

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт - Кибернетики
Направление подготовки - Стандартизация и метрология
Кафедра - Компьютерных измерительных систем и метрологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ введения поправки в показания средства измерений

УДК 53.088.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	М.В. Дуплинская		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. КИСМ	С.В. Муравьев	Доктор техн. наук, профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. менеджмента ИСГТ	А.В. Хаперская			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	И.Л. Мезенцева			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. КИСМ	О.В. Стукач	Доктор техн. наук		

Планируемые результаты обучения по направлению 27.03.01

«Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения	Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа	Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, по нормоконтролю и экспертизе технической документации, участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий	Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК-1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества	Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Использовать базовые знания в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений	Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P6	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы	Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов

		<i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду	Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Кибернетики
Направление подготовки (специальность) – Стандартизация и метрология
Кафедра – Компьютерных измерительных систем и метрологии

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

_____ (Подпись) _____ (Дата) _____ (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8Г21	Дуплинской Марии Владимировне

Тема работы:

Анализ введения поправки в показания средства измерений

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 3630/с от 19.05.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:

17.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(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.).

1 Microsoft Excel 2010. Руководство по продукту.
2 Руководство по функциям и формулам Excel 2010.
3 РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).</p>	<p>1 Систематическая погрешность 1.1 Группы систематических погрешностей 2 Способы повышения точности измерений 2.1 Общие способы компенсации систематической погрешности 3 Экспериментальное исследование внесения поправки в показания цифрового вольтметра 3.1 Постановка задачи. 3.2 Получение экспериментальных данных 3.3 Построение линейных градуировочных характеристик методом наименьших квадратов 3.4 Введение поправки в результат измерения 3.5 Расчет СКО результата измерения и СКО поправки 3.6 Расчет вероятности полезного эффекта введения поправки в зависимости от динамического диапазона и от температуры окружающей среды 3.7 Анализ процедуры введения поправки применительно к экземплярам СИ одного типа 4 Социальная ответственность. 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>
--	--

<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point</p>
--	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.В. Хаперская
Социальная ответственность	И.Л. Мезенцева

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--	--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	15.02.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. КИСМ	С.В. Муравьев	Доктор техн. наук, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дуплинская Мария Владимировна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Г21	Дуплинской Марии Владимировне

Институт	Кибернетики	Кафедра	КИСМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является один из способов уменьшения систематической погрешности – введение поправок в результат измерения. Область применения: стандартизация и метрология, измерительная техника, электроника.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Профессиональная социальная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения. 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	При анализе вредных факторов возможно выявление следующих факторов: <ul style="list-style-type: none"> – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаток естественного освещения; – повышенная напряженность электромагнитного поля – недостаточная освещённость рабочей зоны. Также, существует вероятность поражения статическим электричеством, а также поражение электрическим током в процессе работы с электрооборудованием.
2. Экологическая безопасность	Негативного воздействия разрабатываемого объекта на окружающую среду не происходит, т.к. разрабатываемый объект не является материальным. В работе проведён анализ негативного воздействия на литосферу, возникающего при утилизации неисправного оборудования (сломанные средства измерения и электрические приборы, лампы и т.д.), а также проведен анализ потребления электроэнергии.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Существует вероятность возникновения техногенных ЧС, особенно пожаров.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032 [1].

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03.2016
---	---------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ЭБЖ	И.Л. Мезенцева			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дуплинская Мария Владимировна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Г21	Дуплинской Марии Владимировне

Институт	Кибернетики	Кафедра	КИСМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	1 Потенциальные потребители результатов исследования 2 SWOT-анализ 3 Структура работ в рамках научного исследования. 4 Определение трудоемкости выполнения работ. 5 Составление графика проведения научного исследования. 6 Определение бюджета научно-технического исследования
---	---

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Потенциальные потребители результатов исследования
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	03.2016
---	---------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. менеджмента ИСГТ	А.В. Хаперская			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г21	Дуплинская Мария Владимировна		

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное
Учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Кибернетики
Направление подготовки (специальность) – Стандартизация и метрология
Уровень образования – Бакалавриат
Кафедра – Компьютерных измерительных систем и метрологии
Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы: 17.06.2016

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.02.2016	Систематическая погрешность	
19.02.2016	Группы систематических погрешностей	
23.02.2016	Способы повышения точности измерений	
10.03.2016	Общие способы компенсации систематической погрешности	
16.03.2016	Экспериментальное исследование внесения поправки в показания цифрового вольтметра	
23.03.2016	Постановка задачи	
27.03.2016	Получение экспериментальных данных	
03.04.2016	Построение линейных градуировочных характеристик методом наименьших квадратов	
09.04.2016	Введение поправки в результат измерения	
15.04.2016	Расчет СКО результата измерения и СКО поправки	
04.05.2016	Расчет вероятности полезного эффекта введения поправки в зависимости от динамического диапазона и от температуры окружающей среды	
08.05.2016	Анализ процедуры введения поправки применительно к экземплярам СИ одного типа	
11.05.2016	Социальная ответственность	
18.05.2016	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
22.05.2016	Оформление графического материала	
28.05.2016	Оформление расчетно – пояснительной записки	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. КИСМ	С.В. Муравьев	Доктор техн. наук, профессор		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
КИСМ	О.В. Стукач	Доктор техн. наук		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 70 с., 8 рис., 33 табл., 21 источников, 1 прил.

Ключевые слова: погрешность измерений, поправка, компенсация систематической погрешности, метод наименьших квадратов, градуировочная характеристика.

Объектом исследования является один из способов уменьшения систематической погрешности – введение поправок в результат измерения.

Цель работы – анализ введения поправки в показания цифровых средств измерений и проведение экспериментальных исследований для подтверждения целесообразности коррекции результатов измерений цифрового вольтметра.

В процессе работы проведено изучение систематической погрешности, факторов ее возникновения, и способов компенсации систематической погрешности. Проведены экспериментальные исследования внесения поправки в показания пяти экземпляров цифрового вольтметра Mastech MY-64. Результаты экспериментальных исследований были обработаны методом наименьших квадратов для определения параметров градуировочных характеристик.

В результате работы была подтверждена целесообразность введения поправки в показания цифрового вольтметра в целях уменьшения систематической погрешности.

Степень внедрения: результаты работы предназначены для внедрения в АО НПФ «Микран».

Область применения: стандартизация и метрология, измерительная техника, электроника, управление качеством.

Экономическая эффективность/значимость работы: введение поправки увеличивает точность измерений, что позволяет использовать менее точные СИ, тем самым, сокращая затраты на более дорогое оборудование.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

поправка: значение величины, вводимое в показание с целью исключения систематической погрешности.

результат измерения: значение величины, полученное путем ее измерения.

неисправленный результат измерения: среднее арифметическое результатов наблюдений до введения поправок с целью устранения систематических погрешностей.

исправленный результат измерений: результат измерения, получаемый после внесения поправок в неисправленный результат измерения.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 8.207-76 ГСОЕИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.
2. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
3. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Оглавление

	С.
Введение	14
1 Систематическая погрешность	15
1.1 Группы систематических погрешностей	16
2 Способы повышения точности измерений	17
2.1 Общие способы компенсации систематической погрешности	19
3 Экспериментальное исследование внесения поправки в показания цифрового вольтметра	22
3.1 Постановка задачи	22
3.2 Получение экспериментальных данных	23
3.3 Расчет параметров линейных градуировочных характеристик экземпляров СИ методом наименьших квадратов	26
3.4 Введение поправки в результат измерения	27
3.5 Расчет СКО результата измерения и СКО поправки	28
3.6 Расчет вероятности полезного эффекта введения поправки в зависимости от динамического диапазона и от температуры окружающей среды	30
3.7 Анализ процедуры введения поправки применительно к экземплярам СИ одного типа	32
4 Социальная ответственность	35
4.1 Профессиональная социальная безопасность	35
4.2 Экологическая безопасность	41
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	42
4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	43
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	46
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	46
5.2 SWOT-анализ	47

5.3 Структура работ в рамках научного исследования	50
5.4 Определение трудоемкости выполнения работ	50
5.5 Составление графика проведения научного исследования	51
5.6 Определение бюджета научно-технического исследования	53
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	58
Заключение	62
Список использованных источников	63
Приложение А	66

Введение

Развитие науки и техники, повышение требований к качеству продукции и эффективности производства повлекли за собой радикальные изменения требований к измерениям. Один из главных аспектов этих требований – обеспечение возможности достаточно достоверной оценки погрешности измерений. Отсутствие данных о точности измерений или недостаточно достоверные ее оценки полностью или в большей степени обесценивают информацию о свойствах и характеристиках объектов, качестве продукции, об эффективности технологических процессов и т.п., получаемую в результате измерений.

Недостоверная оценка погрешности результата измерений влечет за собой экономические потери, а иногда и технические неисправности. Стремление свести погрешность к минимуму – одна из характерных тенденций развития практической метрологии. Эта тенденция играет наибольшую роль там, где требуемая точность измерений приближается к точности, которую могут обеспечивать образцовые СИ (эталоны).

Целью данной работы является анализ введения поправки в показания цифровых средств измерений и проведение экспериментальных исследований для подтверждения целесообразности коррекции результатов измерений цифрового вольтметра.

В первом разделе было проведено изучение систематической погрешности, а также факторов ее возникновения.

Во втором разделе рассмотрены способы повышения точности измерений, а также общие способы компенсации систематической погрешности.

Третий раздел содержит экспериментальные исследования внесения поправки в показания пяти экземпляров цифрового вольтметра Mastech MY-64. Результаты экспериментальных исследований были обработаны методом наименьших квадратов для определения параметров градуировочных характеристик.

1 Систематическая погрешность

Погрешность результата измерения – разность между результатом измерения величины и действительным (опорным) значением величины.

Систематическая погрешность результата измерения – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины, проведенных с одинаковой тщательностью.

Систематические погрешности не зависят от увеличения числа измерений, поскольку согласно определению остаются постоянными или изменяются закономерно в процессе измерения. Систематические погрешности могут быть обнаружены на основе теоретических оценок результатов, путем сравнения результатов, полученных разными методами, на различных приборах. Имеются возможности определить систематические погрешности путем тщательного исследования СИ или метода измерений путем построения зависимости результатов от какого-либо изменяющегося параметра, например, климатических условий, времени, электромагнитных полей, напряжения питания и т.п. В ряде случаев необходимо выполнить объемную исследовательскую работу для выявления условий, создающих систематические погрешности и, соответственно, представить либо график, либо таблицу поправок, либо определить аналитическую зависимость систематической погрешности от данного параметра.

Результат измерения зависит от нескольких факторов, каждый из которых вызывает определенную систематическую погрешность. В данном случае выявление аналитического вида погрешности значительно усложняется, приходится проводить трудоемкие тщательные исследования, которые не всегда приводят к желаемому результату. Тем не менее, необнаруженная систематическая погрешность опаснее случайной, так как случайная может быть сведена к минимуму соответствующей методикой измерения, а систематическая невыявленная погрешность может привести к грубой ошибке результата измерения.

Особую категорию систематических погрешностей составляют неточно измеренные физические и фундаментальные константы, используемые в ходе измерения. То же самое относится к неточностям в стандартных справочных данных, или к неточной аттестации стандартных образцов. Появление более точных справочных данных требует пересчета всех результатов измерений с их использованием, или переградуировки шкал СИ. [1]

1.1 Группы систематических погрешностей

Рассмотрим группы систематических погрешностей, которые отличаются между собой причиной возникновения. В основном различают следующие 4 группы:

1) инструментальные погрешности, связанные с недоработкой конструкции прибора или неправильной технологией его изготовления.

2) погрешности внешних влияний. Достаточно часто в измерительной практике приходится иметь дело с влиянием климатических условий – температуры, влажности, давления. Кроме того, наиболее распространенным источником такого рода погрешностей является влияние внешних электромагнитных полей и неустойчивость напряжения в сети питания измерительных приборов.

3) погрешности метода измерения. Такой вид погрешности может быть связан как с недостоверными знаниями о свойствах объекта измерения, так и с одинаковым влиянием разных факторов на датчик измерительного прибора.

4) субъективные погрешности, связанные либо с невнимательностью оператора, либо с низкой квалификацией персонала, обслуживающего прибор. Наибольшее значение данный вид погрешности имеет при использовании приборов с визуальным отсчетом, к ним можно отнести стрелочные электроизмерительные приборы. Значительная часть промахов также может быть связана с субъективными погрешностями.[2]

2 Способы повышения точности измерений

Повышение точности измерений является одним из главных резервов повышения качества продукции и эффективности производства. Задачу повышения точности измерений решают следующим алгоритмом.

На начальном этапе анализируют измерительные задачи и те цели, для которых используют РИ, а также всей совокупности условий, влияющих на точность измерений. Данный анализ проводят для применяемой методики выполнения измерений, точность которой признана неудовлетворительной из-за возможных значительных неблагоприятных последствий, обусловленных погрешностью измерений.

Способ повышения точности измерений выбирают только после выявления и оценивания отдельных составляющих погрешности измерений и определения доминирующих составляющих погрешности. При этом учитываются не только инструментальные, но и методические и субъективные составляющие погрешности измерений, а также систематический и случайный характер всех составляющих погрешности измерений.[3]

Основными способами повышения точности измерений являются следующие способы:

1) замена менее точного средства измерений на более точное (приобретение или разработка специальных средств измерений);

Такой способ повышения точности измерений дает большой эффект при доминирующих инструментальных составляющих погрешности измерений.

Данный способ доступен не во всех случаях. Возможности выбора более точных средств измерений зачастую весьма ограничены. Обычно такие ограничения связаны с условиями, в которых эксплуатируются средства измерений. Также берут в расчет то, что повышение точности измерений влечет за собой увеличение стоимости данных средств измерений.

2) ограничение условий применения средств измерений;

Данный способ повышения точности измерений имеет смысл, когда доминируют дополнительные погрешности средств измерений, которые

вызваны значительными отклонениями действительных значений внешних влияющих величин от нормальных. Для большинства средств измерений выявлены существенные составляющие погрешности при достаточно больших отклонениях действительных значений от нормальных значений температуры окружающей среды, воздействующих вибраций, параметров питания или других влияющих величин, проявляющиеся производственных условиях.

В подобных случаях принимают соответствующие меры, которые снижают влияние на погрешность измерений существенных внешних влияющих величин (установка специальных экранов для защиты от воздействия электромагнитных полей, кондиционеров в помещении, стабилизаторов напряжения питающей сети, амортизаторов для снижения вибрационных воздействий и др.).

