial x_i \partial x_j)$. Тогда приближенные значения для математического ожидания μ_z и стандартного отклонения σ_z^2 для z приведены в таблице 2 как функции математического ожидания μ_i , стандартного отклонения σ_i и коэффициента корреляции ρ_{ij} для значений $x_i, i = 1, \dots, k$.

Для того, чтобы округлить z по ОПО, применяют соответствующее функции f значение σ_z из таблицы 2.

Таблица 3 – Округление производных значений, полученных как значения функций двух или более измеряемых величин

№	Функция $z = h(x_1, x_2, \dots, x_k)$	Математическое ожидание $\mu_z = E(z)$	Стандартное отклонение $\sigma_z^2 = V(z)$,
1	Линейная функция $z = a + \sum_{i=1}^k b_i x_i$	$\mu_z = a + \sum_{i=1}^k b_i \mu_i$	$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k b_i b_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j =$ $\sum_{i=1}^k b_i^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k \sum_{j < i} b_i b_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$
2	Частный случай: все x_i попарно не коррелированы $\rho_{ij} = 0$ для $i \neq j; i,$ $j = 1, \dots, k;$ см. 3		$\sigma_z^2 = \sum_{i=1}^k b_i^2 \sigma_i^2$
3	$z = h(x_1, x_2, \dots, x_k)$	$\mu_z \approx h(\mu_1, \dots, \mu_k) +$ $+\frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{\partial^2 h}{\partial x_i \cdot \partial x_j} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$	$\sigma_z^2 \approx \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{\partial h}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial h}{\partial x_j} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j =$ $\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial h}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^k \sum_{j < i} \frac{\partial h}{\partial x_i} \cdot$ $\cdot \frac{\partial h}{\partial x_j} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$
4	Частный случай: все x_i попарно не коррелированы $\rho_{ij} = 0$ для $i \neq j; i,$ $j = 1, \dots, k;$	$\mu_z \approx h(\mu_1, \dots, \mu_k) +$ $+\frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \frac{\partial^2 h}{\partial x_i^2} \sigma_i^2$	$\sigma_z^2 \approx \sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial h}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_i^2$
5	Частный случай $k = 2,$ $x_1 = x$ и $x_2 = y$ $z = h(x, y)$	$\mu_z \approx h(\mu_x, \mu_y) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \sigma_x^2 +$ $+\frac{1}{2} \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \sigma_y^2 + \frac{\partial^2 h}{\partial x \partial y} \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y$	$\sigma_z^2 \approx \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y} \right)^2 \sigma_y^2 +$ $+2 \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial h}{\partial y} \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y$
6	$z = x \pm y$	$\mu_z = \mu_x \pm \mu_y$	$\sigma_z^2 \approx \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \pm$ $\pm 2 \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y$

Продолжение таблицы 3

7	$z = xy$	$\mu_z = \mu_X \mu_y + \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y =$ $= \mu_X \mu_y \left[1 + \rho_{xy} \frac{\sigma_x}{\mu_X} \frac{\sigma_y}{\mu_y} \right]$	$\sigma_z^2 \approx \mu_x^2 \sigma_x^2 + \mu_y^2 \sigma_y^2 + 2\mu_x \mu_y \rho_{xy} \sigma_x \sigma_y$ $= (\mu_x \mu_y)^2 \left[\left(\frac{\sigma_x}{\mu_X} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{\mu_y} \right)^2 + 2\rho_{xy} \frac{\sigma_x}{\mu_X} \frac{\sigma_y}{\mu_y} \right]$
8	$z = x / y$	$\mu_z \approx \frac{\mu_X}{\mu_y} \left[1 + \left(\frac{\sigma_y}{\mu_y} \right)^2 - \right.$ $\left. - \rho_{xy} \frac{\sigma_x}{\mu_X} \frac{\sigma_y}{\mu_y} \right]$	$\sigma_z^2 \approx \left(\frac{\mu_x}{\mu_y} \right)^2 \left[\left(\frac{\sigma_X}{\mu_X} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_y}{\mu_y} \right)^2 - \right.$ $\left. - 2\rho_{xy} \frac{\sigma_x}{\mu_X} \frac{\sigma_y}{\mu_y} \right]$

В данном разделе описывается общее правило округления (ОПО) результатов прямых и косвенных измерений. Это правило основано на поправке Шеппарда с учетом СКО s округляемых значений. Даны рекомендации по выбору значений s в конкретных измерительных ситуациях.

Далее рассмотрим применение правил округления по П.Т. Ульриху

3 Применения правила округления по П.Т. Ульриху

3.1 Пример округления результатов многократных измерений постоянного напряжения

В данном разделе проведем расчеты для округления результата измерения по П.Т. Ульриху [8] для пяти различных примеров измерительных ситуаций. Будет проведено сравнение результатов проведенных расчетов с результатами округления в соответствии со стандартной процедурой округления результата измерения [2].

3.1.1 Округление по П.Т. Ульриху

Данные этого примера получены во время прохождения производственной практики на предприятии АО ЭлеСи (г. Томск). С калибратора СА100 выдавалось постоянное напряжение 10 В на вход модуля ТА 712 8IDC, показания которого регистрировались с помощью программного обеспечения "Метролог". Результаты измерений $n = 50$ значений представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты измерения постоянного напряжения, В

9.9982	9.9983	10.0000	9.9979	9.9984	9.9985	9.9976
9.9990	9.9969	9.9986	9.9976	9.9992	9.9992	9.9997
9.9996	9.9995	9.9988	9.9970	9.9978	9.9976	
9.9981	9.9976	9.9994	9.9998	9.9979	9.9977	
9.9985	9.9995	10.0006	10.0006	9.9978	9.9986	
9.9987	9.9998	9.9990	9.9975	9.9997	9.9977	
9.9997	10.0005	9.9993	9.9986	9.9990	9.9996	
9.9967	9.9987	9.9979	9.9992	9.9983	9.9969	

По известным формулам вычисляем среднее арифметическое значение $\bar{x} = 9,9987$ В и среднее квадратическое отклонение результата измерений $S = 0,00099559$ В.

Определяем a по формуле (7):

$$a = \lg\left(\frac{0,00099559}{5}\right) = \lceil -3,70088 \rceil = -4.$$

Поскольку $a = -4$, оставляем в среднем арифметическом 4 цифры после запятой, т.е. значение $\bar{x} = 9,9987$ В. При этом в СКО следует оставить такое же количество знаков, т.е. $S = 0,001$ В. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$(9,999 \pm 0,001)$ В.

3.1.2 Стандартное округление

Рассмотрим теперь стандартизованную процедуру округления результатов тех же измерений.

Округляем значение случайной погрешности результатов измерений, роль которой выполняет СКО $S = 0,00099559$ В. Так как первая значащая цифра > 3 , оставляем в СКО одну значащую цифру и получаем $S = 0,001$ В. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$(9,999 \pm 0,001)$ В.

3.2 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях повторяемости

3.2.1 Округление по П.Т. Ульриху

Лаборатория использует метод измерения, для которого известно СКО в условиях повторяемости $\sigma_r = 5,7$. Она создала систему контроля качества, чтобы гарантировать, что ее внутрилабораторное стандартное отклонение σ_w не превышает σ_r . Получены следующие $n = 5$ значений измерений, которые были измерены на различных объектах измерений:

46,68571; 66,07172; 23,26094; 83,60705; 39,63703.

Чтобы округлить эти значения измерений, необходимо применить ОПО, для которого СКО равно $\sigma_r = 5,7$:

а) рассчитываем число значащих цифр по формуле (7)

$$a = [\lg(\frac{5,7}{5})] = 0,$$

где последняя значащая цифра d – это цифра со значением $d \cdot 10^a = d \cdot 10^0$;

б) полученные значения измерений должны быть округлены до целых чисел:

47; 66; 23; 84; 40.

Кроме того, должно быть сообщено среднее значение измерений $n = 5$, которое равняется $\bar{x} = 51,85249$. Поскольку измеренные значения были получены на разных объектах измерения, стандартное отклонение в условиях повторяемости не округляется. Вместо этого вычисляется стандартное отклонение измерений, которое равно $S = 23,47301$.

Рассчитываем стандартное отклонение среднего значения по формуле $s_x = s / \sqrt{n} = 10,49745$ и $a = [\lg(10,49745 / 5)] = 0$, из этого следует, что среднее значение должно быть округлено до целого числа $\bar{x} = 52$.

Если стандартное отклонение в условиях повторяемости равно $\sigma_r = 5,7$ ошибочно использовать для расчета стандартного отклонения среднего значения, то результат был бы равен $s_x = \sigma_r / \sqrt{n} = 5,7 / \sqrt{5} = 2,549117$ и $a = -1$, следовательно, что среднее значение было бы неправильно округлено, и среднее значение равнялось бы $\bar{x} = 51,8$, это говорило бы о «фиктивной» точности, чем есть на самом деле.

Поскольку $a = 0$, следовательно, что среднее значение должно быть округлено до целого числа $\bar{x} = 52$. При этом СКО следует оставить таким же как дано по условию, т.е. $S = 5,7$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(52,0 \pm 5,7)$$

3.2.2 Стандартное округление

Рассмотрим теперь стандартизованную процедуру округления результатов тех же измерений.

