

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Методы мультипликативной коррекции систематической погрешности цифровых средств измерений

УДК 621.317.7.083.92.088.7

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Босова Ирина Сергеевна		

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ВКР	Муравьев Сергей Васильевич	д.т.н., профессор		
Руководитель ООП	Заревич Антон Иванович	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Авдеева Ирина Ивановна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ОАР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

**Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01
«Стандартизация и метрология»**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
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 EURACE и FEANI
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 EURACE и FEANI
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 EURACE и FEANI
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 EURACE и FEANI
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 EURACE и FEANI
Универсальные компетенции		
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 EURACE и FEANI
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 EURACE и FEANI
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями

	документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	международных стандартов EURACE и FEANI
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
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 EURACE и FEANI
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 EURACE и FEANI

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки (специальность) – Стандартизация и метрология
 Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ А.И. Заревич
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Босовой Ирине Сергеевне

Тема работы:

Методы мультипликативной коррекции систематической погрешности цифровых средств измерений

Утверждена приказом директора (дата, номер)

2585/с от 13.04.2018 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.06.2018 г.

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.).

Наименование объекта исследования: мультипликативный метод коррекции систематической погрешности цифровых средств измерений.
 Аналитический обзор литературных источников, с целью выявления методов повышения точности средств измерений.
 Анализ результатов применения метода мультипликативной коррекции систематической погрешности цифровых средств измерений.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(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).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1 Методы повышения точности измерений <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Классификация методов повышения точности средств измерений 1.2 Способы исключения систематических погрешностей 2 Метод обратного преобразования для коррекции систематической погрешности <ol style="list-style-type: none"> 2.1 Повышение точности измерения с помощью метода обратного преобразования 2.2 Экспериментальная проверка метода обратного преобразования 3 Создание модели метода обратного преобразования 4 Исследование характеристик модели метода обратного преобразования 5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6 Социальная ответственность
--	---

<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></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	Шаповалова Наталья Владимировна
Социальная ответственность	Авдеева Ирина Ивановна
Раздел, выполненный на английском языке	Кузнецова Ирина Николаевна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:
2 Метод обратного преобразования для коррекции систематической погрешности

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	7.02.2018
--	-----------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Босова Ирина Сергеевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Босовой Ирине Сергеевне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	24.07.01 Стандартизация и метрология

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Оклады участников проекта, нормы рабочего времени, районный коэффициент по г. Томску
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	– потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений.
2. Разработка устава научно-технического проекта	– цели и результаты исследования; – участники исследования.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ; – составление графика проведения научного исследования; – определение бюджет научно - технического исследования.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	– оценка эффективности проекта; – оценка научно-технического уровня НИР.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Потенциальные потребители результатов исследования	
2. График проведения исследования.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	1.03.2018
---	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ШИП	Шаповалова Наталья Владимировна			1.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Босова Ирина Сергеевна		1.03.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ61	Босовой Ирине Сергеевне

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 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 методы повышения точности измерений, а точнее метод обратного преобразования и его программная реализация. Данный метод применяется в области контроля физических величин. Метод реализуется с помощью программного пакета LabView, поэтому особое внимание необходимо уделить организации рабочего места.

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:

- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- недостаток естественного освещения;
- повышенная напряженность электромагнитного поля;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- монотонность;
- напряженность зрения.

Среди опасных факторов были выявлены следующие факторы:

- электрический ток;
- короткое замыкание.

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 проведен анализ негативного воздействия на литосферу, возникающего при утилизации неисправного оборудования (сломанные средства измерения и электрические приборы, лампы и т.д.)

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.

Организация работ должна проводиться в соответствии с требованиями НТД:

- ГОСТ 12.1.003;
- ГОСТ 12.1.005;
- ГОСТ 12.1.006;
- ГОСТ 12.1.030;
- ГОСТ 12.1.038;
- ГОСТ 12.1.045;
- ГОСТ 12.2.003;
- ГОСТ 12.2.061;
- СП 60.13330.2012;
- СП 51.13330.2011;
- СП 52.13330.2016;
- СанПиН 2.2.4.548;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03;
- ФЗ от 22.07.2013 г. №123-ФЗ;
- ПНД Ф 12.13.1-03;