3) индивидуальная градуировка средства измерений;

Этот способ повышения точности измерений эффективен когда доминируют систематические составляющие погрешности средств измерений. Например, для термометров сопротивления и термопар систематическая составляющая погрешности при узком диапазоне измеряемых температур доминирует и остается почти неизменной в течение долгого времени (нескольких месяцев). Эта погрешность может быть значительно снижена путем введения в результаты измерений поправок, полученных при индивидуальной градуировке.

4) выполнение многократных наблюдений с последующим усреднением их результатов;

Этот способ эффективен при доминировании случайной составляющей погрешности измерений.

Известно, что случайная составляющая погрешности измерений среднего значения меньше случайной составляющей погрешности измерений текущих значений. Для повышения точности измерений текущих значений необходимо, чтобы усреднение не приводило к существенному сглаживанию информации о процессе изменения измеряемой величины. Применение этого способа

возможно, если в течение интервала времени усреднения не происходит заметное изменение текущих значений измеряемой величины и в то же время в течение этого же интервала существенно меняется погрешность измерений текущих значений.

5) автоматизация измерительных процедур;

Такое мероприятие помимо снижения трудоемкости измерений способствует исключению субъективных погрешностей, возникающих при обработке диаграмм, вычислении промежуточных и конечных результатов измерений, приготовлении проб для анализов и других операциях, выполняемых человеком.

б) разработка или совершенствование методик выполнения измерений;

Если доминируют методические составляющие погрешности измерений, то этот способ повышения точности измерений является единственно эффективным.

При существенной методической погрешности измерений средних или интегральных значений, обусловленной ограниченным числом «точек» измерений или отклонениями действительных значений от номинальных значений неизмеряемых величин, входящих в функцию в виде констант, соответствующее совершенствование методики выполнения измерений дает заметный эффект в повышении точности измерений. Методики выполнения измерений могут быть усовершенствованы изменением алгоритма обработки результатов измерений. [4]

2.1 Общие способы компенсации систематической погрешности

Существует целый ряд способов, применимых к систематическим погрешностям.

Рассмотрим эти способы.

1) Получение априорной информации о погрешностях и введение соответствующих поправок в результат измерения.

Поправку определяют экспериментально при поверке или в результате исследований. Введение поправки, найденной с некоторой ограниченной

точностью, устраняет только одну, вполне определенную систематическую погрешность. Зачастую, в результат измерений необходимо вносить несколько поправок, что приводит к росту его дисперсии.

Действительно, при исправлении результата y , путем введения поправки q по формуле (1)

$$y_{\text{испр}} = y - q \quad (1)$$

дисперсия $y_{\text{испр}}$ будет равна сумме дисперсий y и q , т.е.

$$S(y_{\text{испр}})^2 = S(y)^2 + S(q)^2, \quad (2)$$

откуда

$$S(y_{\text{испр}}) = \sqrt{S(y)^2 + S(q)^2} \quad (3)$$

Максимальная доверительная граница погрешности результата измерения до введения поправки определяется по формуле

$$\Delta_{\text{неиспр}} = \Delta_c \pm t_p S(y), \quad (4)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента при числе заданных числе измерений n и доверительной вероятности p_d .

Максимальная доверительная граница погрешности результата измерения после введения поправки определяется по формуле

$$\Delta_{\text{испр}} = \Delta_c - q \pm t_p \sqrt{S(y)^2 + S(q)^2}. \quad (5)$$

Поправку целесообразно вводить до тех пор, пока $\Delta_{\text{испр}} > \Delta_{\text{неиспр}}$, т.е.

$$\Delta_c - q \pm t_p \sqrt{S(y)^2 + S(q)^2} > \Delta_c \pm t_p S(y). \quad (6)$$

Отсюда

$$q > q_{\text{гр}} = t_p S(y) \left(\sqrt{1 + \frac{S(q)^2}{S(y)^2}} - 1 \right). \quad (7)$$

При малых соотношениях $S(q)/S(y)$, применяя разложение радикала в ряд

$$\sqrt{1 + \alpha^2} \approx 1 + \frac{\alpha^2}{2}, \quad (8)$$

получим $q > 0,5 * S(q)^2 / S(y)^2$. Из этого неравенства видно, что если оценка среднего квадратического отклонения поправки $S(q) \rightarrow 0$, то поправку имеет смысл вводить всегда.

2) Определение поправочных формул и кривых, отражающих влияние на результат измерения условий измерения (температуры окружающей среды T , давления P , амплитуды U и частоты f питающего напряжения и т.п.).

$$X = X_{\text{изм}} + f_1(T) + f_2(P) + f_3(U) + f_4(f) + \dots, \quad (9)$$

При линейной связи условий измерений с его результатом выражение (9) записывается через коэффициенты влияния

$$X = X_{\text{изм}} + k_1 T + k_2 P + k_3 U + k_4 f + \dots, \quad (10)$$

3) Исключение источника погрешности.

Тщательная установка аппаратуры (юстировка), удаление источников излучения путем экранирования, стабилизация напряжения питания, уменьшение влияния механических воздействий (вибраций, тряски), ограничение температурных колебаний (путем помещения в термостат), устранение личных погрешностей.[5]

3 Экспериментальное исследование внесения поправки в показания цифрового вольтметра

3.1 Постановка задачи

Одной из наиболее важных в деятельности метрологов является задача передачи размеров единиц физических величин от эталонов рабочим СИ. При передаче размеров единиц все большее распространение получает способ градуировки, при котором не просто контролируют соответствие погрешностей поверяемого СИ установленным нормам, а определяют значения поверяемых мер, поправки к показаниям приборов или строят градуировочные характеристики СИ. Этот метод дает минимальную потерю точности при передаче размеров единиц.

В настоящее время в стандартах принят детерминированный подход к нормированию и оценке *погрешностей электроизмерительных приборов*.

Но с повышением точности электроизмерительных приборов, с появлением приборов, работающих на новых принципах, с созданием измерительных систем перспективным является вероятностный подход к нормированию и оценке погрешностей. Погрешности СИ в общем случае рассматриваются как случайные величины, а потому при нормировании погрешностей приборов и их поверке следует применять статистические методы. [6]

Одно из ключевых условий повышения точности, это соблюдение нормальных условий окружающей среды. Но иногда, приходится проводить измерения в производственных условиях, которые в разной степени могут отличаться от нормальных. Изменение условий, связанных с воздействием тех или иных факторов ведет к появлению дополнительной погрешности.

Таким образом, для рассмотрения вопроса влияние окружающей среды на показания приборов, был взят наиболее распространенный источник дополнительной погрешности – температура. С помощью камеры тепла, холода и влаги, были смоделированы необходимые условия для проявления погрешности от температуры.

3.2 Получение экспериментальных данных

Для проведения анализа были рассмотрены экспериментальные данные, полученные при исследовании цифрового вольтметра. Для прослеживания поведения отдельных образцов в пределах одного типа приборов, были исследованы 5 рабочих цифровых вольтметров МУ – 64 фирмы Mastech. Эксперимент проводился в испытательной лаборатории АО «НПФ «Микран».

Схема эксперимента приведена на рисунке 1, где ИП – источник питания Matrix MPS – 3003LK-2; ЦВЭ – мультиметр цифровой АРРА–305; ЦВ1, ЦВ2, ЦВ3, ЦВ4, ЦВ5 – мультиметры цифровые Mastech МУ-64; П – переключатель. Метрологические характеристики данных СИ, приведены в таблице 1. [7,8,9]

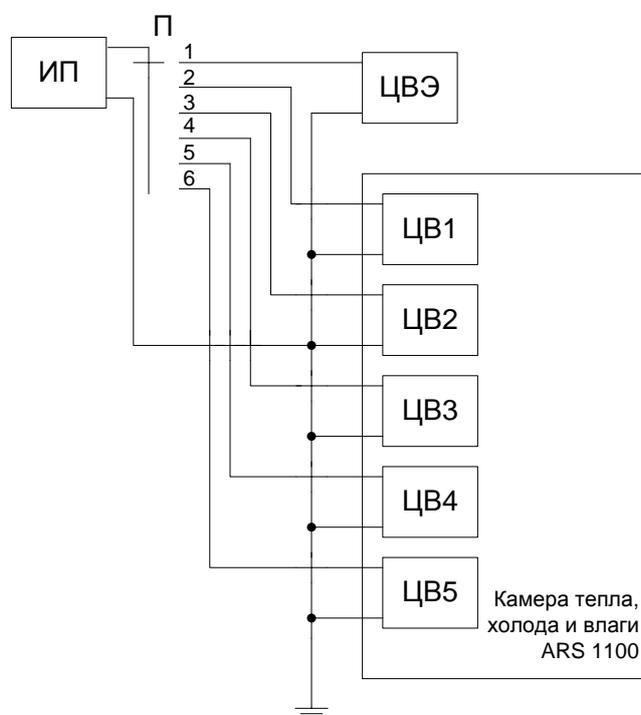


Рисунок 1 – Схема эксперимента

Таблица 1 – Метрологические характеристики средств измерений, используемых в эксперименте.

Средства измерения и испытательное оборудование	Метрологические характеристики
Источник питания Matrix MPS – 3003LK-2	Диапазон измерений напряжения постоянного тока $U_{изм}^*$ (0,1–30) В, диапазон измерений силы постоянного тока $I_{изм}$ (0,01–3) А

Продолжение таблицы 1

Средства измерения и испытательное оборудование	Метрологические характеристики
Мультиметр цифровой APPA-305	Диапазоны измерений напряжения постоянного тока $U_{изм}$ (0,0001- 4) В, (0,001-40) В, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm (0,06 \% U_{изм} + 2 \text{ емр}^{**})$
Мультиметр цифровой Mastech MY-64	Диапазоны измерений напряжения постоянного тока $U_{изм}$ (0,001- 2) В, (0,01-20) В, пределы допускаемой абсолютной погрешности $\pm (0,5 \% U_{изм} + 1 \text{ емр})$; Диапазон рабочих температур от 0 °С до 40 °С, относительная влажность не более 80%
Камера тепла, холода и влаги ARS-1100	Диапазон воспроизводимых температур от -75 °С до +180 °С, относительная влажность от 10 % до 98 %
*Измеренное значение	
**Значение единицы младшего разряда	

Рабочие вольтметры были помещены в камеру тепла, холода и влаги ARS-1100 (далее – камера) для исследования влияния изменения условий окружающей среды на показания используемых средств измерений и их погрешности. На камере были установлены значения температуры/влажности, в соответствии таблицей 2.

Таблица 2 – Установленные значения температуры/влажности на камере

Температура, °С	Относительная влажность, %
10	60
20	
30	
40	

На вход эталонного и рабочих мультиметров были поданы выходные напряжения с ИП, при этом были установлены соответствующие пределы измерения, в соответствии с таблицей 3.

Таблица 3 – Измеряемые значения напряжения на выходе ИП и соответствующие пределы измерения эталонного и рабочих вольтметров

Выходное напряжение ИП, В	Предел измерения ЦВЭ, В	Предел измерения ЦВ1-ЦВ5, В
0,6	4	2
1,0		
1,6		
1,98		
2,0	40	20
6,0		
10,0		
16,0		
19,8		

Результаты измерений постоянного напряжения были занесены в таблицы 4 – 5.

Таблица 4 – Результаты измерений постоянного напряжения цифровых вольтметров, при температуре окружающей среды 10 °С и 20 °С

$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$	$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$
10	0,6	0,601	0,597	0,601	0,602	0,598	20	0,6	0,601	0,599	0,601	0,602	0,599
		0,602	0,600	0,602	0,602	0,599			0,600	0,598	0,600	0,601	0,599
		0,599	0,598	0,600	0,600	0,597			0,601	0,599	0,601	0,602	0,599
	1	1,002	0,998	1,003	1,001	0,996		1	1,001	0,997	1,000	1,002	0,998
		1,003	0,998	1,003	1,003	0,998			1,001	0,998	1,001	1,003	0,999
		0,994	0,998	1,002	1,003	0,998			1,001	0,998	1,002	1,003	0,999
	1,6	1,601	1,594	1,601	1,602	1,594		1,6	1,601	1,596	1,601	1,604	1,597
		1,603	1,597	1,604	1,605	1,597			1,601	1,596	1,601	1,604	1,597
		1,603	1,597	1,603	1,604	1,596			1,601	1,596	1,600	1,603	1,597
	1,98	1,984	1,976	1,984	1,985	1,975		1,98	1,980	1,975	1,980	1,984	1,976
		1,984	1,976	1,985	1,986	1,976			1,981	1,974	1,980	1,983	1,975
		1,985	1,976	1,985	1,986	1,976			1,981	1,975	1,980	1,984	1,976
2	2,00	1,98	2,00	2,00	1,99	2	2,00	2,00	2,01	2,02	2,00		
	2,00	1,99	2,00	2,00	1,99		2,00	1,99	2,00	2,01	1,99		
	1,99	1,99	2,00	2,00	1,99		2,00	1,99	2,00	2,00	1,99		
6	6,01	5,98	6,01	6,02	5,98	6	6,00	5,98	6,00	6,02	5,99		
	6,00	5,98	6,01	6,01	5,98		6,00	5,98	6,00	6,01	5,98		
	6,01	5,99	6,02	6,02	5,99		6,01	5,98	6,00	6,02	5,99		
10	10,02	9,97	10,01	10,02	9,98	10	10,01	9,97	9,99	10,02	9,97		
	10,01	9,97	10,02	10,03	9,97		10,01	9,97	9,99	10,02	9,97		
	10,02	9,97	10,02	10,03	9,97		10,01	9,97	10,00	10,03	9,98		
16	16,03	15,93	16,03	16,03	15,95	16	16,01	15,94	15,99	16,03	15,96		
	16,02	15,95	16,02	16,04	15,96		16,01	15,94	15,98	16,03	15,96		
	16,02	15,95	16,03	16,04	15,96		16,00	15,94	15,98	16,03	15,96		
19,8	19,82	19,73	19,83	19,85	19,72	19,8	19,81	19,72	19,78	19,83	19,75		
	19,82	19,73	19,83	19,85	19,74		19,80	19,72	19,77	19,83	19,74		
	19,83	19,74	19,83	19,85	19,75		19,81	19,73	19,78	19,83	19,74		

Таблица 5 – Результаты измерений постоянного напряжения цифровых вольтметров, при температуре окружающей среды 30 °С и 40 °С