За случайную погрешность результатов измерений принимаем СКО равное $S = 5,7$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(51,8 \pm 5,7)$$

3.3 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях прецизионности

3.3.1 Округление по П.Т. Ульриху

Теперь предполагается, что внутрилабораторное стандартное отклонение измерительной системы примера 1 неизвестно. Поэтому внутрилабораторное стандартное отклонение s_w измерительной системы определяется путем проведения прецизионного эксперимента с выборкой из n измерений x_1, \dots, x_n на одном и том же объекте измерения в условиях повторяемости.

а) В первом эксперименте в условиях прецизионности получены следующие значения измерений:

$$46,31169 \quad 45,82353 \quad 51,49269 \quad 53,63268$$

$$47,90017 \quad 42,42781 \quad 49,60073$$

$$58,68825 \quad 56,16605 \quad 64,24056$$

при СКО $s_w = 6,651314$, $\bar{x} = 51,628416$, имеющем $\nu = n - 1 = 10 - 1 = 9$ степеней свободы. Чтобы округлить s_w , его стандартная погрешность должна быть определена в соответствии с разделом 2 по формуле (9):

$$s_s \approx \frac{s_w}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{6,651314}{\sqrt{2 \cdot (10-1)}} = 1,567730.$$

Поскольку $a = [\lg(1,567730/5)] = -1$, из этого следует, что стандартное отклонение s_w должно быть округлено до первого десятичного знака после запятой: $s_w = 6,7$

Если количество измеренных значений составляет $n = 200$ вместо $n=10$ и s_w имеет то же самое значение, что и раньше, то

$$s_s \approx \frac{s_w}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{6,651314}{\sqrt{2 \cdot (200-1)}} = 0,333400,$$

и $a = [\lg(0,333400/5)] = -2$ из чего следует, что s_w должно быть округлено до второго десятичного знака после десятичной точки: $s_w = 6,65$. Значения измерений и их средние значения не округляются, поскольку серия измерений была получена в прецизионном эксперименте только для того, чтобы оценить стандартное отклонение измерений.

Однако, если измеренное стандартное отклонение s_w равно $6,7$, используется для округления других значений измерений, они должны быть округлены до целых чисел, потому что $a = [\lg(6,7/5)] = 0$.

Поскольку $a = -1$, оставляем в среднем арифметическом 1 цифру после запятой, т.е. значение $\bar{x} = 51,6$. При этом в СКО следует оставить такое же количество знаков, т.е. $s_w = 6,7$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(51,6 \pm 6,7) .$$

б) Во втором эксперименте в условиях прецизионности получены следующие значения измерений:

38,80184; 47,96910; 39,55398;

43,60777; 45,50599; 47,08356;

46,82841; 40,49236; 45,78635;

41,14872.

где стандартное отклонение равняется $s_w = 3,416596$ и имеет 9 степеней свободы, а также $\bar{x} = 43,677808$.

Рассчитаем s_s по формуле (9)

$$s_s \approx \frac{s_w}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{3,416596}{\sqrt{2 \cdot 9}} = 0,805299.$$

Поскольку $a = [\lg(0,805299 / 5)] = 1$, то стандартное отклонение s_w должно быть округлено до первого десятичного знака после десятичной точки: $s_w = 3,4$.

Если это стандартное отклонение измерения используется для округления значений измерений, то они должны быть округлены до первого десятичного знака после десятичной точки, поскольку $a = [\lg(3,4 / 5)] = -1$. Серия повторных измерений в соответствии с (а) и (б) была получена с помощью одной и той же измерительной системы в идентичных условиях, однако из-за случайного изменения оценок s_w значения измерений были бы округлены до целых чисел на основе первого стандарта отклонение s_w и до первого десятичного знака после десятичной точки на основе второго s_w . Чтобы избежать таких явных несоответствий, может потребоваться округление до первого десятичного знака после десятичной точки независимо от фактического значения s_r .

Поскольку $a = -1$, оставляем в среднем арифметическом 1 цифру после запятой, т.е. значение $\bar{x} = 43,8$. При этом в СКО следует оставить такое же количество знаков, т.е. $s_w = 3,4$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(43,8 \pm 3,4)$$

3.3.2 Стандартное округление

Рассмотрим теперь стандартизованную процедуру округления результатов тех же измерений.

а) Округляем значение случайной погрешности результатов измерений, роль которой выполняет СКО $S = 6,651314$. Так как первая значащая цифра > 3 , оставляем в СКО одну значащую цифру и получаем $S = 6,7$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$(51,6 \pm 6,7)$

б) Округляем значение случайной погрешности результатов измерений, роль которой выполняет СКО $S = 3,416596$. Так как первая значащая цифра > 3 , оставляем в СКО одну значащую цифру и получаем $S = 3,4$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$(43,8 \pm 3,4)$

3.4 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях прецизионности

3.4.1 Округление по П.Т. Ульриху

В межлабораторном прецизионном эксперименте по определению глюкозы в сыворотке крови [8] восемь лабораторий провели три повторных измерения на каждом из пяти стандартных образцов материала А, ..., Е. Лаборатория 1 получила следующие результаты измерений 41,03; 41,45; 41,37.

Для стандартных образцов материала А, дисперсия s_w^2 равна 0,049733 и стандартное отклонение s_w равно 0,22301, с ν степенями свободы $= n - 1 = 2$.

Для округления s_w^2 и s_w , и их стандартных погрешностей должны быть вычислены в соответствии с разделом 2 по формуле (8) и (9):

$$s_{s_w^2} = \sqrt{\frac{2}{n-1}} s_w^2 = \sqrt{\frac{2}{2}} \cdot 0,049733 = 0,049733$$

и

$$s_s \approx \frac{s_w}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{0,22301}{\sqrt{2 \cdot 2}} = 0,11150.$$

Для s_w^2 , $a = [\lg(0,049733/5)] = -3$, следовательно $s_w^2 = 0,050$; для s_w , $a = [\lg(0,11150/5)] = -2$, следовательно $s_w = 0,22$.

Аналогичным образом, внутрилабораторные отклонения других семи лабораторий были получены для стандартных образцов материала А:

Таблица 5 – Внутрилабораторные отклонения для стандартных образцов материала А

Лаборатории	1	2	3	4	5	6	7	8
s_w^2	0.050	0.235	1.125	3.283	0.134	1.983	1.557	0.677
s_w	0.22	0.49	1.06	1.81	0.37	1.41	1.25	0.82

В каждой из участвующих лабораторий округленное внутрилабораторное стандартное отклонение в условиях повторяемости может использоваться в качестве меры точности в этой лаборатории.

В рамках прецизионного эксперимента было оценено стандартное отклонение в условиях повторяемости и стандартное отклонение в условиях воспроизводимости метода измерения. Поскольку разница между внутрилабораторными стандартными отклонениями лабораторий были незначительными, было принято решение использовать среднее значение

$$\overline{s^2} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p s_i^2 = 1,1305, \quad (14)$$

где $p = 8$ и s_i^2 дисперсия в условиях повторяемости.

И стандартное отклонение в условиях повторяемости определяется по формуле (15)

$$s_r = \sqrt{\overline{s^2}} = 1,06325. \quad (15)$$

Коэффициент вариации для $y = \sqrt{x}$ равняется $y_y = \frac{y_x}{2} y_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$, $y_y = \frac{\sigma_y}{\mu_y}$,

$$\mu_y \approx \sqrt{\mu_x}.$$

Как следствие из этих выражений вычисляется СКО по формуле (16)

$$\sigma_y = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\mu_x}} \cdot \sigma_x. \quad (16)$$

где $y = \sqrt{s^2}$, $\sigma_y = s_{\sqrt{s^2}} = s_{s_r}$, $x = \mu_x = \overline{s^2}$, $\sigma_x = s_{s^2}$ и поскольку $\overline{s^2}$ является стандартным отклонением среднего значения, которое определяется, в соответствии раздела 6 по формуле (17)

$$\overline{s^2} = \frac{s_{s^2}}{\sqrt{p}} = 0,39438, \quad (17)$$

где

$$s^2 = \sqrt{\frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p (s_i^2 - \overline{s^2})^2} = 1,11548 \quad (18)$$

является стандартным отклонением дисперсии s_i^2 .

$$s_{s_i^2} \approx \frac{1}{2 \cdot \sqrt{1,1305}} \cdot 0,39438 = 0,18546.$$

Поскольку $a = [\lg(0,18546/5)] = -2$, s_r должно быть округлено до второго десятичного знака после десятичной точки: $s_r = 1,06$.

Если бы разница между лабораторными отклонениями была велика, где $s_{sr} > 0,5$, $a = -1$, то s_r было бы округлено с меньшим количеством значимых цифр и равнялось бы $s_r = 1,1$, чем каждое из стандартных отклонений внутри лаборатории.

Поскольку $a = -2$, оставляем в среднем арифметическом 2 цифры после запятой, т.е. значение $\bar{x} = 41,28$. При этом в СКО следует оставить такое же количество знаков, т.е. $s_w = 0,22$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(41,28 \pm 0,22)$$

3.4.2 Стандартное округление

Рассмотрим теперь стандартизованную процедуру округления результатов тех же измерений.