	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 12.1.004; - ГОСТ 12.1.010; - ГОСТ Р 22.0.01; - ГОСТ 12.2.032.
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	1.03.2018
---	------------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОКД ИШНКБ	Авдеева Ирина Ивановна			1.03.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМб1	Босова Ирина Сергеевна		1.03.2018

Министерство образования и науки Российской Федерации



федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа информационных систем и робототехники

Направление подготовки (специальность) – Стандартизация и метрология

Уровень образования - Магистратура

Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	19.06.2018
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.02.2018	Методы повышения точности измерений	
17.02.2018	Метод обратного преобразования для коррекции погрешности	
16.03.2018	Создание модели метода обратного преобразования	
17.04.2018	Исследование характеристик модели метода обратного преобразования	
02.05.2018	Социальная ответственность	
11.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
20.05.2018	Оформление графического материала	
25.05.2018	Оформление расчетно-пояснительной записки	

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Заревич Антон Иванович	к.т.н., доцент		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 84 страницы, 39 рисунков, 23 таблицы, 15 формул, 16 источников.

Ключевые слова: мультипликативная коррекция, систематическая погрешность, мультипликативная погрешность, цифровые средства измерения, метод обратного преобразования.

Объектом исследования является компьютерная модель одного из методов повышения точности средств измерений – модель мультипликативного метода обратного преобразования.

Цель работы – создание модели мультипликативного метода повышения точности цифровых средств измерений (СИ), обеспечивающего уменьшение систематической погрешности и исследование ее характеристик.

Для достижения данной цели должны быть решены следующие задачи:

- изучение и анализ существующих методов коррекции результатов измерений;
- анализ мультипликативного метода обратного преобразования;
- выявление условий работоспособности метода и выбор параметров коррекции;
- создание модели метода обратного преобразования;
- исследование характеристик модели метода обратного преобразования.

В процессе исследования проводились: теоретическое ознакомление с методом обратного преобразования, и с альтернативными методами, практическая реализация метода обратного преобразования.

В результате работы были определены оптимальные условия работоспособности метода и подходящие параметры коррекции.

Область применения: модифицированный метод обратного преобразования рекомендуется к применению в области высокоточных измерений.

Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

точность измерений: Близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины.

систематическая погрешность (измерения): Составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

средство измерений: Техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

относительная погрешность (измерения): Погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой величины.

прямое измерение: Измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Нормативные ссылки

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1 РМГ 64-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.

2 Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

3 Свод правил: СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение.

4 Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

5 Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.

6 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

7 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.

8 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

9 ГОСТ 12.2.032 -78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

Оглавление

	С.
Введение	15
1 Методы повышения точности средств измерений	16
1.1 Классификация методов повышения точности средств измерений	16
1.2 Способы исключения систематических погрешностей	20
2 Метод обратного преобразования для коррекции систематической погрешности	22
2.1 Мультипликативный метод обратного преобразования	22
2.2 Экспериментальная проверка метода обратного преобразования	25
3 Создание модели метода обратного преобразования	31
4 Исследование характеристик модели метода обратного преобразования	37
4.1 Результаты исследований при отсутствии аддитивной составляющей погрешности	37
4.2 Результаты исследований при отсутствии мультипликативной составляющей погрешности	39
4.3 Результаты исследований при превышении мультипликативной составляющей в два раза	40
4.4 Результаты исследований при превышении аддитивной составляющей в два раза	41
4.5 Результаты исследований при равенстве мультипликативной и аддитивной составляющих	42
4.6 Введение нелинейности в функцию преобразования	43
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	47
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	47
5.2 Анализ конкурентных технических решений	48
5.3 Структура работ в рамках научного исследования	50
5.4 Определение трудоемкости выполнения работ	51
5.5 Составление графика проведения научного исследования	51
5.6 Определение бюджета научно-технического исследования	53
5.6.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	54
5.6.2 Расчет заработной платы исполнителей исследования	55
5.6.3 Расчет затрат на электроэнергию	57

5.6.4 Расчет накладных расходов	58
5.6.5 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	59
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	59
6 Социальная ответственность	61
6.1 Профессиональная социальная безопасность	62
6.1.1 Опасные и вредные факторы	62
6.1.2 Отклонение показателей микроклимата	62
6.1.3 Недостаточная освещённость рабочей зоны	63
6.1.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений	65
6.1.5 Психофизиологические факторы	66
6.1.6 Электробезопасность	67
6.2 Экологическая безопасность	68
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований	69
6.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	70
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
6.4.1 Эргономические требования к рабочему месту	71
6.4.2 Режим труда и отдыха	72
Выводы по разделу «Социальная ответственность»	72
Заключение	74
Список использованных источников	75
Приложение А The inverse conversion method for correcting the systematic error	77