$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$	$t, ^\circ\text{C}$	$x, \text{В}$	$y_1, \text{В}$	$y_2, \text{В}$	$y_3, \text{В}$	$y_4, \text{В}$	$y_5, \text{В}$
30	0,6	0,599	0,598	0,600	0,601	0,599	40	0,6	0,599	0,598	0,598	0,601	0,599
		0,599	0,599	0,600	0,602	0,599			0,598	0,598	0,599	0,601	0,599
		0,599	0,599	0,599	0,601	0,599			0,598	0,598	0,599	0,601	0,599
	1	0,999	0,998	0,998	1,002	0,998		1	0,997	0,997	0,997	1,001	0,998
		0,999	0,998	0,999	1,002	0,998			0,997	0,997	0,998	1,002	0,999
		0,998	0,997	0,999	1,002	0,998			0,997	0,997	0,998	1,002	0,999
	1,6	1,597	1,596	1,598	1,603	1,597		1,6	1,596	1,595	1,597	1,603	1,598
		1,598	1,597	1,598	1,604	1,597			1,595	1,595	1,596	1,603	1,598
		1,598	1,596	1,598	1,604	1,597			1,595	1,595	1,595	1,603	1,597
	1,98	1,977	1,975	1,977	1,984	1,976		1,98	1,973	1,974	1,975	1,984	1,978
		1,977	1,975	1,977	1,984	1,975			1,974	1,973	1,975	1,984	1,977
		1,977	1,975	1,978	1,985	1,976			1,973	1,974	1,975	1,984	1,977
2	2,00	1,99	2,00	2,00	1,99	2	1,99	1,99	1,99	2,00	1,99		
	1,99	1,99	2,00	2,00	1,99		1,99	2,00	1,99	2,00	2,00		
	2,00	2,00	2,00	2,01	2,00		1,99	1,99	1,99	2,00	1,99		
6	6,00	5,99	5,99	6,02	5,99	6	5,99	5,98	5,98	6,01	5,99		
	6,00	5,99	5,99	6,02	5,99		5,99	5,98	5,97	6,01	5,99		
	6,00	5,98	5,99	6,01	5,98		5,99	5,98	5,98	6,01	5,99		
10	10,00	9,97	9,98	10,02	9,98	10	9,98	9,97	9,96	10,02	9,99		
	10,00	9,97	9,98	10,02	9,98		9,98	9,97	9,97	10,02	9,99		
	10,00	9,97	9,97	10,02	9,98		9,98	9,97	9,95	10,02	9,98		
16	16,00	15,96	15,96	16,04	15,97	16	15,97	15,95	15,93	16,04	15,98		
	15,99	15,95	15,95	16,03	15,96		15,97	15,95	15,92	16,03	15,97		
	16,00	15,96	15,96	16,04	15,97		15,97	15,95	15,93	16,04	15,98		
19,8	19,79	19,74	19,75	19,84	19,75	19,8	19,76	19,73	19,70	19,84	19,76		
	19,80	19,75	19,75	19,84	19,75		19,76	19,74	19,71	19,85	19,77		
	19,79	19,74	19,74	19,84	19,75		19,76	19,73	19,70	19,84	19,76		

3.3 Расчет параметров линейных градуировочных характеристик экземпляров СИ методом наименьших квадратов

Рассмотрим экспериментальные данные, полученные при исследовании цифрового вольтметра (таблица 4, таблица 5). Измерения выполнялись с многократными наблюдениями $n_i = 3$. Количество точек на пределе измерения постоянного напряжения $i=1 \dots m$, где $m=4$ на пределе измерений 2 В и $m=5$ на пределе измерений 20 В. Полученные результаты измерений \bar{y}_i были вычислены по формуле (11)

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} y_i}{n_i} \quad (11)$$

Оценка дисперсии погрешности S_i^2 в точке y_i вычисляется по формуле (12)

$$S_i^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} (y_i - \bar{y}_i)^2}{n-1} \quad (12)$$

Поскольку входная величина X в данном случае является контролируемой переменной (на входе устанавливалось заранее заданное значение X_i), то для построения ГХ можно применять МНК.[10]

Для построения линейной ГХ общего вида $Y = a + bX$, необходимо вычислить оценки a и b по МНК. Веса, определяемые по экспериментальным данным, принимаются равными $\omega_i = n_i/S_i^2$.

Среднее (взвешенное) значение \bar{X} входных величин X_i , находится по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum \omega_i X_i}{\sum \omega_i} \quad (13)$$

Среднее значение \bar{y} результатов измерений \bar{y}_i , находится по формуле

$$\bar{y} = \frac{\sum \omega_i \bar{y}_i}{\sum \omega_i} \quad (14)$$

Оценки коэффициентов b и a , вычисляются по формулам (15)-(16).

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i \bar{y}_i (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \omega_i (X_i - \bar{X})^2}, \quad (15)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{X} \quad (16)$$

Результаты оценок коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов для пяти цифровых вольтметров Mastech MY-64 (ЦВ1-ЦВ5) приведены в таблицах А.1-А.5 (в промежуточных вычислениях удерживаются лишние значащие цифры).

3.4 Введение поправки в результат измерения

После того, как были вычислены оценки коэффициентов a и b [11], были записаны уравнения линейных ГХ вида $Y = a + bX$, для каждого цифрового вольтметра, соответствующие определенному пределу измерения при заданных температурах окружающей среды. На основании этих уравнений, были вычислены исправленные значения по формуле $Y_{\text{исп}} = \frac{Y-a}{b}$ и средние значения поправок $\bar{q} = \bar{Y}_{\text{исп}} - X_N$, которые приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Средние значения поправок

$t, ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{В}$	$x, \text{В}$	$\bar{q}_1, \text{В}$	$\bar{q}_2, \text{В}$	$\bar{q}_3, \text{В}$	$\bar{q}_4, \text{В}$	$\bar{q}_5, \text{В}$
10	2	0,6	0,0010	0,0008	0,0004	0,0009	0,0005
		1	0,0031	0,0001	0,0003	0,0007	0,0007
		1,6	0,0006	0,0011	0,0009	0,0009	0,0007
		1,98	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	0,0007
	20	2	0,0020	0,0111	0,0020	0,0020	0,0022
		6	0,0022	0,0021	0,0049	0,0043	0,0019
		10	0,0048	0,0014	0,0066	0,0069	0,0028
		16	0,0007	0,0084	0,0042	0,0049	0,0044
		19,8	0,0053	0,0047	0,0023	0,0007	0,0122
	20	2	0,6	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004
1			0,0001	0,0002	0,0006	0,0003	0,0006
1,6			0,0001	0,0001	0,0006	0,0003	0,0002
1,98			0,0003	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002
20		2	0,0048	0,0054	0,0031	0,0065	0,0054
		6	0,0021	0,0016	0,0005	0,0022	0,0029
		10	0,0013	0,0012	0,0012	0,0013	0,0015
		16	0,0031	0,0005	0,0022	0,0020	0,0031
		19,8	0,0018	0,0031	0,0031	0,0007	0,0045
30		2	0,6	0,0015	0,0005	0,0001	0,0002
	1		0,0016	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002
	1,6		0,0029	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004
	1,98		0,0036	0,0003	0,0002	0,0002	0,0003
	20	2	0,0056	0,0056	0,0043	0,0022	0,0076
		6	0,0015	0,0033	0,0009	0,0030	0,0032
		10	0,0019	0,0007	0,0034	0,0007	0,0022
		16	0,0070	0,0020	0,0043	0,0023	0,0036
		19,8	0,0087	0,0061	0,0055	0,0019	0,0055
	40	2	0,6	0,0004	0,0002	0,0004	0,0002
1			0,0003	0,0003	0,0005	0,0006	0,0007
1,6			0,0004	0,0000	0,0004	0,0002	0,0003
1,98			0,0005	0,0003	0,0002	0,0001	0,0004
20		2	0,0033	0,0030	0,0020	0,0022	0,0058
		6	0,0007	0,0015	0,0042	0,0009	0,0016
		10	0,0006	0,0020	0,0067	0,0024	0,0026
		16	0,0018	0,0025	0,0039	0,0023	0,0030
		19,8	0,0092	0,0030	0,0011	0,0031	0,0057

3.5 Расчет СКО результата измерения и СКО поправки.

Среднеквадратическое отклонение результатов единичных измерений в ряду измерений – характеристика S рассеяния результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины, вычисляемая по формуле (17):

$$S(y_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}, \quad (17)$$

где: y_i – результат i -го единичного измерения;

\bar{y} – среднее арифметическое значение n единичных результатов измерений величины.

СКО S является оценкой стандартного отклонения сигма-параметра распределения результатов измерений и одновременно оценкой стандартного отклонения распределения случайной погрешности этих результатов.

СКО неисправленных результатов измерений $S(y_i)$ и СКО поправок $S(q_i)$ приведены в таблице 7 и 8, соответственно.[12]

Таблица 7 – Среднеквадратическое отклонение неисправленных результатов измерений

$t, ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{В}$	$x, \text{В}$	$S(y_1), \text{В}$	$S(y_2), \text{В}$	$S(y_3), \text{В}$	$S(y_4), \text{В}$	$S(y_5), \text{В}$
10	2	0,6	0,0012	0,0012	0,0006	0,0010	0,0006
		1	0,0049	0,0002	0,0004	0,0010	0,0010
		1,6	0,0010	0,0016	0,0012	0,0014	0,0012
		1,98	0,0005	0,0004	0,0008	0,0008	0,0008
	20	2	0,0024	0,0087	0,0030	0,0030	0,0030
		6	0,0023	0,0026	0,0050	0,0045	0,0026
		10	0,0042	0,0015	0,0072	0,0072	0,0044
		16	0,0010	0,0136	0,0046	0,0078	0,0067
		19,8	0,0049	0,0049	0,0031	0,0010	0,0131
		20	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0003
20	2	0,6	0,0005	0,0004	0,0009	0,0004	0,0006
		1	0,0002	0,0002	0,0006	0,0004	0,0002
		1,6	0,0004	0,0003	0,0001	0,0003	0,0003
		1,98	0,0031	0,0041	0,0041	0,0070	0,0067
	20	6	0,0026	0,0023	0,0006	0,0032	0,0032
		10	0,0012	0,0012	0,0017	0,0017	0,0017
		16	0,0045	0,0006	0,0026	0,0026	0,0032
		19,8	0,0021	0,0031	0,0040	0,0010	0,0049
		20	0,0004	0,0008	0,0002	0,0002	0,0002
		30	2	0,6	0,0003	0,0003	0,0006
1	0,0003			0,0002	0,0003	0,0003	0,0003
1,6	0,0001			0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
1,98	0,0024			0,0025	0,0029	0,0025	0,0025
20	6		0,0021	0,0031	0,0010	0,0031	0,0031
	10		0,0010	0,0010	0,0046	0,0010	0,0010
	16		0,0029	0,0029	0,0050	0,0029	0,0058
	19,8		0,0079	0,0079	0,0075	0,0025	0,0025
	20		0,0005	0,0003	0,0006	0,0003	0,0003
	40		2	0,6	0,0004	0,0004	0,0006
1		0,0003		0,0001	0,0006	0,0003	0,0003
1,6		0,0004		0,0005	0,0003	0,0001	0,0005
1,98		0,0020		0,0040	0,0020	0,0020	0,0048
20		6	0,0010	0,0021	0,0038	0,0010	0,0021
		10	0,0006	0,0032	0,0078	0,0035	0,0026
		16	0,0026	0,0032	0,0026	0,0026	0,0026
		19,8	0,0040	0,0036	0,0012	0,0036	0,0036
		20	0,0005	0,0003	0,0006	0,0003	0,0003
		20	0,0004	0,0004	0,0006	0,0009	0,0009

Таблица 8 – Среднеквадратическое отклонение значений поправок

$t, ^\circ\text{C}$	X_N, B	x, B	$S(q_1), \text{B}$	$S(q_2), \text{B}$	$S(q_3), \text{B}$	$S(q_4), \text{B}$	$S(q_5), \text{B}$
10	2	0,6	0,0002	0,0007	0,0005	0,0001	0,0002
		1	0,0042	0,0001	0,0002	0,0006	0,0007
		1,6	0,0009	0,0009	0,0011	0,0008	0,0009
		1,98	0,0003	0,0002	0,0004	0,0004	0,0001
	20	2	0,0024	0,0088	0,0026	0,0027	0,0029
		6	0,0007	0,0007	0,0037	0,0045	0,0024
		10	0,0042	0,0007	0,0014	0,0023	0,0039
		16	0,0006	0,0117	0,0022	0,0064	0,0046
		19,8	0,0038	0,0017	0,0022	0,0005	0,0131
	20	2	0,6	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
1			0,0001	0,0002	0,0008	0,0002	0,0003
1,6			0,0001	0,0001	0,0003	0,0003	0,0001
1,98			0,0004	0,0002	0,0001	0,0003	0,0002
20		2	0,0031	0,0041	0,0021	0,0043	0,0022
		6	0,0008	0,0015	0,0001	0,0029	0,0007
		10	0,0011	0,0008	0,0017	0,0017	0,0001
		16	0,0024	0,0002	0,0006	0,0009	0,0014
		19,8	0,0021	0,0022	0,0020	0,0005	0,0010
30		2	0,6	0,0004	0,0006	0,0001	0,0001
	1		0,0003	0,0002	0,0006	0,0001	0,0003
	1,6		0,0003	0,0002	0,0001	0,0001	0,0003
	1,98		0,0001	0,0001	0,0001	0,0002	0,0003
	20	2	0,0027	0,0063	0,0014	0,0015	0,0049
		6	0,0017	0,0031	0,0006	0,0030	0,0025
		10	0,0010	0,0006	0,0019	0,0005	0,0010
		16	0,0029	0,0018	0,0032	0,0007	0,0050
		19,8	0,0069	0,0027	0,0040	0,0017	0,0025
	40	2	0,6	0,0002	0,0002	0,0003	0,0001
1			0,0002	0,0002	0,0002	0,0005	0,0002
1,6			0,0003	0,0000	0,0003	0,0002	0,0001
1,98			0,0004	0,0004	0,0001	0,0000	0,0001
20		2	0,0020	0,0022	0,0012	0,0020	0,0048
		6	0,0006	0,0011	0,0034	0,0008	0,0007
		10	0,0004	0,0026	0,0078	0,0021	0,0012
		16	0,0023	0,0032	0,0027	0,0005	0,0025
		19,8	0,0040	0,0036	0,0005	0,0036	0,0036

3.6 Расчет вероятности полезного эффекта введения поправки в зависимости от динамического диапазона и от температуры окружающей среды.