Округляем значение случайной погрешности результатов измерений, роль которой выполняет СКО $S = 0,22301$. Так как первая значащая цифра < 3 , оставляем в СКО две значащей цифры и получаем $S = 0,22$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(41,28 \pm 0,22)$$

3.5 Пример округления результатов измерений, полученных в условиях повторяемости косвенным методом

3.5.1 Округление по П.Т. Ульриху

Рассмотрим пример 5. Гравиметрическое определение содержания сухого вещества в молоке, W , основано на измерении массы m_0 посуды, массы m_1 посуды плюс молока и массы m_2 посуды плюс сухого вещества. Содержание сухого вещества в молоке можно рассчитать по формуле:

$$W = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} . \quad (19)$$

Поскольку три измерения массы m_0 , m_1 , m_2 выполняются независимо с помощью одной и той же измерительной системы, их коэффициенты корреляции ρ_{m_2, m_0} , ρ_{m_1, m_0} , ρ_{m_2, m_1} равны нулю, а их стандартные отклонения в условиях повторяемости равны $\sigma_{m_2} = \sigma_{m_1} = \sigma_{m_0} = \sigma_r$.

Стандартное отклонение в условиях повторяемости измерения массы, как известно, составляет $\sigma_r = 1,0$ мг, так что в соответствии с ОПО значения измерения массы должны быть округлено до кратной одной десятой миллиграмм.

Для конкретного образца получены следующие значения измерений $m_0 = 20003,0$ мг, $m_1 = 24001,0$ мг, $m_2 = 20530,0$ мг.

Для определения значимых показателей W , применяем формулу для σ_z^2 в строке 2 таблицы 2, где m_0, m_1, m_2, z , равняется x_1, x_2, x_3, w , коэффициенты корреляции равняются нулю, и дисперсия равна σ_r^2 .

Согласно таблице 2 дисперсия вычисляется по формуле

$$\sigma_w^2 \approx \sigma_r^2 \sum_{i=0}^2 \left(\frac{\partial h}{\partial m_i} \right)^2 . \quad (20)$$

Тогда согласно таблице 2 содержание сухого вещества в молоке равняется

$$W = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} = h(m_0, m_1, m_2) . \quad (21)$$

Рассчитаем первую частную производную

$$\frac{\partial W}{\partial m_0} = \frac{-(m_1 - m_0) + (m_2 - m_0)}{(m_1 - m_0)^2} = \frac{m_2 - m_1}{(m_1 - m_0)^2}$$

$$\frac{\partial W}{\partial m_0} = \frac{m_2 - m_0}{(m_1 - m_0)^2}$$

$$\frac{\partial W}{\partial m_0} = \frac{1}{m_1 - m_0}$$

Тогда дисперсия определяется по формуле (20)

$$\sigma_w^2 = \sigma_r^2 \left(\frac{(m_2 - m_1)^2}{(m_1 - m_0)^4} + \frac{(m_2 - m_0)^2}{(m_1 - m_0)^4} + \frac{1}{(m_1 - m_0)^2} \right)$$

$$\sigma_w \approx \frac{\sigma_r}{(m_1 - m_0)^2} \cdot \sqrt{(m_2 - m_1)^2 + (m_2 - m_0)^2 + (m_1 - m_0)^2}$$

$$\sigma_w \approx \frac{1,0}{3998,0^2} \sqrt{3470,7^2 + 527,3^2 + 3998,0^2} = 3,3286 \cdot 10^{-4}$$

Поскольку $a = [\lg(3,3286 \cdot 10^{-4} / 5)] = -5$ W должно быть округлено до кратных 10^{-5}

$$W = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} = \frac{527,3}{3998,0} = 0,13189 = 13,189\%$$

Следует отметить, что полная процедура измерения для гравиметрического определения содержания сухого вещества состоит не только из трех измерений массы, но также из процесса сушки и отбора проб. Следовательно, для получения стандартного отклонения в условиях повторяемости гравиметрического определения необходимо выполнить повторные измерения всей процедуры измерения (включая отбор проб, сушку и три измерения массы).

Стандартное отклонение в условиях повторяемости включает изменение, вызванное отбором проб и сушкой, и, следовательно, будет больше, чем стандартное отклонение в условиях повторяемости, рассчитанное в этом примере, которое включает только изменение по измерению массы.

Если большое стандартное отклонение в условиях повторяемости используется по ОПО, это может привести к меньшему количеству значащих цифр в значении содержания сухого вещества.

Поскольку $a = -5$, оставляем в среднем арифметическом 2 цифры после запятой, т.е. значение $W = 0,13189$. При этом в СКО следует оставить такое же количество знаков, т.е. $s_w = 0,00033$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(0,13189 \pm 0,00033)$$

3.5.2 Стандартное округление

Рассмотрим теперь стандартизованную процедуру округления результатов тех же измерений.

Округляем значение случайной погрешности результатов измерений, роль которой выполняет СКО $S = 0,00033286$. Так как первая значащая цифра > 3 , оставляем в СКО одну значащую цифру и получаем $S = 0,0003$. Следовательно, результат измерения имеет следующий вид:

$$(0,1319 \pm 0,0003)$$

Результаты расчетов по двум исследуемым процедурам округления результата измерения были представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Округленные результаты измерений

Процедура округления результатов измерений по П.Т. Ульриху		Стандартизованная процедура округления результатов измерений
Полученные значения	a	Полученные значения
$(9,999 \pm 0,001)$	- 4	$(9,999 \pm 0,001)$
$(52,0 \pm 5,7)$	0	$(51,8 \pm 5,7)$
$(51,6 \pm 6,7)$	- 1	$(51,6 \pm 6,7)$
$(43,8 \pm 3,4)$	- 1	$(43,8 \pm 3,4)$
$(41,28 \pm 0,22)$	- 2	$(41,28 \pm 0,22)$
$(0,13189 \pm 0,00033)$	- 5	$(0,1319 \pm 0,0003)$

В результате исследования пришли к следующим заключениям:

1) Сравнение полученных результатов с результатами округления на основе стандартной процедуры, рекомендованной в ГОСТ 8.736-2011, показало, что в некоторых случаях число значащих цифр в округленном результате на единицу больше для округления по П.Т. Ульриху.

2) Полученные округленные результаты измерений, дают возможность, благодаря процедуре округления результата измерения по П.Т. Ульриху предсказать и обосновать, какое количество значащих цифр необходимо для получения «точного» результата измерения.

3) Округление по П.Т. Ульриху можно рекомендовать для практического применения в силу его зависимости от среднеквадратического отклонения округляемых результатов.

Преимуществом процедуры является простота и обоснованность округления результата измерения. Недостатком является нахождение СКО, что может привести к увеличению времени на обработку результатов измерений, а также не распространенность данной процедуры округления результата измерения заключается в малоизученности.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Сегментировать рынок по применению методики округления можно по следующим критериям: тип потребителя и точность результата. Потребителем может выступать научная лаборатория, которой требуется высокая точность; промышленная компания для проведения обработки результатов измерений, а также физическое лицо [17].

		Нагрузка	
		Высокая точность	Низкая точность
Потребитель	Научная лаборатория	+	
	Промышленная компания	+	+
	Физическое лицо	+	+

Рисунок 5 – Карта сегментирования рынка

По итогам сегментирования, рисунок 5, определены основные сегменты данного рынка. Методика округления может использоваться научными лабораториями, промышленными компаниями и физическими лицами.

Далее рассмотрим диаграмму причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) - это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления, который был представлен на рисунке 6 [17].

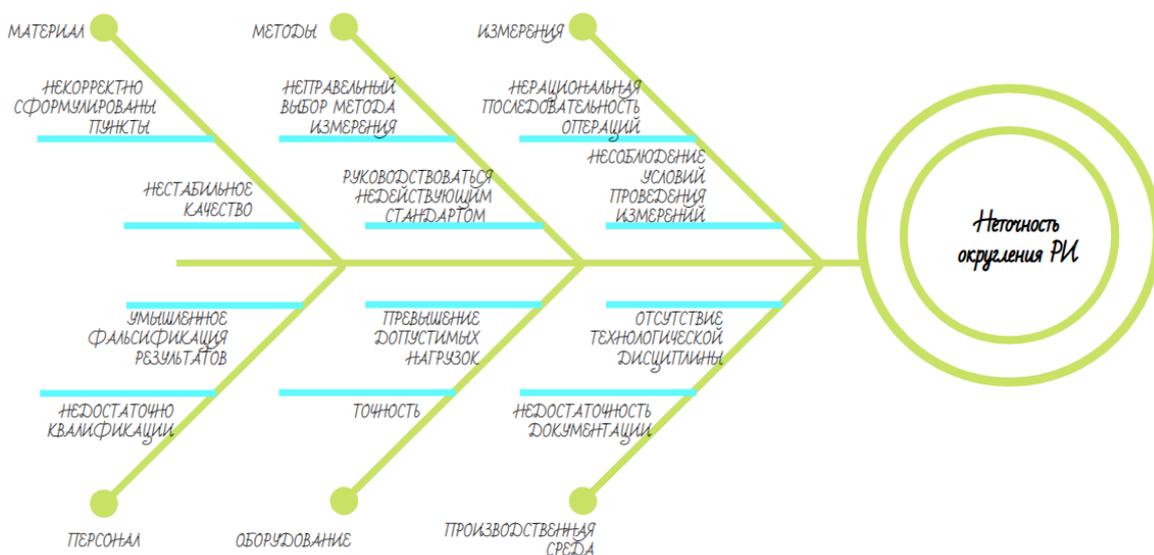


Рисунок 6 – Диаграмма Исикавы

4.2 Организация и планирование работ

Перед началом работы необходимо рационально спланировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ. Участниками данного проекта являются инженер (И) и научный руководитель (НР). В таблице 7 показан список этапов работ, исполнители, задействованные в них и степень загрузки каждого исполнителя.