Введение

Точность измерений – это характеристика качества измерений, отражающая близость результатов измерений к истинному значению измеряемой величины. Минимизация систематической погрешности средств измерений является необходимым этапом любой практической измерительной процедуры. В работе рассматривается мультипликативный метод обратного преобразования, имеющий существенный недостаток, который заключается в ограниченной работоспособности метода.

Актуальность работы заключается в совершенствовании мультипликативного метода коррекции систематической погрешности и нахождении оптимальных условий работоспособности метода.

Целью данной работы является совершенствование мультипликативного метода повышения точности цифровых средств измерений (СИ), обеспечивающего уменьшение систематической погрешности. Для достижения этих целей необходимо решить ряд задач:

- изучение и анализ существующих методов коррекции результатов измерений;
- анализ предыдущих исследований мультипликативного метода повышения точности цифровых СИ
- создание модели метода обратного преобразования;
- исследование характеристик модели и определение условия работоспособности метода.

Практическая значимость исследования заключается в определении условия работоспособности метода, позволяющее оценивать применимость метода мультипликативной коррекции в тех или иных условиях.

Научная новизна исследования заключается в способе реализации метода мультипликативной коррекции с помощью среды программирования.

1 Методы повышения точности средств измерений

1.1 Классификация методов повышения точности средств измерений

Использование высокоточных средств измерений является одним из наиболее действенных способов повышения точности измерений.

Согласно РМГ 64 существуют различные методы повышения точности средств измерений [1]. Данные способы и методы представлены на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Методы и способы повышения точности измерений

Замена менее точного средства измерений на более точное целесообразна при доминировании инструментальной погрешности. В информационно-измерительных системах (ИИС) замену имеющихся средств измерений на более точные осуществляют в том случае, если данные средства измерения имеют доминирующие погрешности, при расчете суммарной погрешности канала или ИИС. В случае, если основная погрешность доминирует, то такая замена дает существенный эффект.

Данный способ повышения точности измерений является труднодоступным, в виду ограниченной возможности выбора более точных средств измерений. Зачастую ограничения связаны с условиями эксплуатации

средств измерений. Кроме того, данный способ является затратным, ввиду увеличения стоимости средств, зависящей от точности средств измерений.

Уменьшить относительную погрешность можно выбором таких средств измерений, для которых нормированы приведенные погрешности с таким верхним пределом измерений, чтобы ожидаемые значения измеряемой величины (показания) находились в последней трети диапазона измерений.

Ограничивать условия применения средств измерений целесообразно, если доминируют дополнительные погрешности средств измерений, вызванные существенными отклонениями действительных значений внешних влияющих величин от их значений, принятых в соответствующих нормативных документах в качестве нормальных (далее - нормальные значения). Также, путем ограничения условий измерений могут быть уменьшены некоторые методические составляющие погрешности измерений.

Индивидуальная градуировка средств измерений эффективна при доминировании систематической составляющей погрешности. Такую погрешность можно уменьшить за счет введения поправок в результаты измерений. Получить поправочные коэффициенты можно при индивидуальной градуировке средства измерения. Данный способ активно применяется в ИИС и АСУТП. При применении индивидуальной градуировки средств измерений необходимо учитывать факт изменения, за относительно короткий промежуток времени эксплуатации, систематических составляющих погрешности средств измерений

В случае доминирования случайной составляющей погрешности измерений целесообразно выполнить многократные наблюдения с последующим усреднением результатов. Необходимо принимать во внимание, что случайная составляющая погрешности измерений текущих значений превышает случайную составляющую погрешности измерений среднего значения. Чтобы повысить точность измерений текущих значений необходимо избегать сглаживания информации о процессе изменения измеряемой величины.

Данный способ эффективен в том случае, если во время усреднения отсутствует заметное изменение текущих значений измеряемой величины и, одновременно, с этим процессом погрешность измерений текущих значений существенно меняется. Следовательно, частотный спектр случайной составляющей погрешности измерений текущих значений должен быть значительно больше частотного спектра процесса изменения измеряемой величины [1].