Была проведена оценка вероятности целесообразности (положительного эффекта от) введения поправки. Для этого сравнивали среднее значение q поправки с граничным значением поправки $q_{гр}$, подсчитанным по формуле (7) при $t_p = 2$, числе измерений $n = 3$ и доверительной вероятности $p_d = 0,95$, и результат сравнения считали положительным (+), если выполнялось неравенство

$$q > q_{гр}. \quad (18)$$

Результаты сравнения представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты сравнения среднего значения поправки с граничным значением поправки

$t, ^\circ\text{C}$	X_N, B	x, B	ЦВ1	ЦВ2	ЦВ3	ЦВ4	ЦВ5	
10	2	0,6	+	+	+	+	+	
		1	-	+	+	+	+	
		1,6	-	+	-	+	+	
		1,98	+	+	+	+	+	
	20	2	2	+	+	+	-	-
			6	+	+	+	+	+
		10	10	+	+	+	+	-
			16	+	-	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+
20	2	0,6	+	+	+	+	+	
		1	+	+	+	+	+	
		1,6	+	+	+	+	+	
		1,98	-	+	+	+	+	
	20	2	2	+	+	+	+	+
			6	+	+	+	-	+
		10	10	+	+	-	-	+
			16	+	+	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+
30	2	0,6	+	+	+	+	+	
		1	+	+	-	+	-	
		1,6	+	+	+	+	+	
		1,98	+	+	+	+	+	
	20	2	2	+	-	+	+	+
			6	+	+	+	+	+
		10	10	+	+	+	+	+
			16	+	+	+	+	-
			19,8	+	+	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+
40	2	0,6	+	+	+	+	+	
		1	+	+	+	+	+	
		1,6	+	+	+	+	+	
		1,98	+	-	+	+	+	
	20	2	2	+	+	+	+	+
			6	+	+	+	+	+
		10	10	+	+	+	+	+
			16	+	-	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+
			19,8	+	+	+	+	+

Вероятность положительного эффекта от введения поправки вычисляли как отношение числа положительных результатов сравнения по формуле (18) к числу всех результатов сравнения при фиксированных X_N и температуре t . Из результатов расчетов следует, что частичная неэффективность введения поправки может проявляться в любой точке диапазона измерений. Наибольший

эффект от введения поправки наблюдается при высокой температуре 40 °С с вероятностью 0,95, а наименьший положительный эффект наблюдается при температуре 10 °С, с вероятностью 0,84. При температурах 20 °С и 30 °С эффект от поправки оказался положительным с равной вероятностью 0,91.

3.7 Анализ процедуры введения поправки применительно к экземплярам СИ одного типа.

Для выполнения данного анализа были взяты пять экземпляров цифрового вольтметра Mastech MY-64.

Анализ проводился при сравнении неисправленных и исправленных результатов измерения постоянного напряжения при выходном напряжении источника питания $x = 6$ В.

$$\Delta 1 = y_{\text{испр}} - x, \quad (19)$$

$$\Delta 2 = y - x, \quad (20)$$

где: x – выходное напряжение ИП, В;

y – неисправленный РИ, В;

$y_{\text{испр}}$ – исправленный РИ, В.

Графики сравнения погрешностей для ЦВ1-ЦВ5 представлены на рисунках 2-6. Значения результатов измерений были взяты по модулю, для удобства представления.

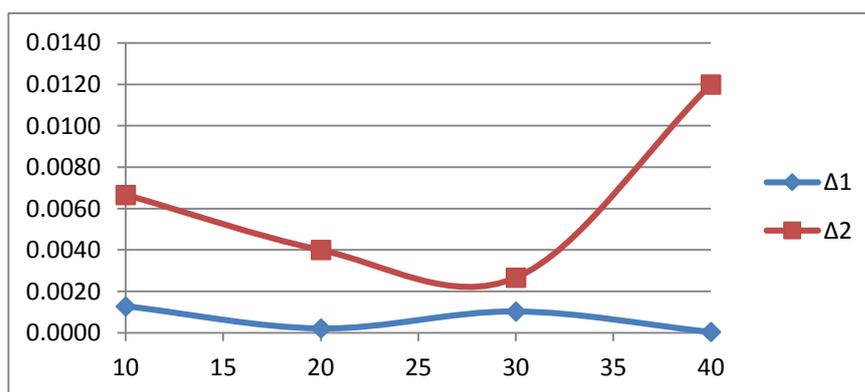


Рисунок 2 – Графики погрешностей исправленных и неисправленных результатов измерения для ЦВ1

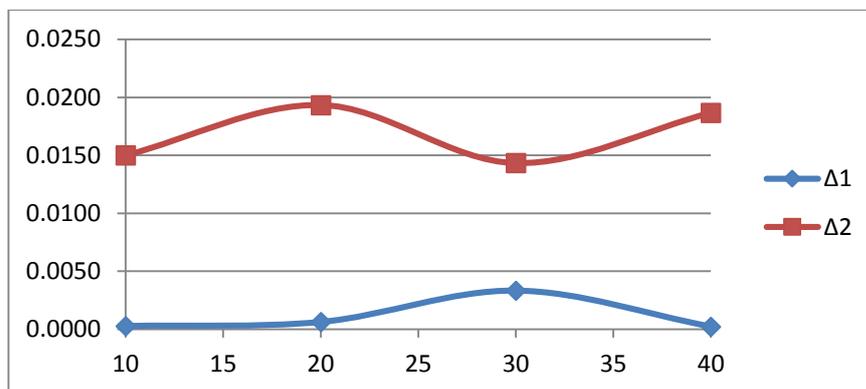


Рисунок 3 – Графики погрешностей исправленных и неисправленных результатов измерения для ЦВ2

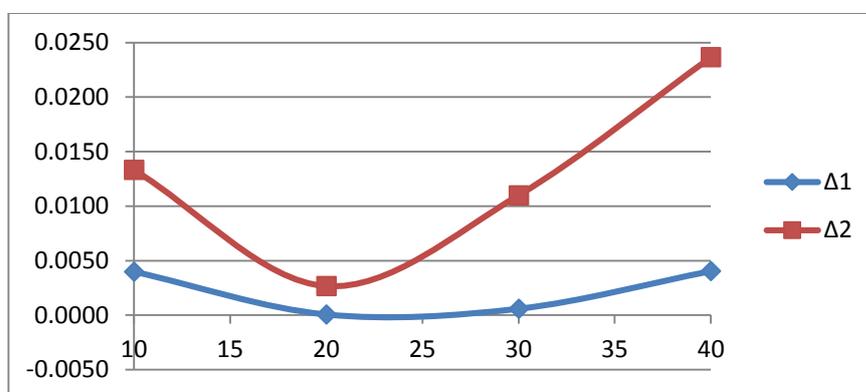


Рисунок 4 – Графики погрешностей исправленных и неисправленных результатов измерения для ЦВ3

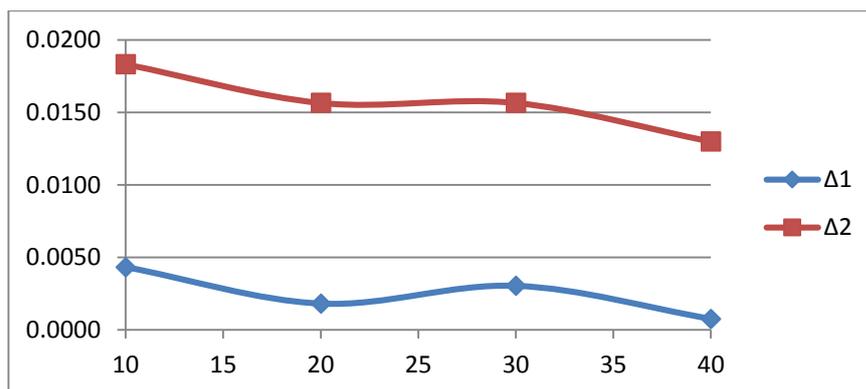


Рисунок 5 – Графики погрешностей исправленных и неисправленных результатов измерения для ЦВ4

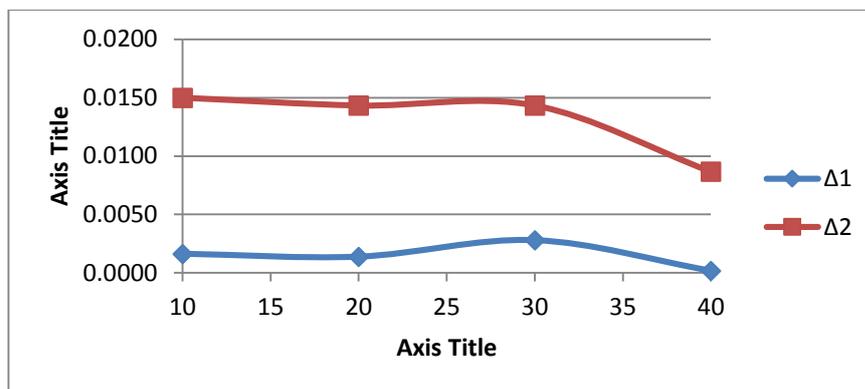


Рисунок 6 – Графики погрешностей исправленных и неисправленных результатов измерения для ЦВ5

Расположение кривых показывает близость результата измерения к исходному значению. Из рисунков 3 и 5 видно, что погрешность неисправленных результатов экземпляров ЦВ2 и ЦВ4 изменяется от 0,013 В до 0,020 В на всем диапазоне температур. Экземпляры ЦВ1 и ЦВ3 (рисунки 2 и 4) оказались менее устойчивы к изменению температуры окружающей среды: графики погрешностей имеют подъем при температуре 40 °С.

Из экспериментальных данных при номинальном измеряемом напряжении, равном 6 В, следует, что, благодаря введению поправки, погрешность исправленного результата удалось уменьшить от 2 до 80 раз в зависимости от температуры окружающей среды и экземпляра СИ.

4 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий в которых будет реализовываться разработка, полученная в ходе написания ВКР, а именно, способ повышения точности измерений, путем введения поправок в неисправленный результат измерения, в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды.

Разработку, полученную в ходе написания данной работы, будет использовать инженер-метролог. Рабочим местом является лаборатория, рабочей зоной является стол с приборами.

В данном разделе указаны такие вредные и опасные факторы, оказывающие негативное влияние на организм человека, как неоптимальный микроклимат помещения, электромагнитное излучение, недостаточность освещения и электрический ток. Так же указан характер вредного воздействия данных факторов на организм и последствия их длительного или чрезмерного воздействия.

Так же были указаны ЧС, которые могут произойти на рабочем месте и действия, которые необходимо выполнить в случае их возникновения.

4.1 Профессиональная социальная безопасность

Таблица 10 – Физические опасные и вредные факторы при выполнении работ по повышению точности измерений, путем введения поправок в результаты измерений.

Вредные и опасные факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)	Нормативные документы
1. Повышенная напряженность электромагнитного поля; 2. Превышение уровня электромагнитных излучений; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;	Требования при выполнении работ сидя устанавливаются ГОСТ 12.2.032-78 [13]. Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [14]. Требования к естественному и искусственному освещению устанавливаются СП 52.13330.2011 [15]. Параметры электромагнитного излучения устанавливаются СанПиН 2.2.4.1191-03 [16]. Требования по электробезопасности устанавливаются ГОСТ Р 12.1.019-2009 [17]. Требования по пожарной безопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ [18]. Требования по взрывобезопасности устанавливаются ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ [19]. Требования к организации труда устанавливаются Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ [20].

4.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. Показатели микроклимата: температура воздуха и его относительная влажность, скорость его движения, мощность теплового излучения.

Основные виды работ, выполняемые инженером-метрологом, по степени физической тяжести, относятся к категории легких работ. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно СанПиН 2.2.4.548 [14], предоставлены в таблице 11, а допустимые величины показателей приведены в таблице 12.

Таблица 11 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	23 – 25	40 – 60	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	20 – 22	40 – 60	0,1

Таблица 12 – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	20 – 21,9	15 – 75	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	21 – 22,9	15 – 75	0,1

В помещении необходимо предусмотреть систему отопления, функционирующую в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха.

В соответствии с характеристикой помещения определен предполагаемый расход свежего воздуха. Нормы подачи свежего воздуха приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Нормы подачи свежего воздуха в помещения, где расположены компьютеры

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ /на одного человека в час
Объем до 20 м ³ на человека 20...40 м ³ на человека Более 40 м ³ на человека	Не менее 30 Не менее 20 Естественная вентиляция

4.1.2 Недостаточная освещённость рабочей зоны

Освещённость – световая величина, равная отношению светового потока, падающего на малый участок поверхности, к его площади. Освещённость измеряется в Люксах (СИ) и обозначают её буквой E.

Хорошее освещение действует тонизирующе, создаёт хорошее настроение, улучшает протекание основных процессов нервной высшей деятельности. Улучшение освещённости способствует улучшению работоспособности даже в тех случаях, когда процесс труда практически не зависит от зрительного восприятия.

Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям. Причинами во многих случаях являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано на рабочих местах. Головные боли также могут быть вызваны пульсацией освещения, что в основном

является результатом использования электромагнитных пускорегулирующих аппаратов (ПРА) для газоразрядных ламп, работающих на частоте 50 Гц.

Освещённость на рабочем месте должна соответствовать характеру зрительной работы; равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и отсутствие резких теней; величина освещения постоянна во времени (отсутствие пульсации светового потока); оптимальная направленность светового потока и оптимальный спектральный состав; все элементы осветительных установок должны быть долговечны, взрыво-, пожаро-, электробезопасны.

Работа с приборами относится к зрительным работам средней точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СП 52.13330 [15], такие помещения должны удовлетворять требованиям, указанным в таблице 14. Таблица 14 – Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий при зрительной работе средней точности

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение		Естественное освещение	
					Освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Коэффициент пульсации освещённости и Кп, %, не более	КЕО еп, %, при	
							Верхнем или комбинированном	Боковом
Высокой точности	более 0,5	В	1	не менее 70	150	20	2,0	0,5
			2	менее 70	100	20	2,0	0,5

4.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В качестве источника электромагнитного излучения в данной работе рассматриваются средства измерения и электрические приборы.

Степень и характер воздействия электромагнитного поля на организм человека зависят: от интенсивности излучения; частоты колебаний; поверхности тела облучаемого; индивидуальных особенностей организма; режима облучения (непрерывный или прерывистый) продолжительности воздействия; комбинированного действия других факторов производственной среды. В диапазонах промышленной частоты, радиочастот, инфракрасного и

частично ультрафиолетового света электромагнитные поля оказывают тепловое воздействие.

Если механизм терморегуляции тела не способен рассеять это избыточное тепло, возможно повышение температуры тела. Некоторые органы и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению (мозг, глаза, почки, кишечник).

Перегревание отдельных тканей и органов ведёт к их заболеваниям, а повышение температуры тела на 1 °С и выше вообще не допустимо.

Влияние электромагнитных излучений заключается не только в их тепловом воздействии. Микропроцессы, протекающие в организме под действием излучений, заключаются в поляризации макромолекул тканей и ориентации их параллельно электрическим силовым линиям, что может приводить к изменению свойств молекул; особенно для человеческого организма важна поляризация молекул воды.

Длительное и систематическое воздействие на человека полей высоких и ультравысоких частот вызывает:

- повышенную утомляемость;
- головную боль;
- сонливость;
- гипертонию;
- боли в области сердца.