Таблица 7 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение календарного плана дипломной работы	НР, И	НР – 100% И – 10%
Изучение литературы и справочных материалов по теме работы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Обсуждение информации из литературных источников	НР, И	НР – 70% И – 50%
Обработка результатов эксперимента	И	И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% , И – 100%

Для расчета продолжительности этапов работ использовался экспертный способ оценки, подразумевающий вычисление ожидаемой продолжительности работ $t_{ожі}$ для каждого этапа по формуле 22

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (22)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемое значение трудоемкости выполнения i -ой работы, чел. – дн.;

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость заданной i -ой работы, чел. – дн.;

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость заданной i -ой работы, чел. – дн.

После этого для каждого этапа по формуле 20 было рассчитано значение продолжительности выполнения этапа в рабочих днях $T_{рд}$.

$$T_{рд} = t_{ожі} \cdot K_{вн} \cdot K_{в} \quad (23)$$

где $K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей ($K_{вн} = 1$);

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ ($K_{д} = 1,2$).

На основе расчета продолжительности выполнения этапа в рабочих днях вычисляется продолжительности этапа в календарных днях ($T_{кд}$)

$$T_{кд} = T_{рд} \cdot T \quad (24)$$

где $T_{к}$ – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях. Для научного руководителя, работающего по шестидневной рабочей неделе, данный коэффициент равен 1,205, а для исполнителя, работающего по пятидневной рабочей неделе, коэффициент равен 1,466.

Расчеты для каждого этапа сведены в таблице 8.

Величины трудоемкости этапов по исполнителям позволяют построить

линейный график осуществления проекта, который представлен в таблице 9.

Таблица 8 – Трудозатраты для выполнения проекта.

Этап	Продолжительность работы, дни						Трудоёмкость работ по исполнителям чел.-дн.			
	$t_{\min i}$		$t_{маа}$		$t_{ож}$		$T_{рд}$		$T_{кд}$	
	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И
1	3		4		5		6	7	8	9
Постановка целей и задач, получение исходных данных	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2	1,45	1,76
Составление и утверждение календарного плана дипломной работы	1	1	1	1	1	1	1,2	1,2	1,45	1,76
Изучение литературы исправочных материалов по теме работы	1	15	1	24	1	18,6	1,2	22,32	1,45	32,72
Обсуждение информации из литературных источников	1	8	1	10	1	8,8	1,2	10,56	1,45	15,48
Обработка результатов эксперимента	1	15	1	20	1	17	1,2	20,4	1,45	29,91
Оформление пояснительной записки	1	5	1	10	1	7	1,2	8,4	1,45	12,31
Подведение итогов	2	5	2	10	2	7	2,4	8,4	2,89	12,31
Итого:					8	60,4	9,6	72,48	11,57	106,26

Таблица 9 - Линейный график работ

№	Вид работ	Исполнители		Продолжительность выполнения работ										
				Март			Апрель			Май			Июнь	
		НР	И	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	Постановка целей и задач, получение исходных данных	1,45	1,76	■										
2	Составление и утверждение календарного плана дипломной работы	1,45	1,76	■										
3	Изучение литературы исправочных материалов по теме работы	1,45	32,7 2		■	■	■							
4	Обсуждение информации из литературных источников	1,45	15,4 8				■	■	■					
5	Обработка результатов эксперимента	1,45	29,9 1					■	■	■	■			
6	Оформление пояснительной записки	1,45	12,3 1								■	■		
7	Подведение итогов	2,89	12,3 1									■	■	

4.3 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

4.3.1 Расчет амортизационных расходов

Амортизационные расходы при использовании оборудования рассчитываются по формуле

$$C_{ам} = (\sum K_{обі} \cdot N_{амі} \cdot T_{обі}) / (251 \cdot 100), \quad (25)$$

где $K_{обі}$ – стоимость ед. прибора или оборудования, руб.;

$N_{амі}$ – норма амортизации прибора или оборудования, %;

$T_{обі}$ – время использования оборудования, дни.

Таблица 10 – Амортизационные расходы

Наименование оборудования	Норма амортизации прибора или оборудования, %	Время использования оборудования, дни	Стоимость ед. прибора или оборудования, руб	Амортизационные расходы
Персональный компьютер	40	106	45000	76,02
Мультиметр	40	2	2000	0,064
Итого				76,084

4.3.2 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования.

В данной работе в качестве расходных материалов будет использоваться бумага и картридж для принтера. Результаты расчета по данной статье расходов приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Расчет затрат на материалы

Наименование материалов	Цена за ед.,руб.	Кол-во	Сумма,руб.
Бумага для принтера формата А4	300	1 уп.	300
Картридж для принтера	2000	1 шт.	2000
Итого:			2300

Из таблицы 11 следует, что общие затраты на материалы составят 2300 рублей.

4.3.3 Расчет заработной платы

Расходы на заработную плату ($C_{зп}$) включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта). Расчет заработной платы участников проекта представлен в таблице 13.

Для расчета заработной платы воспользуемся формулой

$$З_{м} = З_{ок} \cdot K_p \quad (26)$$

где $З_{ок}$ – размер оклада для д.т.н. профессора 47 104 руб, инженер – ассистент 22 695 руб;

K_p - районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала необходимо представить в виде расчетов, в таблице 12.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	47	88
- праздничные дни	30	30
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	24
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	232	223

Основная заработная плата ($З_{осн}$) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_{раб}; \quad (27)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} \quad (28)$$

$Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 56 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн.

Таблица 13 – Расчет заработной платы

Исполнитель	$Z_{\text{ок}}$, руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$, Руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
НР	47 104	1,3	61 235,2	2745,03	9,6	26 352,29
И	22 695	1,3	29 503,5	1481,79	72,48	107 400,15
Итого:						133 752,438

Из таблицы 13 видно, что расходы на заработную плату исполнителя проекта и научного руководителя составят 133 752,438 руб.

4.3.4 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ССОЦ), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30% от полной заработной платы по проекту, т.е. $\text{ССОЦ} = \text{СЗП} \cdot 0,3$. В нашем случае $= 133\,752,438 \cdot 0,3 = 40\,125,73$ руб.

4.3.5 Расчет затрат на электроэнергию

Затраты на электроэнергию ($C_{эл.об}$) вычисляются как сумма затрат на электроэнергию персонального компьютера. Для конкретного оборудования она равна

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_э \quad (29)$$

$P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_э$ – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об}$ – время работы оборудования, час.

Для ТПУ $Ц_э = 6,59$ руб./кВт·час (с НДС).

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера (ТРД) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов

$$t_{об} = T_{р\delta} \cdot K_t \quad (30)$$

где $K_t \leq 1$ – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к $T_{р\delta}$.

В данном проекте использовалось следующее электрооборудование: персональный компьютер, принтер. Их коэффициенты использования по времени равны 1; 0,01. Расчеты расходов на электроэнергию собраны в таблице 14.

Таблица 14 – Расчет затрат на электроэнергию технологическую

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$, час	Потребляемая мощность $P_{об}$, кВт	Затраты ЭОБ, руб.
Персональный компьютер	413,2	0,3	816,89
Принтер	5	0,38	12,52
Итого:			829,42

Из таблицы 14 следует, что расходы на электроэнергию составили 829,42 руб.

4.3.6 Расчет общей себестоимости разработки

Общую себестоимость разработки можно вычислить как сумму всех расходов. Данный расчет представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет общей себестоимости проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	2300
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	133 752,438
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	40 125,73
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.об}}$	829,42
Амортизационные расходы	$C_{\text{ам}}$	76,084
Итого:		177 083,67

Из представленных в таблице 15 данных следует, что общая себестоимость разработки составляет 177 083,67 рублей.

4.3.7 Расчет прибыли

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. В данной работе она составляет 20% от полной себестоимости работы и равна 35 416,73 рублей.

4.3.8 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это $(177\,083,67 + 35\,416,73) \cdot 0,20 = 42\,500,08$ руб.

4.3.9 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 177\,083,67 + 35\,416,73 + 42\,500,08 = 255\,000,48 \text{ руб.}$$

Таким образом, из представленных расчетов видно, что цена разработки НИР составляет 255 000,48 руб.

4.4 Оценка научного уровня

Важнейшим результатом реализации методики является его научно-технический уровень, который характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается ли научно-технический прогресс в данной области.

На основе оценок новизны результатов, их ценности, масштабам реализации определяется показатель научно-технического уровня по формуле:

$$H_m = \sum_{i=1}^n K_i \cdot P_i, \quad (31)$$

где K_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта, представлена в таблице 16;

P_i – количественная оценка i -го признака научно-технического уровня работы, представлена в таблице 17 и 18.