Длительное и систематическое воздействие на человека полей сверхвысоких частот вызывает, кроме того:

- изменения в крови;
- катаракту (помутнение хрусталика глаза);
- нервно-психические заболевания.

Согласно СанПиН 2.2.4.1191 [16], предельно допустимые уровни энергетических экспозиций электромагнитного поля диапазона частот от 30 кГц до 300 ГГц, не должны превышать значений, приведенных в таблице 15.

Таблица 15 – Предельно допустимый уровень энергетических экспозиций электромагнитного поля диапазона частот от 30 кГц до 300 ГГц

Диапазоны частот	Предельно допустимые уровни энергетической экспозиции		
	По электрической составляющей, $(В/м)^2 \times ч$	По магнитной составляющей, $(А/м)^2 \times ч$	По плотности потока энергии $(мкВт/см^2) \times ч$
30 кГц - 3 МГц	20000,0	200,0	-
3 - 30 МГц	7000,0	-	-
30 - 50 МГц	800,0	0,72	-
50 - 300 МГц	800,0	-	-
300 МГц - 300 ГГц	-	-	200,0

4.1.4 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Все электрические приборы, используемые в работе, должны подключаться к сети питания имеющей защитное заземление.

Соединять и разъединять вилки, розетки электрических соединений допускается только при выключенном сетевом выключателе.

Основными причинами поражения человека электрическим током могут быть следующие:

- непосредственное прикосновение к токоведущим частям, оказавшимся под напряжением;
- соприкосновение с конструктивными частями, оказавшимися под напряжением.

Электрический ток, проходя через организм человека, оказывает тепловое (ожоги, нагрев сосудов), механическое (разрыв тканей, сосудов при судорожных сокращениях мышц), химическое (электролиз крови), биологическое (раздражение и возбуждение живой ткани) или комбинированное воздействие.

Основными средствами и способами защиты от поражения электрическим током являются:

- недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения;

- защитное заземление, зануление или отключение;
- вывешивание предупреждающих надписей;
- контроль за состоянием изоляции электрических установок;
- использование дополнительных средств защиты.

Требования электробезопасности электроустановок производственного и бытового назначения на стадиях проектирования, изготовления, монтажа, наладки, испытаний и эксплуатации, а также технические способы и средства защиты, обеспечивающие электробезопасность электроустановок различного назначения приведены в ГОСТ Р 12.1.019-2009.[17]

4.2 Экологическая безопасность

В связи с тем, что основным средством работы являются средства измерения и электрические приборы, серьезной проблемой является электропотребление. Это влечет за собой общий рост объема потребляемой электроэнергии. Для удовлетворения потребности в электроэнергии, приходится увеличивать мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушению экологической обстановки, так как электростанции в своей деятельности используют различные виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных выбросов в атмосферу.

Данная проблема является мировой. На сегодняшний день во многих странах внедрены альтернативные источники энергии (солнечные батареи, энергия ветра). Еще одним способом решения данной проблемы является использование энергосберегающих систем.

К отходам, производимым в помещении, где ведутся работы по исключению погрешности, можно отнести сточные воды и бытовой мусор.

Сточные воды здания относятся к бытовым сточным водам. За их очистку отвечает городской водоканал.

Основной вид мусора – это отходы печати, бытовой мусор (в т. ч. люминисцентные лампы), неисправное электрооборудование, коробки от

техники, использованная бумага. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

Утилизация средств измерений и электрических приборов осуществляется непосредственно работниками предприятий, в соответствие с нормативными документами.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004 [18] и ГОСТ 12.1.010 [19].

Все производства по пожарной опасности подразделяются на 5 категорий: А, Б, В, Г, Д. Лаборатория, в которой будет выполняться работа, относится к категории В.

Производства категории В характеризуются наличием жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С; горючей пыли или волокон, нижний предел взрываемости которых более 65 г/м³ к объему воздуха; веществ, способных только гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом; твердых сгораемых веществ и материалов.

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- электрические перегрузки;
- выделение тепла, искрение в местах плохих контактов при соединении проводов;
- курение в неположенных местах.

Тушение горящего электрооборудования под напряжением должно осуществляться имеющимися огнетушителями ОУ-5. Чтобы предотвратить пожар в лаборатории, необходимо:

- содержать помещение в чистоте, убирать своевременно мусор. По окончании работы поводится влажная уборка всех помещений;

– работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;

– на видном месте должен быть вывешен план эвакуации из помещения с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;

– уходящий из помещения последним должен проверить выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т.д. и отключение силовой и осветительной электрической сети.

Также необходимо соблюдение организационных мероприятий:

– правильная эксплуатация приборов, установок;

– правильное содержание помещения;

– противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;

– издание приказов по вопросам усиления ПБ;

– организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;

– наличие наглядных пособий и т.п.

В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь планом пожарной эвакуации.

4.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

4.4.1 Эргономические требования к рабочему месту

В процессе работы, все используемые предметы должны находиться в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости приведено на рисунке 7.

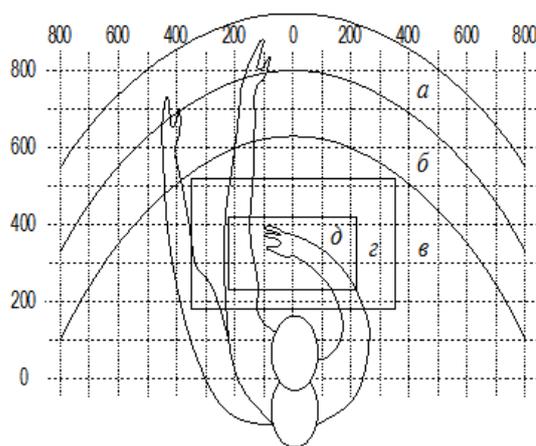


Рисунок 7 – Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости

На рисунке 7 введены следующие обозначения:

- а – зона максимальной досягаемости;
- б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке;
- в – зона легкой досягаемости ладони;
- г – оптимальное пространство для грубой ручной работы;
- д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

4.4.2 Окраска и коэффициенты отражения

Окраска помещений и мебели должна способствовать созданию благоприятных условий для зрительного восприятия, хорошего настроения.

Источники света, такие как светильники и окна, которые дают отражение от поверхности экрана, значительно ухудшают точность знаков и влекут за собой помехи физиологического характера, которые могут выразиться в значительном напряжении, особенно при продолжительной работе. Отражение, включая отражения от вторичных источников света, должно быть сведено к минимуму. Для защиты от избыточной яркости окон могут быть применены шторы и экраны.

В зависимости от ориентации окон рекомендуется следующая окраска стен и пола:

Окна ориентированы на юг: – стены зеленовато-голубого или светло-голубого цвета; пол – зеленый.

Окна ориентированы на север: – стены светло-оранжевого или оранжево-желтого цвета; пол – красновато-оранжевый.

Окна ориентированы на восток: – стены желто-зеленого цвета, пол – зеленый или красновато-оранжевый.

Окна ориентированы на запад: – стены желто-зеленого или голубовато-зеленого цвета; пол зеленый или красновато-оранжевый.

4.4.3 Особенности законодательного регулирования проектных решений

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно-правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Согласно трудовому кодексу РФ [20]:

- продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю.
- во время регламентированных перерывов целесообразно выполнять комплексы упражнений и осуществлять проветривание помещения.

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения существующих правил и норм.

К таким органам относятся:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)).
- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

ВКР включает в себя аналитический обзор систематических погрешностей, которые возникают вследствие внешних факторов и способы компенсации этих погрешностей, а также использование способа введения поправки на конкретном примере. Следовательно, исследования, проведенные в рамках написания дипломной работы, не несут в себе особых денежных затрат.

Таким образом, в разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» будут рассмотрены следующие вопросы:

- потенциальные потребители результатов исследования;
- SWOT-анализ;
- структура работ в рамках научного исследования;
- трудоемкость выполнения работ;
- график проведения научного исследования;
- бюджет научно-технического исследования (НТИ).

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы определить потенциальный потребителей научной разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка способов повышения точности измерений приведено на рисунке 8.

		Способы повышения точности измерений			
		Введение поправок	Ограничение условий применения СИ	Метод сравнения с мерой	Тестовый метод
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				

Рисунок 8 – Карта сегментирования рынка по способам повышения точности измерений:

 - Фирма А  - Фирма Б,  - Фирма В.

В приведенном примере карты сегментирования показано, какие ниши на рынке не заняты конкурентами или где уровень конкуренции низок. Выбирают, как правило, два-три сегмента, на которые и направляют максимальные усилия и ресурсы предприятия. Как правило, выбирают сегменты со сходными характеристиками, которые будут формировать целевой рынок.

По итогам сегментирования определены основные сегменты рынка. Способы повышения точности необходимо внедрять во все компании, вне зависимости от ее размера. Способ введение поправок, необходимо внедрить в средние и крупные компании, так как в «мелких» компаниях данный способ уже используется.

5.2 SWOT- анализ

SWOT– Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 16.

Таблица 16– Результаты первого этапа SWOT-анализа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	С1. Повышение точности приборов. С2. Сокращение затрат на дорогое оборудование С3. Использование приборов не в лабораторных условиях С4. Квалифицированный персонал
Слабые стороны научно-исследовательского проекта:	Сл1. Затраты времени на анализ Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой
Возможности:	В1. Использование сотрудниками ТПУ В2. Использование сотрудниками ЦСМ и различных метрологических центров В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Повышение стоимости конкурентных разработок

Продолжение таблицы 16

Угрозы:	У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных требований У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства
----------------	---

После того как сформулированы четыре области SWOT переходят к реализации второго этапа.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	-	+	+	+
	B2	+	+	-	+
	B3	-	0	0	-
B4	+	+	+	-	
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2		
	B1	-	+		
	B2	+	+		
	B3	-	-		
B4	-	-			

Продолжение таблицы 17

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	0	-	+
	В2	+	-	-	-
	В3	+	-	+	+
	В4	-	-	-	-
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1	Сл2		
	В1	-	+		
	В2	-	-		
	В3	+	+		
	В4	-	-		

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в бакалаврской работе (таблица 18).

Таблица 18 – Итоговая SWOT-таблица

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Повышение точности приборов. С2. Сокращение затрат на дорогое оборудование С3. Использование приборов не в лабораторных условиях С4. Квалифицированный персонал</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Затраты времени на анализ Сл2. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>
<p>Возможности: В1. Использование сотрудниками ТПУ В2. Использование сотрудниками ЦСМ и различных метрологических центров В3. Появление дополнительного спроса на новый продукт В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>В1С2С3С4; В2С1С2С4; В4С1С2С3</p>	<p>В1Сл2; В2Сл1Сл2</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Введения дополнительных требований У4. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>В1С1С4; В2С1; В3С1С3С4</p>	<p>В1Сл2; В3Сл1Сл2</p>

5.3 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель (НР) и непосредственно студент (С), выполняющий написание бакалаврской ВКР.

В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ. Данный перечень представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	Номер работы	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материала по теме	С
	3	Выбор направления исследования	НР, С
	4	Календарное планирование работ по теме	НР, С
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Изучение теоретического материала по выбранному направлению	С
	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	С
	7	Проведение эксперимента	С
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	С
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	НР, С

5.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости выполнения работ для каждого исполнителя является важным моментом, т.к. трудовые затраты чаще всего являются основной частью стоимости проведенного исследования.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожі}$ рассчитывали по формуле

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (21)$$

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.

Исходя из полученных значений $t_{ожi}$, рассчитывается продолжительность каждого вида работы в рабочих днях T_{pi} по формуле

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (22)$$

где T_{pi} – продолжительность одной i -ой работы, раб. дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, одновременно выполняющих одну и ту же работу на определенном этапе, чел.

5.5 Составление графика проведения научного исследования

В качестве графика проведения научного исследования использовалась диаграмма Ганта, т.к. она является наиболее наглядным и удобным способом построения ленточного графика.

Для удобства разработки графика необходимо перевести длительность каждого этапа работ из рабочих дней в календарные. Продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях T_{Ki} рассчитывается по формуле

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (23)$$

где $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности, в свою очередь, рассчитывается по формуле

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (24)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В соответствии с производственным календарем на 2016 год календарных дней – 366, выходных и праздничных дней при шестидневной рабочей неделе – 70. Таким образом, получили значение $k_{\text{кал}} = 1,24$.

Все рассчитанные значения были занесены в таблицу 20.

Таблица 20 – Временные показатели проведения НТИ

Номер работы	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб. дн.	Длительность работ в календарных днях T_{Ki} , кал. дн.
		t_{min} , чел.-дн.	t_{max} , чел.-дн.	$t_{ожi}$, чел.-дн.		
1	НР	1	2	1,4	1,4	2
2	С	7	9	7,8	7,8	10
3	НР	4	7	5,2	2,6	3
	С	4	7	5,2	2,6	3
4	НР	4	6	4,8	2,4	3
	С	4	6	4,8	2,4	3
5	С	20	25	22	22	27
6	С	10	13	11,2	11,2	14
7	С	23	28	25	25	31
8	С	5	7	5,8	5,8	7
9	НР	2	3	2,4	1,2	1
	С	2	3	2,4	1,2	1

На основании таблицы 20 был построен календарный план-график. Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы 21 с разбиением по месяцам, а затем по декадам за период времени написания дипломной работы. При этом на графике работы для научного руководителя выделены косой штриховкой, а студента – сплошной заливкой. Перечень работ, этапов и распределение исполнителей представлен в таблице 19.

Таблица 21 – Календарный план-график

Номер работы	Исполнители	T_{Ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль		Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	НР	2												
2	С	10												
3	НР	3												
	С	3												
4	НР	3												
	С	3												
5	С	27												

Продолжение таблицы 21

Номер работы	Исполнители	T _{Ki} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
			Февраль		Март			Апрель			Май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
6	С	14												
7	С	31												
8	С	7												
9	НР	1												
	С	1												

5.6 Определение бюджета научно-технического исследования

Планируя бюджет научно-технического исследования (НТИ), необходимо обеспечить достоверное и полное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением. Для определения бюджета НТИ в рамках выполнения ВКР с учетом выбранного направления исследования и исполнителей работ были рассчитаны следующие виды затрат:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

5.6.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

В рамках расчета материальных затрат НТИ должны быть учтены:

- приобретаемые сырье и материалы, необходимые для создания продукции;
- покупаемые материалы, необходимые для поддержания нормального технологического процесса;
- затраты на дополнительные комплектующие;
- сырье, материалы, различные комплектующие изделия, применяемые в качестве объектов исследования;
- затраты на канцелярские принадлежности.

Т.к. исследование в рамках выполнения ВКР включает в себя лишь аналитический обзор, а также использование определенного метода на конкретном примере, то оно предусматривает затраты лишь на канцелярские принадлежности. А именно, в ходе выполнения работы была приобретена пачка бумаги формата А4 и заправлен картридж для принтера.