Таблица 16 – Признаки научно-технического эффекта

Признак научно-технического эффекта НИР (i)	Примерное значение весового коэффициента (K_i)
1.Уровень новизны	0,6
2.Теоретический уровень	0,4
3. Возможность реализации	0,2

Таблица 17 – Количественная оценка уровня новизны НИР

Уровень новизны разработки	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Результаты исследований открывают новое направление в данной области науки и техники.	8-10
Новая	По-новому или впервые объяснены известные факты, закономерности.	5-7
Относительно новая	Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований.	2-4
Традиционная работа	Работа выполнена по традиционной методике, результаты которой носят информационный характер.	1
Не обладает новизной	Получен результат, который был ранее известен	0

Таблица 18 – Количественная оценка теоретического уровня НИР

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1.Разработка новой теории	10
2.Глубокая разработка проблемы	8
3.Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	7
4.Описание отдельных элементарных способов округления	1

Возможность реализации научных результатов представлена в таблице 19.

Таблица 19 – Возможность реализации научных результатов

Время реализации	Баллы
В течении первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Более 10 лет	2
Масштабы реализации	Баллы
Научная лаборатория	10
Промышленная компания	4
Физическое лицо	2

По результатам проведения оценки НИР была составлена сводная таблица 20 оценки научно-технического уровня, на основе которой сделан вывод об ожидаемой эффективности выполняемой НИР.

Таблица 20 – Количественная оценка признаков НИР

Признак научно-технического эффекта НИР	Характеристика признака НИР	K_i	Π_i
1. Уровень новизны	Относительно новая	0,6	4
2. Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,4	7
3. Возможность реализации	В течении первых лет на одном предприятии	0,2	8

Расчет НТУ и его оценка:

$$НТУ = 0,6 \cdot 4 + 0,4 \cdot 7 + 0,2 \cdot 8 = 6,8$$

Уровень научно-технического эффекта определим по таблице 21.

Таблица 21 – Оценка уровня НТЭ

Уровень НТЭ	Коэффициент НТЭ
Низкий	1-4
Средний	5-7
Сравнительно высокий	8-10
Высокий	11-14

Из таблицы видно, что разработанная система имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Выводы по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Данная работа носит дидактический характер и ее результаты будут использоваться при практическом применении, поэтому прямой экономический эффект отсутствует. Оценка косвенного экономического эффекта требует от-

дельного специального исследования, далеко выходящего за рамки данной ВКР. Следовательно, говорить об экономической эффективности проекта, в данном случае, некорректно.

5 Социальная ответственность

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В разделе социальная ответственность рассматриваются вопросы обеспечения безопасных условий труда на рабочем месте и минимизации негативного воздействия опасных (вредных) факторов, возникающих при работе с персональным компьютером и электрооборудованием. В разделе затрагиваются вопросы электро и пожарной безопасности, а также действий по обеспечению безопасности в чрезвычайных ситуациях.

Согласно техническому заданию, планируется исследовать все возможные округления результатов измерений по многократному измерению физических величин с целью приближения к наиболее точной форме представления результата измерения.

Данная работа проводилась в компьютерной аудитории НТБ. Рабочее место представляет собой помещение, оборудованное компьютерным столом с персональным компьютером.

В ходе работы над данным разделом необходимо выявить все возможные вредные/опасные факторы, влияющие на студента, разработать и проанализировать решения по их минимизации.

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно [18] работа по разработке документации с использованием ПЭВМ относится к группе Б - работа по вводу информации. При I категории работы уровень нагрузки за рабочую смену для группы Б по суммарному числу вводимых знаков составляет до 15000 знаков. Суммарное время регламентированных перерывов при 8-часовой смене составляет 50 минут, а при 12-часовой – 80 минут.

Для предотвращения быстрой утомляемости рекомендуется организовывать рабочую смену путем чередования работ с использованием ПЭВМ и без него.

При возникновении зрительного дискомфорта и других неблагоприятных ощущениях рекомендуется ограничить время работы за ПЭВМ.

При работе с ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 ч), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов следует увеличивать на 30 %.

5.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Требования к рабочему месту студента содержит ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора [20], СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"[21].

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочим столом с монитором ПЭВМ, должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и

спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Так как разработка документа (компоновка и анализ измерительных данных, набор текста) предполагает постоянное взаимодействие с компьютером, то для сохранения здоровья, рекомендуется периодически переключать внимание на другие виды деятельности. Такие перерывы должны быть по 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы. Расположение экрана монитора от глаз пользователя на расстояние не ближе 0,5 м, а в лучшем случае на расстоянии от 0,6 до 0,7 м.

Современные студенты вынуждены вести сидячий образ жизни по многу часов в день, и вследствие чего, имеют проблемы со спиной и позвоночником. СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда» [28] рекомендует делать динамические упражнения расслабления мышц, улучшения кровоснабжения и снижения напряжения. Также СанПиН рекомендует комплексы упражнений для глаз, с указанием методики проведения зрительной гимнастики во время работы на компьютере

5.3 Производственная безопасность

5.3.1 Анализ вредных и опасных факторов

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 [18] рассмотрим как вредные факторы, так и опасные факторы на рабочем месте студента.

В таблице 22 приведены опасные и вредные факторы, с которыми может столкнуться студент, при проведении работ.

5.3.2 Микроклимат

Микроклимат рабочих мест производственных помещений или внутренняя рабочая среда должна контролироваться и поддерживаться. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Неблагоприятные микроклиматические условия могут спровоцировать ослабление терморегуляции, ухудшение самочувствия и снижение работоспособности.

Таблица 22 – Опасные и вредные факторы, возникающие при разработке документации

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с персональным компьютером.	1) Отклонение показателей микроклимата	1) Опасность поражения электрическим током, короткое замыкание; статическое электричество.	- Трудовой кодекс Российской Федерации - ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация [18]. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [21]. Параметры микроклимата: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [19].

Продолжение таблицы 22

	2) Повышенный уровень шума на рабочем месте;		<p>Параметры уровня шума: СН 2.2.4/ 2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы [27]</p>
	3) Недостаточная освещенность рабочей зоны;		<p>Параметры освещенности: СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение[22]</p>
	4) Умственные нагрузки; 5) Монотонность работы.		<p>Психофизические нагрузки: Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [23].</p>
			<p>Электробезопасность: ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность [25] - ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность [31]</p>

К показателям, характеризующим микроклимат рабочей зоны, относятся:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;

- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

К неблагоприятным микроклиматическим условиям может привести неподготовленность производственного помещения к холодному сезону при резкой смене погоды.

Деятельность студента относится к категории работ Ia. Для нее существуют оптимальные и допустимые параметры микроклимата, которые должны соблюдаться в помещениях, приведены в таблицах 23 и 24.

Таблица 23 – Оптимальные значения микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(22-24)	(21-25)	(60-40)	0,1
Теплый	(23-25)	(22-26)	(60-40)	0,1

Таблица 24 – Допустимые значения микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
				для диапазона температур воздуха нижеоптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха вышеоптимальных величин, не более
Холодный	(20,0 -21,9)	(24,1 -25,0)	(15 – 75)	0,1	0,1
Теплый	(21,0 -22,9)	(25,1 -28,0)	(15 – 75)	0,1	0,2

В рабочей лаборатории были проведены измерения, с целью выяснения соблюдения норм и поддержания благоприятного самочувствия работников.

- температура окружающего воздуха 23 °С;
- относительная влажность 55 %;
- скорость движения воздуха 0,1 м/с.

Вывод: рабочее место безопасно для работника.

Микроклимат помещения поддерживается на оптимальном уровне с по-

мощью приборов искусственного кондиционирования, системой водяного центрального отопления.

5.3.4 Повышенный уровень шума на рабочем месте

На рабочем месте студента находятся ПЭВМ, он же и является основным источником шума, шумит его система охлаждения. Согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы [27] допустимый уровень звука, создаваемый ПЭВМ, не должен превышать значения 50 дБА.

Повышенный уровень шума может нанести непоправимый вред на его нервную систему и органы слуха, что непременно повлияет на работоспособность персонала.

Для снижения уровня шума, необходимо:

- своевременно проводить техническое обслуживание приборов;
- размещать вне рабочего помещения шумящее оборудование, шум которых превышает допустимый;
- установить герметичные стеклопакеты.

В рассматриваемом помещении уровень шума не превышает 50 дБА. Кроме ПЭВМ, находящегося на рабочем месте, источником дополнительного шума является шум, проникающий через открытые окна и двери. Так как шум в пределах нормы, никаких мер защиты от шума в анализируемом помещении не предусмотрено.

5.3.5 Недостаточная освещенность рабочей зоны и расчет искусственного освещения

Важнейший фактор создания приемлемых условий труда – качественное освещение рабочего места. Согласно СНиП 23-05-95 [22] Естественное и искусственное освещение рабочее место должно быть освещено как естественным, так и искусственным освещением.

Недостаточная освещенность рабочего места приводит к быстрому

утомлению организма, что естественно снижает производительность труда.

В соответствии с СНиП 23-05-95 [22] разряд зрительных работ студента относится к разряду III подразряду (высокой точности). Согласно пункту 4.2 уровень максимальной искусственной освещенности рабочих мест должен быть 200 лк. Нормы коэффициента пульсации для обозначенного вида работ составляют не более 15 %.

В рабочем помещении используется комбинированная система освещения – искусственное и естественное. Для освещения применяются люминесцентные лампы. Тип светильников выбирается с учетом следующих факторов:

- требуемое количество освещения;
- безопасность эксплуатации;
- удобство;
- экономичность.