Материальные затраты Z_M на i -й материальный ресурс рассчитывается по формуле

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{расхi}), \quad (25)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;

m – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования;

C_i – цена на приобретение i -го вида приобретаемого материального ресурса;

$N_{расхi}$ – количество материального ресурса i -го вида, которое планируется для использования при выполнении научного исследования.

Значения цен были взяты на основании чеков после приобретения соответствующего вида продукции.

После проведения расчетов материальных затрат результаты занесли в таблицу 22.

Таблица 22 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы Z_M , руб.
Заправка картриджа	шт.	1	280	280
Пачка бумаги формата А4	шт.	1	250	250
Итого			530	530

В ходе научно-технического исследования у приобретенных видов продукции не было остатков, следовательно, не нужно исключать стоимость возвратных отходов.

5.6.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

В рамках данного подраздела рассчитывается основная заработная плата для всех исполнителей, участвующих в проведении НТИ. Величина расходов

по заработной плате рассчитывается на основании трудоемкости выполняемых работ, а также действующей системы тарифных ставок и окладов.

Заработная плата участников выполнения НИИ учитывает как основную заработную плату, так и дополнительную и рассчитывается по формуле

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (26)$$

где $Z_{осн}$ – величина основной заработной платы;

$Z_{доп}$ – величины дополнительной заработной платы, принятая за 15 % от основной заработной платы.

В свою очередь основная заработная плата одного исполнителя от предприятия рассчитывается по формуле

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (27)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.;

T_p – продолжительность работ, которые выполняются исполнителем, раб. дн.

Среднедневная заработная плата $Z_{дн}$ определяется по формуле

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (28)$$

где Z_m – месячный должностной оклад, руб.;

M – количество месяцев работы исполнителя без отпуска за период года: при шестидневной рабочей неделе и отпуске в 48 рабочих дней значение M составляет 10,6 месяца;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 23.

Таблица 23 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	С
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней: - выходные дни; - праздничные дни	70	70

Продолжение таблицы 23

Показатели рабочего времени	НР	С
Потери рабочего времени:		
- отпуск;	50	24
- невыходы по болезни	-	-
- командировка	70	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	176	224

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (29)$$

где $З_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 30 % от заработной платы по тарифной ставке;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок, принятый за 20 % от заработной платы по тарифной ставке;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент (для г. Томска – 1,3).

В свою очередь тарифная заработная плата рассчитывается по формуле

$$З_{\text{тс}} = T_{\text{сi}} \cdot k_{\text{т}}, \quad (30)$$

где $T_{\text{сi}}$ – тарифная ставка работника первого разряда, равная 600 руб.;

$k_{\text{т}}$ – тарифный коэффициент, учитываемый по единой тарифной сетке для бюджетных организаций: для НР $k_{\text{т(НР)}}$ принимается равным 2,047; для С $k_{\text{т(С)}}$ – 1,407.

По результатам расчетов была заполнена таблица 24.

Таблица 24 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{т}}$	$З_{\text{тс}}$, руб	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$, руб	$З_{\text{дн}}$, руб	$T_{\text{р}}$, раб. дн.	$З_{\text{осн}}$, руб.
НР	2,047	1228,20	0,3	0,2	1,3	2394,99	144,24	9	1298,16
С	1,407	844,20	0,3	0,2	1,3	1646,19	77,90	96	7478,4
Итого									8776,56

5.6.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

Дополнительная заработная плата учитывает величину доплат за отклонения от нормальных условий труда, предусмотренных Трудовым кодексом Российской Федерации, а также выплаты, связанные с обеспечением компенсаций и гарантий.

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (31)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

В результате получили следующие значения:

$$Z_{\text{доп(НР)}} = 194,724;$$

$$Z_{\text{доп(С)}} = 1121,76.$$

5.6.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством Российской Федерации, органам пенсионного фонда, государственного социального страхования, медицинского страхования, а также затраты на оплату труда работников.

Отчисления во внебюджетные фонды $Z_{\text{внеб}}$ рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (32)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент уплаты во внебюджетные фонды, принятый равным 27,1 % для учреждений, осуществляющих научную деятельность.

Величина отчислений во внебюджетные фонды представлена в таблице 25.

Таблица 25 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{внеб}}$, руб
НР	1298,16	194,72	0,271	404,57
С	7478,40	1121,76	0,271	2330,64
Итого	8776,56	1316,48	-	2735,21

5.6.5 Расчет накладных расходов

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии,

услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы $Z_{\text{накл}}$ рассчитываются по формуле

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (33)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент накладных расходов, взятый в размере 16 %.

Получили следующие значения:

$$Z_{\text{накл(НР)}} = 303,59;$$

$$Z_{\text{накл(С)}} = 1748,93.$$

5.6.6 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НТИ представлено в таблице 26.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Номер пункта
	НР	С	
Материальные затраты НТИ	-	530,00	5.7.1
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	1298,16	7478,4	5.7.2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	194,724	1121,76	5.7.3
Отчисления во внебюджетные фонды	404,57	2330,64	5.7.4
Накладные расходы	303,59	1748,93	5.7.5
Бюджет затрат НТИ	2201,04	13209,73	5.7.1 - 5.7.5

5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его

нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (34)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{27}{50} = 0,54;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{34}{50} = 0,68;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{30}{50} = 0,6.$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом по формуле

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i, \quad (35)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы 27.

Таблица 27 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	3	5
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	5	2
3. Энергосбережение	0,25	5	4	3
4. Надежность	0,35	5	5	4
ИТОГО	1			

$$I_{p-исп1} = 5 * 0,25 + 4 * 0,15 + 5 * 0,25 + 5 * 0,35 = 4,85;$$

$$I_{p-исп2} = 3 * 0,25 + 5 * 0,15 + 4 * 0,25 + 5 * 0,35 = 4,25;$$

$$I_{p-исп3} = 5 * 0,25 + 2 * 0,15 + 3 * 0,25 + 4 * 0,35 = 3,7.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$), определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп2} = \frac{I_{p-исп.2}}{I_{финр.2}} \quad \text{и т.д.} \quad (36)$$

$$I_{исп1} = 8,98; I_{исп2} = 6,25; I_{исп3} = 6,16.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволяет определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$) определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (37)$$

Таблица 28 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,54	0,68	0,6
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,25	3,70
3	Интегральный показатель эффективности	8,98	6,25	6,16
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,44	1,01	0,68

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Следует сделать вывод, что исследуемый метод экономически эффективен и смело можно продолжать работы в данной сфере.

Заключение

В ходе работы был изучен один из способов уменьшения систематической погрешности – введение поправки в результат измерения, и реализованы его этапы в программном пакете Microsoft Excel 2010.

Проведены экспериментальные исследования внесения поправки в показания пяти экземпляров цифрового вольтметра Mastech MY-64. Для этой цели были определены параметры их градуировочных характеристики на основе данных измерений прецизионного цифрового вольтметра АРРА-305 с помощью метода наименьших квадратов. Из уравнений линейных градуировочных характеристик для каждого цифрового вольтметра, заданного предела измерения и температуре окружающей среды были вычислены исправленные значения и средние значения поправок.

Проведена оценка вероятности целесообразности (положительного эффекта от) введения поправки. Из результатов расчетов следует, что частичная неэффективность введения поправки может проявляться в любой точке диапазона измерений. Наибольший эффект от введения поправки наблюдается при высокой температуре 40 °С, вероятность – 0,95, а наименьший положительный эффект наблюдается при температуре 10 °С, вероятность – 0,84. При температурах 20 °С и 30 °С эффект от поправки оказался положительным с равной вероятностью 0,91.

Из экспериментальных данных при номинальном измеряемом напряжении, равном 6 В, следует, что, благодаря введению поправки, погрешность исправленного результата удалось уменьшить от 2 до 80 раз в зависимости от температуры окружающей среды и экземпляра СИ.

Полученные результаты позволяют рекомендовать способ введения поправки в результаты измерений СИ с целью уменьшения систематической погрешности.

Список использованных источников

- 1 Козлов М.Г. Метрология и стандартизация: Учебник М., СПб.: Изд-во «Петербургский ин-т печати», 2001. – 372 с.
- 2 Захаров И.П. Теоретическая метрология: Учеб. пособие. – Харьков: ХТУРЭ, 2000. – 172 с.
- 3 Брюханов В.А. Методы повышения точности измерений в промышленности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 108 с.
- 4 РМГ 64-2003. ГСОЕИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037654> – Загл. с экрана (Дата обращения: 18.03.2016)
- 5 Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: Учеб. пособие для вузов. – М.: Логос, 2001. – 408 с.
- 6 Емельянов А.В., Шилин А.Н. Расчет погрешностей электрических измерений: Метод. указания и задания. – Волгоград: ВолгГТУ, 2002. – 30 с.
- 7 Мультиметры цифровые АРРА-305. Руководство по эксплуатации. URL: http://www.prist.ru/files/multimeters/appa/manual_appa-301,303,305.pdf – Загл. с экрана (Дата обращения: 15.02.2016).
- 8 Цифровые мультиметры МУ60-64. Инструкция по эксплуатации. URL: http://micromir-nn.ru/Manual/my60_64_new_rus.pdf – Загл. с экрана (Дата обращения: 15.02.2016).
- 9 Камера для испытаний на воздействие факторов окружающей среды серии AR. Руководство пользователя/ Основные операции. URL: <http://www.espec.com/na/products/benchtops/> – Загл. с экрана (Дата обращения: 21.02.2016).
- 10 Семенов Л.А., Сирая Т.Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 128 с.
- 11 МИ 2175-91 ГСОЕИ. Градуировочные характеристики средств измерений. Методы построения. Оценивание погрешностей [Электронный

ресурс]. – URL: <http://meganorm.ru/Data2/1/4293768/4293768858.pdf> – Загл. с экрана (Дата обращения: 18.03.2016)

12 ГОСТ 8.207-76 ГСОЕИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004520> – Загл. с экрана (Дата обращения: 18.03.2016)

13 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 9 с.

14 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.

15 Свод правил: СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. – М.: Минрегион России, 2011. – 74 с.

16 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2009.

17 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартинформ, 2010. – 27 с.

18 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9051953>. – Загл. с экрана (Дата обращения: 23.04.2016).

19 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-1-010-76-ssbt>. – Загл. с экрана (Дата обращения: 23.04.2016).

20 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. [Электронный ресурс]. URL:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/. – Загл. с экрана (Дата обращения: 23.04.2016).

21 Действия ЭМП на организм человека. Сборник лекций. [Электронный ресурс]. URL: http://studopedia.net/13_166967_deystviya-emp-na-organizm-cheloveka.html. – Загл. с экрана (Дата обращения: 23.04.2016).

Приложение А

(обязательное)

Таблица А.1 – Промежуточные вычисления и результат оценок коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов для ЦВ1

$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{ В}$	i	$X_i, \text{ В}$	n_i	$\bar{y}_i, \text{ В}$	$S_i^2 \cdot 10^{-7}, \text{ В}^2$	$\omega_i, \text{ В}^{-2}$	$\omega_i X_i, \text{ В}^{-1}$	$\omega_i \bar{y}_i, \text{ В}^{-1}$	$\omega_i (X_i - \bar{X}), \text{ В}^{-1}$	$\omega_i (X_i - \bar{X})^2$	$\omega_i \bar{y}_i (X_i - \bar{X})$				
10	2	1	0,6	3	0,601	14,2333	0,2108	0,1265	0,1266	-0,2378	0,2683	-0,1429				
		2	1	3	0,999	244,9000	0,0122	0,0122	0,0122	-0,0089	0,0065	-0,0089				
		3	1,6	3	1,603	9,6333	0,3114	0,4983	0,4991	-0,0400	0,0051	-0,0640				
		4	1,98	3	1,984	2,6333	1,1392	2,2557	2,2604	0,2867	0,0722	0,5689				
		Суммы						1,6737	2,8927	2,8983		0,3521	0,3530			
	$\bar{X} = 1,7283 \text{ В}$						$\bar{y} = 1,7317 \text{ В}$						$b = 1,0026$		$a = -0,0011$	
	20	1	2	3	2,00	59,20	0,0507	0,1014	0,1011	-0,5552	6,0826	-1,1081				
		2	6	3	6,01	53,33	0,0563	0,3375	0,3379	-0,3913	2,7216	-2,3502				
		3	10	3	10,02	173,33	0,0173	0,1731	0,1734	-0,0512	0,1512	-0,5125				
		4	16	3	16,02	10,00	0,3000	4,8000	4,8072	0,9132	2,7800	14,6338				
5		19,8	3	19,83	243,33	0,0123	0,2441	0,2444	0,0844	0,5775	1,6729					
Суммы						0,4366	5,6560	5,6640		12,3130	12,3359					
$\bar{X} = 12,9559 \text{ В}$						$\bar{y} = 12,9742 \text{ В}$						$b = 1,0019$		$a = -0,0058$		
20	2	1	0,6	3	0,601	2,03	1,4754	0,8852	0,8861	-1,1560	0,9057	-0,6942				
		2	1	3	1,001	0,40	7,5000	7,5000	7,5052	-2,8762	1,1030	-2,8782				
		3	1,6	3	1,601	0,23	12,8571	20,5714	20,5826	2,7837	0,6027	4,4563				
		4	1,98	3	1,981	1,43	2,0930	4,1442	4,1453	1,2485	0,7447	2,4727				
		Суммы						23,9256	33,1009	33,1192		3,3561	3,3565			
	$\bar{X} = 1,3835 \text{ В}$						$\bar{y} = 1,3843 \text{ В}$						$b = 1,0001$		$a = 0,0006$	
	20	1	2	3	2,00	94,80	0,0316	0,0633	0,0632	-0,2814	2,5026	-0,5624				
		2	6	3	6,00	70,00	0,0429	0,2571	0,2573	-0,2097	1,0260	-1,2590				
		3	10	3	10,01	13,33	0,2250	2,2500	2,2514	-0,2009	0,1794	-2,0102				
		4	16	3	16,01	203,33	0,0148	0,2361	0,2362	0,0754	0,3848	1,2061				
5		19,8	3	19,81	43,33	0,0692	1,3708	1,3711	0,6166	5,4926	12,2129					
Суммы						0,3835	4,1773	4,1793		9,5854	9,5874					
$\bar{X} = 10,8928 \text{ В}$						$\bar{y} = 10,8981 \text{ В}$						$b = 1,0002$		$a = 0,0029$		
30	2	1	0,6	3	0,599	1,90	1,5789	0,9474	0,9456	-2,0625	2,6941	-1,2352				
		2	1	3	0,999	0,83	3,6000	3,6000	3,5954	-3,2625	2,9566	-3,2584				
		3	1,6	3	1,598	0,70	4,2857	6,8571	6,8464	-1,3125	0,4020	-2,0967				
		4	1,98	3	1,977	0,03	90,0000	178,2000	177,9060	6,6375	0,4895	13,1206				
		Суммы						99,4647	189,6045	189,2935		6,5423	6,5303			
	$\bar{X} = 1,9063 \text{ В}$						$\bar{y} = 1,9031 \text{ В}$						$b = 0,9982$		$a = 0,0004$	
	20	1	2	3	1,99	56,43	0,0532	0,1063	0,1060	-0,3748	2,6429	-0,7474				
		2	6	3	6,00	43,33	0,0692	0,4154	0,4152	-0,2112	0,6444	-1,2668				
		3	10	3	10,00	10,00	0,3000	3,0000	3,0003	0,2847	0,2702	2,8473				
		4	16	3	15,99	83,33	0,0360	0,5760	0,5758	0,2502	1,7384	4,0010				
5		19,8	3	19,79	630,00	0,0048	0,0943	0,0943	0,0512	0,5502	1,0131					
Суммы						0,4632	4,1920	4,1915		5,8461	5,8473					
$\bar{X} = 9,0510 \text{ В}$						$\bar{y} = 9,0499 \text{ В}$						$b = 1,0002$		$a = -0,0028$		
40	2	1	0,6	3	0,598	2,53	1,1842	0,7105	0,7082	-0,9085	0,6970	-0,5433				
		2	1	3	0,997	1,23	2,4324	2,4324	2,4247	-0,8931	0,3279	-0,8903				
		3	1,6	3	1,595	1,03	2,9032	4,6452	4,6314	0,6760	0,1574	1,0784				
		4	1,98	3	1,973	1,63	1,8367	3,6367	3,6239	1,1256	0,6898	2,2209				
		Суммы						8,3566	11,4249	11,3883		1,8721	1,8656			
	$\bar{X} = 1,3672 \text{ В}$						$\bar{y} = 1,3628 \text{ В}$						$b = 0,9966$		$a = 0,0003$	
	20	1	2	3	1,99	38,63	0,0777	0,1553	0,1546	-0,5410	3,7684	-1,0767				
		2	6	3	5,99	10,00	0,3000	1,8000	1,7964	-0,8899	2,6396	-5,3285				
		3	10	3	9,98	3,33	0,9000	9,0000	8,9844	0,9304	0,9618	9,2877				
		4	16	3	15,97	70,00	0,0429	0,6857	0,6845	0,3014	2,1203	4,8147				
5		19,8	3	19,76	163,33	0,0184	0,3637	0,3629	0,1990	2,1558	3,9317					
Суммы						1,3389	12,0047	11,9828		11,6458	11,6289					
$\bar{X} = 8,9662 \text{ В}$						$\bar{y} = 8,9499 \text{ В}$						$b = 0,9985$		$a = -0,0033$		

Таблица А.2 – Промежуточные вычисления и результат оценок коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов для ЦВ2

$t, ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{В}$	i	$X_i, \text{В}$	n_i	$\bar{y}_i, \text{В}$	$S_i^2 \cdot 10^{-7}, \text{В}^2$	$\omega_i, \text{В}^{-2}$	$\omega_i X_i, \text{В}^{-1}$	$\omega_i \bar{y}_i, \text{В}^{-1}$	$\frac{\omega_i (X_i - \bar{X})}{\bar{X}}, \text{В}^{-1}$	$\frac{\omega_i}{(X_i - \bar{X})^2}$	$\frac{\omega_i \bar{y}_i}{(X_i - \bar{X})}$
10	2	1	0,6	3	0,598	13,23	0,2267	0,1360	0,1357	-0,1235	0,0673	-0,0739
		2	1	3	0,998	0,23	12,8571	12,8571	12,8267	-1,8604	0,2692	-1,8560
		3	1,6	3	1,596	24,30	0,1235	0,1975	0,1971	0,0562	0,0256	0,0897
		4	1,98	3	1,976	1,30	2,3077	4,5692	4,5595	1,9276	1,6102	3,8086
		Суммы						15,5150	17,7599	17,7190		1,9722
	$\bar{X} = 1,1447 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,1421 \text{ В}$				$b = 0,9981$		$a = -0,0005$			
	20	1	2	3	1,99	762,53	0,0039	0,0079	0,0078	-0,0300	0,2283	-0,0596
		2	6	3	5,99	70,00	0,0429	0,2571	0,2565	-0,1551	0,5610	-0,9280
		3	10	3	9,97	23,33	0,1286	1,2857	1,2822	0,0491	0,0188	0,4898
		4	16	3	15,95	1843,33	0,0016	0,0260	0,0260	0,0104	0,0663	0,1656
5		19,8	3	19,74	243,33	0,0123	0,2441	0,2433	0,1255	1,2782	2,4775	
Суммы						0,1893	1,8209	1,8158		2,1525	2,1453	
$\bar{X} = 9,6180 \text{ В}$		$\bar{y} = 9,5912 \text{ В}$				$b = 0,9967$		$a = 0,0053$				
20	2	1	0,6	3	0,599	2,03	1,4754	0,8852	0,8831	-1,3025	1,1499	-0,7796
		2	1	3	0,998	1,23	2,4324	2,4324	2,4264	-1,1744	0,5670	-1,1715
		3	1,6	3	1,596	0,40	7,5000	12,0000	11,9678	0,8789	0,1030	1,4024
		4	1,98	3	1,975	0,93	3,2143	6,3643	6,3467	1,5981	0,7945	3,1555
		Суммы						14,6221	21,6820	21,6240		2,6144
	$\bar{X} = 1,4828 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,4789 \text{ В}$				$b = 0,9970$		$a = 0,0004$			
	20	1	2	3	1,99	168,13	0,0178	0,0357	0,0355	-0,2202	2,7184	-0,4387
		2	6	3	5,98	53,33	0,0563	0,3375	0,3364	-0,4693	3,9153	-2,8067
		3	10	3	9,97	13,33	0,2250	2,2500	2,2424	-0,9772	4,2439	-9,7388
		4	16	3	15,94	3,33	0,9000	14,4000	14,3472	1,4913	2,4711	23,7733
5		19,8	3	19,72	93,33	0,0321	0,6364	0,6340	0,1754	0,9572	3,4596	
Суммы						1,2312	17,6596	17,5956		14,3058	14,2487	
$\bar{X} = 14,3430 \text{ В}$		$\bar{y} = 14,2910 \text{ В}$				$b = 0,9960$		$a = 0,0053$				
30	2	1	0,6	3	0,599	5,73	0,5233	0,3140	0,3132	-0,4839	0,4476	-0,2897
		2	1	3	0,998	0,83	3,6000	3,6000	3,5918	-1,8895	0,9917	-1,8852
		3	1,6	3	1,596	0,53	5,6250	9,0000	8,9794	0,4227	0,0318	0,6748
		4	1,98	3	1,975	0,70	4,2857	8,4857	8,4639	1,9507	0,8878	3,8523
		Суммы						14,0340	21,3997	21,3483		2,3589
	$\bar{X} = 1,5248 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,5212 \text{ В}$				$b = 0,9972$		$a = 0,0006$			
	20	1	2	3	1,99	61,43	0,0488	0,0977	0,0973	-0,3610	2,6681	-0,7191
		2	6	3	5,99	93,33	0,0321	0,1929	0,1924	-0,1090	0,3697	-0,6525
		3	10	3	9,97	10,00	0,3000	3,0000	2,9913	0,1825	0,1110	1,8198
		4	16	3	15,95	83,33	0,0360	0,5760	0,5743	0,2379	1,5721	3,7953
5		19,8	3	19,74	630,00	0,0048	0,0943	0,0940	0,0496	0,5159	0,9785	
Суммы						0,4217	3,9608	3,9493		5,2369	5,2220	
$\bar{X} = 9,3916 \text{ В}$		$\bar{y} = 9,3644 \text{ В}$				$b = 0,9972$		$a = -0,0007$				
40	2	1	0,6	3	0,598	0,70	4,2857	2,5714	2,5624	-4,0581	3,8426	-2,4264
		2	1	3	0,997	1,23	2,4324	2,4324	2,4247	-1,3303	0,7275	-1,3261
		3	1,6	3	1,595	0,03	90,0000	144,0000	143,5440	4,7794	0,2538	7,6228
		4	1,98	3	1,974	2,13	1,4062	2,7844	2,7753	0,6091	0,2638	1,2020
		Суммы						98,1244	151,7882	151,3064		5,0877
	$\bar{X} = 1,5469 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,5420 \text{ В}$				$b = 0,9970$		$a = -0,0002$			
	20	1	2	3	1,99	160,30	0,0187	0,0374	0,0373	-0,1468	1,1516	-0,2927
		2	6	3	5,98	43,33	0,0692	0,4154	0,4141	-0,2662	1,0232	-1,5920
		3	10	3	9,97	103,33	0,0290	0,2903	0,2894	0,0045	0,0007	0,0450
		4	16	3	15,95	103,33	0,0290	0,4645	0,4631	0,1787	1,1000	2,8505
5		19,8	3	19,73	130,00	0,0231	0,4569	0,4554	0,2297	2,2872	4,5333	
Суммы						0,1691	1,6646	1,6593		5,5628	5,5441	
$\bar{X} = 9,8445 \text{ В}$		$\bar{y} = 9,8131 \text{ В}$				$b = 0,9966$		$a = 0,0018$				

Таблица А.3 – Промежуточные вычисления и результат оценок коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов для ЦВЗ

$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{ В}$	i	$X_i, \text{ В}$	n_i	$\bar{y}_i, \text{ В}$	$S_i^2 \cdot 10^{-7}, \text{ В}^2$	$\omega_i, \text{ В}^{-2}$	$\omega_i X_i, \text{ В}^{-1}$	$\omega_i \bar{y}_i, \text{ В}^{-1}$	$\frac{\omega_i (X_i - \bar{X})}{\bar{X}}, \text{ В}^{-1}$	$\frac{\omega_i}{(X_i - \bar{X})^2}$	$\frac{\omega_i \bar{y}_i}{(X_i - \bar{X})}$
10	2	1	0,6	3	0,601	3,90	0,7692	0,4615	0,4624	-0,3756	0,1834	-0,2258
		2	1	3	1,002	1,23	2,4324	2,4324	2,4384	-0,2147	0,0190	-0,2152
		3	1,6	3	1,603	13,30	0,2256	0,3609	0,3615	0,1154	0,0591	0,1850
		4	1,98	3	1,984	5,63	0,5325	1,0544	1,0568	0,4749	0,4235	0,9424
		Суммы						3,9598	4,3093	4,3191		0,6849
	$\bar{X} = 1,0883 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,0908 \text{ В}$		$b = 1,0022$		$a = 0,0001$					
	20	1	2	3	2,00	89,20	0,0336	0,0673	0,0673	-0,2981	2,6421	-0,5965
		2	6	3	6,01	253,33	0,0118	0,0711	0,0712	-0,0576	0,2801	-0,3463
		3	10	3	10,02	523,33	0,0057	0,0573	0,0574	-0,0049	0,0043	-0,0496
		4	16	3	16,03	210,00	0,0143	0,2286	0,2290	0,0734	0,3769	1,1762
5		19,8	3	19,83	93,33	0,0321	0,6364	0,6374	0,2873	2,5671	5,6966	
Суммы						0,0976	1,0606	1,0624		5,8705	5,8805	
$\bar{X} = 10,8633 \text{ В}$		$\bar{y} = 10,8809 \text{ В}$		$b = 1,0017$		$a = -0,0009$						
20	2	1	0,6	3	0,601	2,03	1,4754	0,8852	0,8861	-1,9141	2,4832	-1,1495
		2	1	3	1,001	8,23	0,3644	0,3644	0,3647	-0,3270	0,2934	-0,3272
		3	1,6	3	1,600	3,73	0,8036	1,2857	1,2860	-0,2389	0,0710	-0,3824
		4	1,98	3	1,980	0,10	30,0000	59,4000	59,3910	2,4800	0,2050	4,9096
		Суммы						32,6434	61,9353	61,9278		3,0527
	$\bar{X} = 1,8973 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,8971 \text{ В}$		$b = 0,9993$		$a = 0,0011$					
	20	1	2	3	2,00	168,13	0,0178	0,0357	0,0357	-0,0882	0,4356	-0,1765
		2	6	3	6,00	3,33	0,9000	5,4000	5,3976	-0,8471	0,7972	-5,0801
		3	10	3	9,99	30,00	0,1000	1,0000	0,9993	0,3059	0,9356	3,0567
		4	16	3	15,98	70,00	0,0429	0,6857	0,6850	0,3882	3,5170	6,2052
5		19,8	3	19,78	160,00	0,0187	0,3712	0,3708	0,2411	3,1003	4,7683	
Суммы						1,0795	7,4927	7,4884		8,7858	8,7736	
$\bar{X} = 6,9412 \text{ В}$		$\bar{y} = 6,9373 \text{ В}$		$b = 0,9986$		$a = 0,0057$						
30	2	1	0,6	3	0,600	0,23	12,8571	7,7143	7,7087	-6,0806	2,8757	-3,6457
		2	1	3	0,999	3,33	0,9000	0,9000	0,8987	-0,0656	0,0048	-0,0655
		3	1,6	3	1,598	0,70	4,2857	6,8571	6,8486	2,2588	1,1906	3,6096
		4	1,98	3	1,977	0,70	4,2857	8,4857	8,4746	3,8874	3,5261	7,6870
		Суммы						22,3286	23,9571	23,9306		7,5972
	$\bar{X} = 1,0729 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,0717 \text{ В}$		$b = 0,9984$		$a = 0,0005$					
	20	1	2	3	2,00	81,43	0,0368	0,0737	0,0736	-0,1577	0,6749	-0,3149
		2	6	3	5,99	10,00	0,3000	1,8000	1,7967	-0,0841	0,0236	-0,5036
		3	10	3	9,98	210,00	0,0143	0,1429	0,1425	0,0531	0,1977	0,5301
		4	16	3	15,96	250,00	0,0120	0,1920	0,1915	0,1166	1,1337	1,8609
5		19,8	3	19,74	563,33	0,0053	0,1054	0,1051	0,0720	0,9734	1,4216	
Суммы						0,3685	2,3140	2,3094		3,0032	2,9941	
$\bar{X} = 6,2803 \text{ В}$		$\bar{y} = 6,2679 \text{ В}$		$b = 0,9970$		$a = 0,0067$						
40	2	1	0,6	3	0,598	3,03	0,9890	0,5934	0,5917	-1,0323	1,0774	-0,6175
		2	1	3	0,998	3,73	0,8036	0,8036	0,8017	-0,5173	0,3330	-0,5161
		3	1,6	3	1,596	3,03	0,9890	1,5824	1,5784	-0,0433	0,0019	-0,0690
		4	1,98	3	1,975	0,63	4,7368	9,3789	9,3554	1,5928	0,5356	3,1459
		Суммы						7,5184	12,3583	12,3272		1,9479
	$\bar{X} = 1,6437 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,6396 \text{ В}$		$b = 0,9976$		$a = -0,0002$					
	20	1	2	3	1,99	38,63	0,0777	0,1553	0,1546	-0,9886	12,5861	-1,9678
		2	6	3	5,98	143,33	0,0209	0,1256	0,1251	-0,1827	1,5956	-1,0921
		3	10	3	9,96	603,33	0,0050	0,0497	0,0495	-0,0235	0,1113	-0,2343
		4	16	3	15,93	70,00	0,0429	0,6857	0,6826	0,0544	0,0690	0,8661
5		19,8	3	19,70	13,33	0,2250	4,4550	4,4333	1,1405	5,7811	22,4720	
Суммы						0,3714	5,4713	5,4451		20,1430	20,0439	
$\bar{X} = 14,7311 \text{ В}$		$\bar{y} = 14,6605 \text{ В}$		$b = 0,9951$		$a = 0,0018$						