Осуществим проверочный расчет с целью определения того, создает ли существующая система освещения требуемую освещенность по СНиП 23-05-95 и по МУ Расчета искусственного освещения [32]. Для этого определим количество требуемых ламп и их тип.

Размеры исследуемого помещения: длина помещения $A = 9$ м, ширина помещения $B = 7,71$ м, высота потолка в помещении $H = 3,5$ м. В помещении используются люминесцентные лампы дневного света (ЛД).

Так как помещение со светлым потолком и стенами, примем коэффициенты отражения стен $p_c = 30$ % и потолка $p_{\text{п}} = 70$ %. Коэффициент k для помещений, освещаемых люминесцентными лампами, при условии чистки светильников не реже двух раз в год, берется равным от 1,4 до 1,5. Коэффициент запаса $k = 1,5$; поправочный коэффициент $z = 1,1$.

По формуле (29) определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью (h).

$$h = H - h_p - h_c, \quad (32)$$

где H – высота потолка в помещении, м, $H = 3,5$ м;

h_p – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м, $h_p = 0,8$ м;

h_c – расстояние от потолка до светильника, м, $h_c = 0,1$ м.

Следовательно, $h = 2,6$ м. Коэффициент использования может быть определен по индексу помещения (i), рассчитываемому по формуле (33):

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (33)$$

где A – длина помещения, м, $A = 9$ м;

B – ширина помещения, м, $B = 7,71$

$$i = \frac{9 \cdot 7,71}{3,5 \cdot (9 + 7,71)} = \frac{69,39}{54,48} = 1,274$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений i , p_c и p_n примем $\eta = 46$ %.

Световой поток создаваемой каждой из ламп рассчитывается по формуле (34):

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot k}{n \cdot \eta} \quad (34)$$

где Φ – световой поток одной лампы, лк, $\Phi = 1650$ лк;

E – минимальная освещенность, лк, $E = 200$ лк;

S – площадь помещения, м², $S = 69,4$ м²;

z – поправочный коэффициент, $z = 1,1$; k – коэффициент запаса, $k = 1,5$;

η – коэффициент использования осветителей, $\eta = 46$ %; n – число светильников в помещении.

Рассчитаем количество лампочек в помещении, выразив отношение из формулы (34)

$$n = \frac{200 \cdot 69,4 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{1650 \cdot 0,46} = 30,17$$

Таким образом, используемые люминесцентные лампы дневного света (ЛД) в количестве 30 шт., мощностью 30 Вт, потребляемые ток 0,34 А при питании от сети 220 В, достаточны для обеспечения минимальной требуемой освещенности в анализируемом помещении.

Для обеспечения стабильной освещенности необходимо проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год. Также необходимо своевременно производить замену перегоревших ламп.

5.3.6 Психофизиологические факторы

Студент, разрабатывающий документацию, вынужден длительное время проводить за работой с ПЭВМ. После работы в сидячем положении у работника можно диагностировать напряжение зрительного аппарата, болезненные ощущения в глазах и пояснице, головную боль и усталость. Последствия работы в таких условиях грозят спаду работоспособности.

Для минимизации описанных последствий во время работы студент должен выполнять комплекс физических упражнений. А также необходимо согласно Р 2.2.2006-05 [23] правильно устанавливать режим труда и отдыха. В том числе делать перерывы по 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы.

5.3.7 Электробезопасность

При работе с ПЭВМ, при нарушении правил электробезопасности возможно поражение электрическим током. Основные причины воздействия тока на человека:

- наличие проводов с поврежденной изоляцией;
- прикосновение к токоведущим частям;
- отсутствие предохранительных кожухов у розеток сети питания.

Поражающее действие электрического тока зависит от значения и длительности протекания тока через тело человека, рода и частоты тока, индивидуальных свойств человека. Прохождение электрического тока через организм человека оказывает следующие виды воздействия:

- термическое: ожог отдельных участков тела, нагрев крови и кровеносных сосудов;
- электролитическое: разложение крови;

- биологическое действия.

Согласно [25] напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 25.

Таблица 25 - Значения напряжений и токов, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электрооборудования

Род тока	U, В	I, мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения.

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по [25].

Электробезопасность должна обеспечиваться:

- конструкцией электроустановок;
- техническими способами и средствами защиты;
- организационными и техническими мероприятиями.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- защитные барьеры;
- безопасное расположение токоведущих частей.
- изоляция токоведущих частей (основная, дополнительная, усиленная, двойная);

- изоляция рабочего места;
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- электрическое разделение;
- предупредительная сигнализация, блокировки, знаки безопасности.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы:

- защитное заземление;
- зануление;
- систему защитных проводов;
- защитное отключение;
- изоляция нетоковедущих частей;
- электрическое разделение сети;
- простое и защитное разделения цепей;
- компенсация токов замыкания на землю;
- электроизоляционные средства.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить мероприятия, заключающиеся в проведении первичного, внеочередного и повторного инструктажа по электробезопасности.

При соблюдении вышеуказанных действий риск поражения электрическим током сводится к минимуму.

5.4 Экологическая безопасность

Производственная деятельность человека оказывает существенное влияние на окружающую среду. Разработка комплекта документов, в следствии ра-

боты с ПЭВМ не относятся к промышленной и не является источником выброса вредных веществ, поступающих в окружающую среду.

При завершении срока службы ПЭВМ и периферийные устройства (принтеры, МФУ, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны), а также люминесцентные лампы подлежат к утилизации по технологии, принятой на предприятии, эксплуатирующем данные приборы. Если на предприятии нет отдела по утилизации, следует доверить утилизацию оборудования и оформление документов специалистам, обратившись в авторизованный центр сервисной поддержки в вашем регионе.

К отходам, производимым в помещении можно отнести бумажные отходы, то есть макулатуру. Бумажные отходы рекомендуется накапливать и передавать их в пункты приема макулатуры для дальнейшей переработки. Дополнительным методом снижения отходов является увеличение доли электронного документооборота. Согласно ГОСТ 17.4.3.04-85 ССОП Охрана природы. Почвы. [29] к категории загрязненных следует относить почвы, в которых количество загрязняющих веществ находится на уровне или выше предельно допустимых количеств. При соблюдении вышеуказанных действий количество макулатуры находится ниже предельно допустимого количества, что в конечном результате сводится к минимуму.

5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-2016 [30] чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Источником чрезвычайных ситуации могут быть техногенное происшествие, авария, катастрофа, опасное природное явление, стихийное бедствие,

широко распространенная инфекционная болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений.

При разработке комплекта документов с использованием ПЭВМ наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время работы, является пожар, причиной которого может послужить:

- несоблюдение норм пожарной безопасности;
- обрыв проводов;
- курение в неположенном месте
- замыкание электропроводки оборудования.

Обязательные требования пожарной безопасности, которые необходимо соблюдать, установлены ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность [31].

Во избежание возникновения пожара:

- необходимо проводить регулярные проверки пожарной сигнализации, первичных средств пожаротушения;
- запрещается оставлять по окончании рабочего времени не обесточенными оборудование в помещениях, в которых отсутствует дежурный персонал, за исключением дежурного освещения, систем противопожарной защиты;
- запрещается размещать мебель, оборудование и другие предметы на подходах к пожарным кранам внутреннего противопожарного водопровода и первичным средствам пожаротушения, у дверей эвакуационных выходов, люков на балконах и лоджиях, в переходах между секциями и выходами на наружные эвакуационные лестницы;
- запрещается проводить уборку помещения быстроспламеняющимися средствами;
- необходимо проведение инструктажа работников по действиям при пожаре;
- необходимо создание плана эвакуации и размещение его экземпляров в доступных местах.

Для исключения возникновения пожара по этим причинам необходимо

вовремя выявлять и устранять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности и неисправные электроприборы и не использование неисправные электроприборы.

В случае возникновения пожара на рабочем месте, где используется ПЭВМ, необходимо отключить электросеть в помещении (в случае возникновения пожара по причине неисправности электропроводки). Тушение пожара допускается сухим песком или углекислотным огнетушителем, местонахождение огнетушителей обозначено на рисунке 7.



Рисунок 7 – План эвакуации

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В ходе разработки раздела «Социальная ответственность» были установлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке документации. По мере анализа данных факторов были представлены пути решения и установки мероприятий по исключению данных факторов. В ходе

анализа рабочего места на соответствие требованиям НТД несоответствий не выявлено. Работа по разработке документации производится сидя перед ПЭВМ, для установки более комфортного рабочего места, в разделе был рассмотрен комплекс мероприятий по организации и компоновке рабочей зоны.

Заключение

1. В работе изучены существующие процедуры округления результатов измерений физических и технических измерений, рекомендуемые в нормативных документах и используемые на производстве и в вузах;
2. Рассмотрена и исследована процедура округления результата измерения, предложенная П.Т. Ульрихом, с математическим обоснованием на основе поправки Шеппарда.
3. Рассмотрены примеры практического применения процедуры округления результата измерения по П.Т. Ульриху для типовых измерительных ситуаций.
4. Сравнение полученных результатов с результатами округления на основе стандартной процедуры, рекомендованной в ГОСТ 8.736-2011, показало, что в некоторых случаях число значащих цифр в округленном результате на единицу больше для округления по П.Т. Ульриху.
5. Округление по П.Т. Ульриху можно рекомендовать для практического применения в силу его зависимости от среднеквадратического отклонения округляемых результатов.

Список использованных источников

- 1 Холявко В. Н. Измерение физических величин. Лабораторный практикум по физике: учебное пособие. – Новосибирск: Изд. НГТУ, 2012. – 58 с.
- 2 ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения, 2019. – 19 с.
- 3 МИ 1317-2004 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 53 с.
- 4 ПМГ 96-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Результаты и характеристики качества измерений. Формы представления. – М.: Стандартиформ, 2010. – 10 с.
- 5 СТ СЭВ 543-77 Числа. Правила записи и округления. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 4 с.
- 6 JCGM GUM-6:2020 « Guide to the expression of uncertainty in measurement — Part 6: Developing and using measurement models». – Saint-Cloud. – 2020. – 103 с.
- 7 NIST GLP 9: 2014 Good Laboratory Practice for Rounding Expanded Uncertainties and Calibration Values. National Institute for Standards and Technology. – Gaithersburg. – 2014. – 3 с.
- 8 Wilrich P.T. Rounding of measurement values or derived values / P.-Th. Wilrich // Measurement. - 2005. - Vol. 37. - P. 21-30.
- 9 DIN 1319 Part 3, Basic concepts in metrology, Evaluating measurements of a single measurand and expression of uncertainty, Deutsches Institut fur Normung, Berlin, 1996. – 35 с.
- 10 DIN 1313. Zahlenangaben, Deutsches Institut fur Normung, Berlin, 1998. – 17 с.
- 11 International Union of Pure and Applied Chemistry, Protocol for the de-

sign, conduct and interpretation of collaborative studies, Pure and Applied Chemistry, vol. 60, 1988, pp. 855–864.

12 Аккредитация в Росаккредитации. <https://rosakkreditatsiya-forum.ru/> (дата обращения 16.04.2021)

13 Кравченко Н. С., Ревинская О. Г. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в учебном лабораторном практикуме: Учебное пособие. - Томск : ТПУ, 2011 - 86 с.

14 De Anza College. [Microsoft Word - Uncertainties and Significant Figures.doc \(deanza.edu\)](https://deanza.edu/microsoft-word-uncertainties-and-significant-figures.doc) (дата обращения 16.04.2021).

15 Массачусетский технологический институт. [Significant Figures \(mit.edu\)](https://mit.edu/significant-figures) (дата обращения 16.04.2021).

16 Университет Пердью. [PHYSICS 218 LABORATORY \(purdue.edu\)](https://purdue.edu/physics218laboratory) (дата обращения 16.04.2021).

17 Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, Ресурсоэффективность и ресурсосбережение. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.

18 ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 16 с.;

19 СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: «Минздрав России», 1997. – 21 с.;

20 ГОСТ Р ИСО 9241-5-2009. Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов (VDT). Часть 5. Требования к расположению рабочей станции и осанке оператора. – М.:«Стандартинформ», 2010. – 22 с.;

21 СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"– М.: «Минздрав России», 2021. – 452 с.;

22 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение рабочее место должно быть освещено как естественным, так и искусственным освеще-

нием. – М.: «Госстрой», 2004. – 43.;

23 Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда. – М.: «Госсанэпиднадзор», 2005. – 142.;

24 ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Защитное заземление, зануление. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 10 с.;

25 ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 6 с.;

26 ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: «Стандартинформ», 2010. – 25 с.;

27 СН 2.2.4/ 2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы – М.: «Минздрав России», 1997. – 11 с.;

28 СП 2.2.3670-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда»– М.: «Минздрав России», 2020. – 49.;

29 ГОСТ 17.4.3.04-85 ССОП Охрана природы. Почвы. – М.: «Стандартинформ», 2008. – 5 с.;

30 ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – М.: «Стандартинформ», 2016. – 12 с.;

31 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность– М.: «Стандартинформ», 2006. – 64 с.;

32 Назаренко О.Б. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.

Приложение А
(справочное)

Rounding physical and technical measurements

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ91	Тулбаева Карлыгаш		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., про- фессор		

Консультант – лингвист кафедры ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподава- тель ОИЯ	Маркова Наталия Александровна			

1 Basic concepts

1.1 Representation of real numbers

Let us consider the basic concepts related to the rounding procedures of measurement results.

It is generally assumed that the digits of a number representing the result of any measurement are precise except for the last one, which is approximate.

Let us consider, for example, the number 5,413 (see Figure 1). In it, the first three digits are precise, and the last digit "3" is approximate.

The degree of this approximation (the "accuracy" of the representation of a number) is traditionally estimated as half the unit of the lowest digit of the number. In this example, the accuracy is ± 0.0005 . The length of this interval is equal to one. That is, it can be argued that the "true" value of the measurement result lies in the range from 5.4125 to 5.4135.

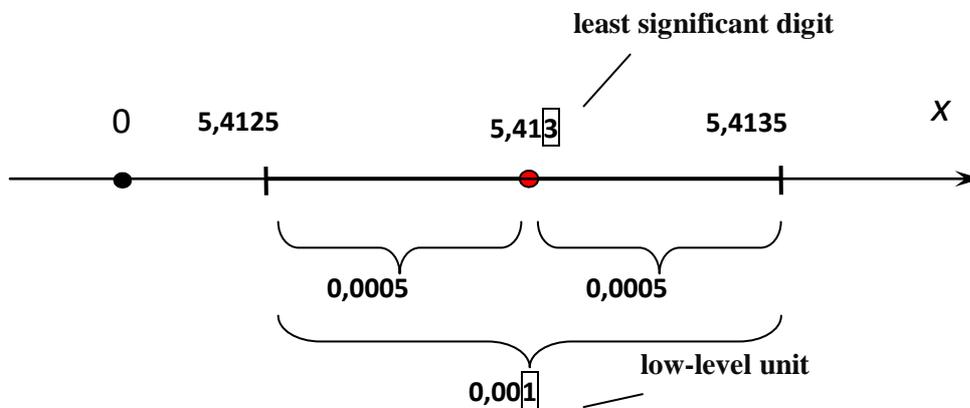


Figure 1 - Example of representation of real number 5,413

The number of significant digits is from left to right, starting with the first non-zero digit. For example, 0.004080 has four, and $4.08 \cdot 10^{-3}$ - three significant digits.

A multiplier having 10 in multiples does not affect the number of digits, but only indicates the selected scale of the value, without leading to fictitious accuracy.

An important characteristic of the representation of real numbers is the number of digits after a comma: this is the number of digits to the right of the comma that abbreviate the fractional part of the real number.

If it is necessary to indicate that the number is accurate, then the word "accurately" is written after the number in parentheses or the last significant figure is highlighted in fat, for example, 0.004080.

Let the measured radius of the circle be 6 m. In order to find its length, they usually give a calculation: $C = 2\pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 6 \text{ m} = 37,68 \text{ m}$. This result is incorrect, since the four significant figures correspond to high accuracy (thousands of fractions), which is not so often realized in measurements. Where would such a high precision come from if at least one of the formula values (6 m) is given with accuracy, two orders of magnitude smaller?

The correct defined circle length is obviously 38 m. And if a really accurate answer is needed, then the data in the task condition should be with the corresponding number of characters, i.e. 6.00 m.

1.2 Significant Numbers in Calculations

When using measured values in calculations, the results of your calculations should reflect the accuracy of these measured values. Computational operations should not lead to both loss and increased accuracy of the result. To do this, observe the following calculation rules [13].

1. When multiplying and dividing, the result must have the same number of significant digits as the operand with the smallest number of significant digits.

Example: $1,052 \cdot 12,054 \cdot 0,53 = 6,7208 = 6,7$.

$$2,0035 : 3,20 = 0,626093 = 0,626.$$

2. When adding and subtracting, the result must have the same number of decimal places as the operand with the smallest number of decimal places.

Example: $2.345 + 0.07 + 2.9975 = 5.4125 = 5.41$

$$5,9 - 0,221 = 5,679 = 5,7$$

3. When you bring a number to the required number of significant digits or digits after a comma, the usual well-known rounding rules apply.

4. To avoid rounding errors, only the final result of the calculations should be rounded, not intermediate ones.

The procedure for rounding the measurement result usually consists in removing digits on the left side of the real number that do not reflect the "true weight" of the numerical value, are "extra" and lead to a "dummy" accuracy of the numerical representation.

Next, the procedures for rounding the measurement results will be discussed.

2 Measurement rounding procedures

2.1 Standardized Methods

Let us consider methods of rounding the results of physical and technical measurements.

In the course of this work, books, scientific articles, as well as normative documents on the form of the presentation of measurement results were studied.

We will analyze standardized methods for rounding results out of measurements. Standardized methods of rounding measurement results mean rounding rules that are proposed in state regulatory and technical documents.

These documents include: GOST R 8.736-2011 State System for Ensuring Uniformity of Measurements (GSI). Measurements are direct multiple. Methods for processing measurement results. Main provisions [2].

The standard applies to direct multiple independent changes and establishes the main provisions of methods for processing the results of these measurements and calculating errors in estimating the measured value.

This standard spells out rounding rules when processing measurement results.

1) Accuracy of measurement results and accuracy of calculations at processing of measurement results shall be consistent with the required accuracy of the obtained estimate of the measured value.