Таблица А.4 – Промежуточные вычисления и результат оценок коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов для ЦВ4

$t, \text{ } ^\circ\text{C}$	$X_N, \text{ В}$	i	$X_i, \text{ В}$	n_i	$\bar{y}_i, \text{ В}$	$S_i^2 \cdot 10^{-7}, \text{ В}^2$	$\omega_i, \text{ В}^{-2}$	$\omega_i X_i, \text{ В}^{-1}$	$\omega_i \bar{y}_i, \text{ В}^{-1}$	$\frac{\omega_i (X_i - \bar{X})}{\bar{X}}, \text{ В}^{-1}$	$\frac{\omega_i}{(X_i - \bar{X})^2}$	$\frac{\omega_i \bar{y}_i}{(X_i - \bar{X})}$	
10	2	1	0,6	3	0,601	10,90	0,2752	0,1651	0,1654	-0,2210	0,1774	-0,1328	
		2	1	3	1,002	10,23	0,2932	0,2932	0,2937	-0,1181	0,0476	-0,1183	
		3	1,6	3	1,604	18,63	0,1610	0,2576	0,2582	0,0317	0,0063	0,0509	
		4	1,98	3	1,985	5,63	0,5325	1,0544	1,0573	0,3073	0,1774	0,6102	
		Суммы							1,2619	1,7703	1,7748		0,4086
	$\bar{X} = 1,4029 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,4064 \text{ В}$		$b = 1,0032$		$a = -0,0011$						
	20	1	2	3	2,00	89,20	0,0336	0,0673	0,0673	-0,5165	7,9317	-1,0334	
		2	6	3	6,02	203,33	0,0148	0,0885	0,0888	-0,1676	1,9030	-1,0084	
		3	10	3	10,03	523,33	0,0057	0,0573	0,0575	-0,0422	0,3103	-0,4230	
		4	16	3	16,04	610,00	0,0049	0,0787	0,0789	-0,0067	0,0091	-0,1070	
5		19,8	3	19,85	10,00	0,3000	5,9400	5,9559	0,7329	1,7905	14,5503		
Суммы							0,3590	6,2318	6,2484		11,9446	11,9784	
$\bar{X} = 17,3570 \text{ В}$		$\bar{y} = 17,4031 \text{ В}$		$b = 1,0028$		$a = -0,0030$							
20	2	1	0,6	3	0,602	2,03	1,4754	0,8852	0,8876	-1,2108	0,9937	-0,7284	
		2	1	3	1,003	1,23	2,4324	2,4324	2,4386	-1,0232	0,4304	-1,0258	
		3	1,6	3	1,604	1,23	2,4324	3,8919	3,9005	0,4362	0,0782	0,6995	
		4	1,98	3	1,984	0,93	3,2143	6,3643	6,3756	1,7979	1,0056	3,5661	
		Суммы							9,5546	13,5739	13,6023		2,5080
	$\bar{X} = 1,4207 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,4236 \text{ В}$		$b = 1,0014$		$a = 0,0010$						
	20	1	2	3	2,01	494,80	0,0061	0,0121	0,0122	-0,0870	1,2476	-0,1747	
		2	6	3	6,02	103,33	0,0290	0,1742	0,1746	-0,3003	3,1069	-1,8067	
		3	10	3	10,02	30,00	0,1000	1,0000	1,0023	-0,6345	4,0256	-6,3594	
		4	16	3	16,03	70,00	0,0429	0,6857	0,6869	-0,0148	0,0051	-0,2368	
5		19,8	3	19,83	10,00	0,3000	5,9400	5,9496	1,0366	3,5815	20,5571		
Суммы							0,4780	7,8120	7,8256		11,9668	11,9795	
$\bar{X} = 16,3448 \text{ В}$		$\bar{y} = 16,3733 \text{ В}$		$b = 1,0011$		$a = 0,0111$							
30	2	1	0,6	3	0,601	0,40	7,5000	4,5000	4,5105	-4,4379	2,6260	-2,6690	
		2	1	3	1,002	0,83	3,6000	3,6000	3,6074	-0,6902	0,1323	-0,6916	
		3	1,6	3	1,604	0,70	4,2857	6,8571	6,8721	1,7498	0,7144	2,8058	
		4	1,98	3	1,984	0,70	4,2857	8,4857	8,5046	3,3783	2,6631	6,7040	
		Суммы							19,6714	23,4429	23,4947		6,1358
	$\bar{X} = 1,1917 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,1944 \text{ В}$		$b = 1,0022$		$a = 0$						
	20	1	2	3	2,00	61,43	0,0488	0,0977	0,0978	-0,4076	3,4021	-0,8161	
		2	6	3	6,02	93,33	0,0321	0,1929	0,1934	-0,1397	0,6073	-0,8405	
		3	10	3	10,02	10,00	0,3000	3,0000	3,0063	-0,1040	0,0361	-1,0422	
		4	16	3	16,03	83,33	0,0360	0,5760	0,5772	0,2035	1,1506	3,2631	
5		19,8	3	19,84	63,33	0,0474	0,9379	0,9398	0,4478	4,2331	8,8840		
Суммы							0,4643	4,8044	4,8144		9,4291	9,4484	
$\bar{X} = 10,3467 \text{ В}$		$\bar{y} = 10,3682 \text{ В}$		$b = 1,0020$		$a = 0,0003$							
40	2	1	0,6	3	0,601	1,03	2,9032	1,7419	1,7441	-3,4264	4,0439	-2,0584	
		2	1	3	1,002	7,90	0,3797	0,3797	0,3803	-0,2963	0,2312	-0,2967	
		3	1,6	3	1,603	0,70	4,2857	6,8571	6,8704	-0,7724	0,1392	-1,2382	
		4	1,98	3	1,984	0,13	22,5000	44,5500	44,6370	4,4951	0,8980	8,9177	
		Суммы							30,0687	53,5288	53,6318		5,3123
	$\bar{X} = 1,7802 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,7836 \text{ В}$		$b = 1,0023$		$a = -0,0006$						
	20	1	2	3	2,00	38,63	0,0777	0,1553	0,1553	-0,3995	2,0554	-0,7992	
		2	6	3	6,01	10,00	0,3000	1,8000	1,8039	-0,3434	0,3931	-2,0650	
		3	10	3	10,02	120,00	0,0250	0,2500	0,2505	0,0714	0,2038	0,7153	
		4	16	3	16,04	70,00	0,0429	0,6857	0,6873	0,3795	3,3607	6,0862	
5		19,8	3	19,84	130,00	0,0231	0,4569	0,4579	0,2920	3,6959	5,7947		
Суммы							0,4686	3,3479	3,3550		9,7089	9,7320	
$\bar{X} = 7,1448 \text{ В}$		$\bar{y} = 7,1597 \text{ В}$		$b = 1,0024$		$a = -0,0021$							

Таблица А.5 – Промежуточные вычисления и результат оценок коэффициентов a и b по методу наименьших квадратов для ЦВ5

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$X_N, \text{ В}$	i	$X_i, \text{ В}$	n_i	$\bar{y}_i, \text{ В}$	$S_i^2 \cdot 10^{-7}, \text{ В}^2$	$\omega_i, \text{ В}^{-2}$	$\omega_i X_i, \text{ В}^{-1}$	$\omega_i \bar{y}_i, \text{ В}^{-1}$	$\frac{\omega_i (X_i - \bar{X})}{\bar{X}}, \text{ В}^{-1}$	$\frac{\omega_i}{(X_i - \bar{X})^2}$	$\frac{\omega_i \bar{y}_i}{(X_i - \bar{X})}$
10	2	1	0,6	3	0,598	3,90	0,7692	0,4615	0,4601	-0,4274	0,2375	-0,2556
		2	1	3	0,997	10,23	0,2932	0,2932	0,2923	-0,0456	0,0071	-0,0455
		3	1,6	3	1,596	13,30	0,2256	0,3609	0,3599	0,1002	0,0445	0,1599
		4	1,98	3	1,976	6,63	0,4523	0,8955	0,8935	0,3728	0,3073	0,7366
		Суммы						1,7402	2,0111	2,0058		0,5965
	$\bar{X} = 1,1556 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,1526 \text{ В}$				$b = 0,9981$		$a = -0,0009$			
	20	1	2	3	1,99	89,20	0,0336	0,0673	0,0670	-0,1414	0,5943	-0,2815
		2	6	3	5,99	70,00	0,0429	0,2571	0,2565	-0,0087	0,0018	-0,0522
		3	10	3	9,98	190,00	0,0158	0,1579	0,1575	0,0599	0,2276	0,5980
		4	16	3	15,96	443,33	0,0068	0,1083	0,1080	0,0663	0,6494	1,0578
5		19,8	3	19,74	1710,00	0,0018	0,0347	0,0346	0,0239	0,3243	0,4708	
Суммы						0,1008	0,6253	0,6236		1,7974	1,7930	
$\bar{X} = 6,2035 \text{ В}$		$\bar{y} = 6,1863 \text{ В}$				$b = 0,9976$		$a = -0,0022$				
20	2	1	0,6	3	0,599	0,70	4,2857	2,5714	2,5667	-3,3240	2,5780	-1,9907
		2	1	3	0,998	3,73	0,8036	0,8036	0,8023	-0,3018	0,1134	-0,3013
		3	1,6	3	1,597	0,40	7,5000	12,0000	11,9753	1,6831	0,3777	2,6873
		4	1,98	3	1,976	0,93	3,2143	6,3643	6,3499	1,9427	1,1742	3,8379
		Суммы						15,8036	21,7393	21,6942		4,2433
	$\bar{X} = 1,3756 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,7327 \text{ В}$				$b = 0,9976$		$a = 0,0004$			
	20	1	2	3	1,99	454,80	0,0066	0,0132	0,0132	-0,0575	0,5007	-0,1146
		2	6	3	5,99	103,33	0,0290	0,1742	0,1738	-0,1368	0,6448	-0,8189
		3	10	3	9,97	30,00	0,1000	1,0000	0,9973	-0,0713	0,0508	-0,7106
		4	16	3	15,96	103,33	0,0290	0,4645	0,4633	0,1535	0,8117	2,4499
5		19,8	3	19,75	243,33	0,0123	0,2441	0,2434	0,1120	1,0181	2,2122	
Суммы						0,1770	1,8960	1,8910		3,0260	3,0180	
$\bar{X} = 10,7126 \text{ В}$		$\bar{y} = 10,6843 \text{ В}$				$b = 0,9973$		$a = 0,0003$				
30	2	1	0,6	3	0,599	0,23	12,8571	7,7143	7,6980	-4,6737	1,6989	-2,7983
		2	1	3	0,998	0,83	3,6000	3,6000	3,5930	0,1314	0,0048	0,1311
		3	1,6	3	1,597	1,20	2,5000	4,0000	3,9925	1,5912	1,0128	2,5412
		4	1,98	3	1,976	1,03	2,9032	5,7484	5,7355	2,9511	2,9998	5,8301
		Суммы						21,8604	21,0627	21,0191		5,7163
	$\bar{X} = 0,9635 \text{ В}$		$\bar{y} = 0,9615 \text{ В}$				$b = 0,9979$		$a = 0,0001$			
	20	1	2	3	1,99	61,43	0,0488	0,0977	0,0973	-0,3906	3,1235	-0,7780
		2	6	3	5,99	93,33	0,0321	0,1929	0,1924	-0,1285	0,5137	-0,7691
		3	10	3	9,98	10,00	0,3000	3,0000	2,9943	0,0007	0,0000	0,0070
		4	16	3	15,96	333,33	0,0090	0,1440	0,1437	0,0540	0,3243	0,8623
5		19,8	3	19,75	63,33	0,0474	0,9379	0,9355	0,4643	4,5514	9,1702	
Суммы						0,4373	4,3724	4,3631		8,5129	8,4923	
$\bar{X} = 9,9976 \text{ В}$		$\bar{y} = 9,9764 \text{ В}$				$b = 0,9976$		$a = 0,0029$				
40	2	1	0,6	3	0,599	1,03	2,9032	1,7419	1,7383	-1,8136	1,1329	-1,0859
		2	1	3	0,999	7,90	0,3797	0,3797	0,3792	-0,0853	0,0192	-0,0852
		3	1,6	3	1,598	1,03	2,9032	4,6452	4,6387	1,0896	0,4090	1,7410
		4	1,98	3	1,977	2,80	1,0714	2,1214	2,1184	0,8093	0,6113	1,6001
		Суммы						7,2576	8,8883	8,8745		2,1723
	$\bar{X} = 1,2247 \text{ В}$		$\bar{y} = 1,2228 \text{ В}$				$b = 0,9990$		$a = -0,0006$			
	20	1	2	3	1,99	233,63	0,0128	0,0257	0,0256	-0,1097	0,9372	-0,2185
		2	6	3	5,99	43,33	0,0692	0,4154	0,4148	-0,3145	1,4289	-1,8844
		3	10	3	9,99	70,00	0,0429	0,4286	0,4280	-0,0233	0,0126	-0,2324
		4	16	3	15,98	70,00	0,0429	0,6857	0,6847	0,2339	1,2762	3,7365
5		19,8	3	19,76	130,00	0,0231	0,4569	0,4560	0,2136	1,9775	4,2216	
Суммы						0,1909	2,0123	2,0091		5,6324	5,6228	
$\bar{X} = 10,5431 \text{ В}$		$\bar{y} = 10,5265 \text{ В}$				$b = 0,9983$		$a = 0,0014$				