2) The error in estimating the measured value should be expressed with no more than two significant figures.

Two significant figures in the error of estimating the measured value are co-stored:

- with accurate measurements;
- if the first significant digit is not more than three.

3) The number of digits in intermediate calculations when processing measurement results should be two more than in the final result.

4) The error in intermediate calculations shall be expressed by no more than three significant digits.

5) The stored significant figure in the error of estimating the measured value during rounding is increased by one if the discarded digit of the unspecified minor digit is more than or equal to five, and is not changed if it is less than five [2].

We will analyze such documents as : "R 50.1.109-2016" ILAC Policy on Uncertainty in Calibration, "MI 1317-2004" Recommendation. State system for ensuring uniformity of measurements. Measurement error results and characteristics. View forms. Methods for use in testing product samples and monitoring their parameters "[3], RMG 96-2009" State System for Ensuring Uniformity of Measurements (GSI). Measurement quality results and characteristics. Forms of representation" [4], ST Comecon 543-77 "Numbers. The rules for recording and rounding "[5] were established that the rules for rounding the representation of the measurement result are identical to the rules of GOST R 8.736-2011.

Let us analyze such documents as: JCGM GUM-6:2020 «Guide to the expression of uncertainty in measurement — Part 6: Developing and using measurement models». Guidelines for the development of measurement processing methodology and its uncertainty [6].

This standard also proposes rules for rounding measurement results.

1) The numerical values of the estimate and its standard uncertainty or extended uncertainty should not be specified with an excessive number of digits. It is usually sufficient to specify no more than two significant digits.

2) And also, since for most calculations, a computer is used, calculations will naturally be performed using all available digits (usually about 16 decimal digits in the length of the computer word). This number of digits is usually more than enough to represent the measurement results with the numerical accuracy required in practice.

Let us analyze such documents as: NIST (2014) Good Laboratory Practice for Rounding Expanded Uncertainties and Calibration Values. (GLP 9) National Institute for Standards and Technology [7].

This document discusses rounding options that are commonly used in calibration and testing laboratories.

1) For a 95% confidence level, the extended uncertainty should be rounded to two significant digits, and the accompanying measured values should be presented with the same accuracy.

As a result of the study, material was obtained, the analysis of which made it possible to conclude that the results of the measurement are most often reported with two significant numbers. And it was also found that the use of rounded data usually leads to distortion of the measurement result. Next, let us consider the recommendations for rounding measurement results. Since these factors can be approximately corrected with appropriate rounding rules, the measurement rounding error will have a certain distribution and pattern.

2.2 Recommendations for rounding of measurement results in scientific and technical literature

The presentation of numerical data was an important element of the research. Numerical data were often presented with too many decimal places, resulting in false accuracy and overly complex representation. This problem is being studied and needs further research.

The article of P.-T. Wilrich [8] shows the procedure for determining the "cut-off point" between significant and non-significant digits to represent measured and indirect values. The procedure consists in using SCR as a measure of precision and ensures, based on the Sheppard correction, that rounding increases the SCR of a number of rounded values only slightly, due to rounding, it is established that when the samples are not significantly rounded, the rounded standard deviation of the selection increases. Four examples of this procedure are discussed and demonstrated.

Uncertainty is defined as an estimate associated with a measured value (or value obtained by indirect measurement) characterizing the range of values within which the true value is presumed to be located. Generally speaking, uncertainty con-

tained several composites. Among them, the component that characterizes the range of values within which the mathematical expectation of the probability distribution of these measured values (or indirect values) is located is called the random uncertainty component. This random component of uncertainty is a measure of the precision of measured values (indirect values), and is usually expressed by a theoretical or empirical standard deviation of σ (or a multiple of it).

Let us consider an example: let a series of five measurement results (see Fig. 1) 1697,760; 1837,783; 1303,495; 1012,953; 1548,305 be obtained under repeatability conditions, i.e. measured values were obtained independently by the same measurement method, in the same laboratory, by the same operator using the same equipment for a short time.

Ideally, in the absence of measurement error, these measured values would be identical to each other (and to the true value). In reality, they range from 1000 to 2000, have an average value of $\mu = 1480.059$ and a standard deviation of $\sigma = 327.636$

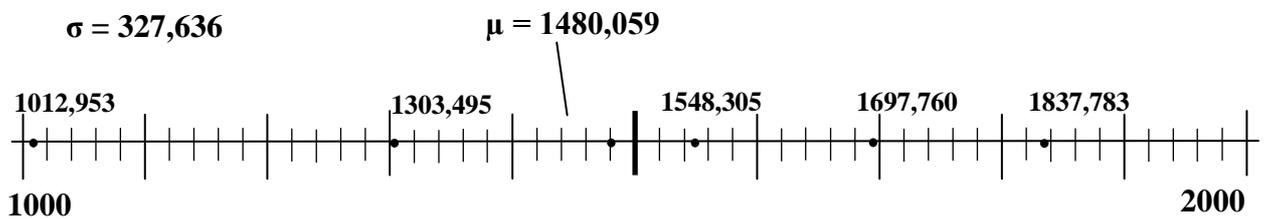


Figure 8 - Sample example of five measurement results

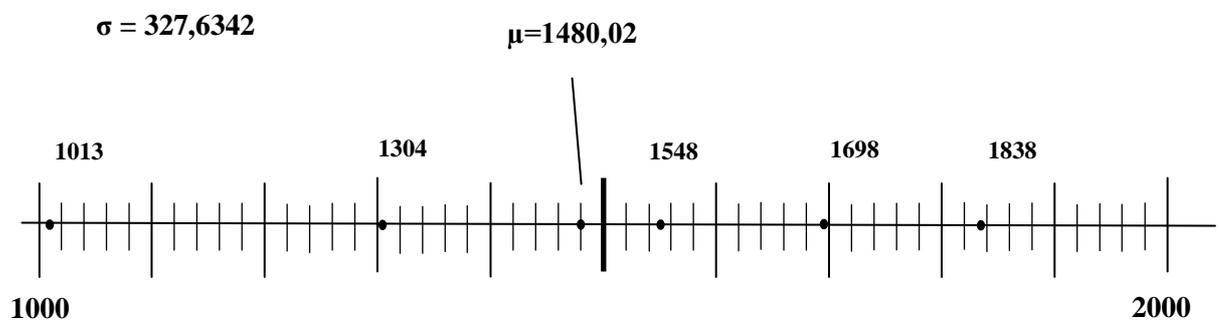


Figure 9- Sample example with measurement accuracy up to units

At the output of the measuring means, each measured value is represented as a real number with 7 digits, where three digits are located after a comma. At the same time, the measurement error, that is, the difference between the measured value and the true value, is obviously of the order of 10^2 .

There is a clear inconsistency between the uncertainty of measurement due to a large number of digits and a multiple of 10^{-3} and the actual uncertainty of measurement approximately equal to 300 and a multiple of 10^2 .

One may wonder whether these seven digits are informative or whether it would be sufficient to take the measurement values with four digits as (with accuracy to units), that is, 1698, 1838,..., or with three significant digits (with accuracy to tens of units), that is, 1700, 1840,..., or with another number of digits without losing the necessary information.

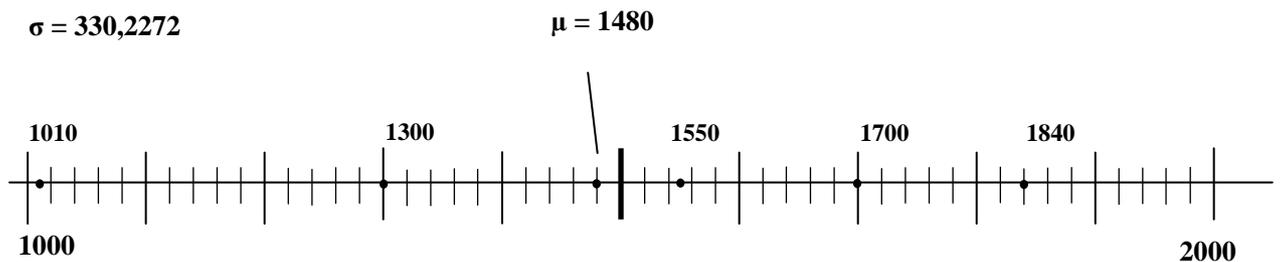


Figure 10 - Sample example of measurement results up to tens of units

In order to avoid the above inconsistency, the measured values of both direct and indirect measurements and, generally speaking, any measurement data should be given only with significant numbers, that is, with all decimal digits known exactly, plus the first inaccurate digit. Therefore, a rounding procedure is required to discard all non-informative digits and save all informative digits.

The procedure for rounding the values of direct or indirect measurements, such that rounded values are reported only with significant numbers, should be based on a theoretical or empirical standard deviation of these values.

There are several rules for determining the number of significant digits.

For example, DIN 1319 Part 3 [9] states that the non-certainty value is rounded to two (or, if necessary, three) significant digits; the measured result must be rounded in the same way as non-certainty.

Another standard DIN 1313 [10] recommends determining the number of significant digits based on the uncertainty u so that the value of the last significant digit is between $u/30$ and $u/3$.

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) protocol [11] provides a rule for rounding the final mean and standard deviation, which is similar to the DIN 1319 rule: "Standard deviations are rounded to two significant digits, and average and relative standard deviations are rounded to the significant digits of the standard deviation."