Чтобы уменьшить трудоемкость измерений прибегают к автоматизации измерительных процедур измерений. Кроме того, автоматизация позволяет исключить субъективные погрешности, которые возникают в ходе обработки диаграмм, вычисления результатов измерений, и других операций, выполняемых человеком.

Исключить или уменьшить количество метрологических отказов можно путем внедрения способов контроля работоспособного состояния средств измерений в процессе их эксплуатации. Данные системы эффективны без каких-либо ограничений на составляющие погрешности средств измерений и их случайный или систематический характер.

При доминировании методических составляющих погрешности измерений, единственным эффективным решением является разработка новой методики выполнения измерений или совершенствование старой.

Применение усовершенствованного алгоритма целесообразно для уменьшения составляющих методической погрешности, в том случае, если они обусловлены различиями алгоритма вычисления от функции, определяющей зависимость результатов вычислений от аргументов величин, полученных с помощью прямого метода измерений.

Так же усовершенствование методик измерения целесообразно если методическая погрешность средних или интегральных значений определена, некоторым числом «точек» измерений. Так же усовершенствовать методику измерений можно изменив алгоритм обработки результатов измерений и проведя аттестацию алгоритма.

В основе метода сравнения с мерой лежит принцип сравнения с применением компаратора, размера измеряемой величины с размером, воспроизводимым мерой. По полученным значениям показаний сравнивающего устройства и номинальному значению меры определяют искомое экспериментальное значение величины. Данный метод эффективен при минимизации систематической составляющей погрешности измерений.

Методы сравнения с мерой делятся на методы компенсации, противопоставления и замещения. Точность этих методов зависит от разности значения измеряемой величины и значения, воспроизводимого мерой. Чем меньше разность, тем выше точность.

Если показания компаратора, полученные в ходе измерений, отличны от нуля то такой метод называют дифференциальным, а если сравнивающее устройство отображает нулевое значение, то метод называют нулевым.

В тестовом методе, при каждой итерации проводят измерения физической величины, поступающей на вход средства измерений, и измерения величин-тестов. Каждый тест формируется из меры и измеряемой величины, значение которой определяется путем решения системы уравнений. Решение осуществляется с помощью вычислительного устройства [2].

Тестовые методы целесообразно использовать для снижения систематических погрешностей.

Метод обратного преобразования основан на том, что в составе средства измерений кроме прямой измерительной цепи (прямого преобразователя), используется цепь, которая осуществляет обратное преобразование выходного сигнала (обратный преобразователь), причем цепь обратного преобразования имеет существенно большую точность, чем цепь прямого преобразования. Метод является итерационным. В каждом такте последовательно осуществляются: прямое преобразование сигнала, поступающего на вход измерительного канала, запоминание результата, обратное преобразование запомненного результата измерений, прямое преобразование сигнала обратного преобразователя, который соответствует запомненному значению измеряемой

величины, и сравнение результатов, полученных в двух тактах. На основе сравнения результатов формируется корректирующий сигнал. Данный метод позволяет уменьшать аддитивную и мультипликативную погрешности средств измерений, в зависимости от используемого алгоритма коррекции.

Особенности метода обратного преобразования:

- от точности эталонного обратного преобразователя зависит точность коррекции результатов измерений;
- все виды инструментальной погрешности подвергнуты коррекции;
- коррекцию осуществляется непрерывно во время проведения измерений.

Еще один способ повышения точности измерений – это использование при измерениях информационной избыточности.

Информационная избыточность – это состояние измерительной информации, при котором она более необходима для осуществления функций управления объектов. Нередко избыточную информацию используют для минимизации и устранения погрешности.

В качестве примера информационной избыточности можно привести наличие связей между измеряемыми величинами, обусловленных свойствами объекта измерений или управления. Такие связи используются для устранения промахов (грубых погрешностей) при измерениях отдельных величин, а также для повышения точности измерений всей совокупности измеряемых величин.

1.2 Способы исключения систематических погрешностей

Устранение источников систематической составляющей погрешности до начала измерений позволяет облегчить дальнейшую процедуру измерений, поскольку отсутствует необходимость вносить поправки в результат измерений или исключать погрешности в процессе уже начатых измерений. Совокупность методов приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Методы исключения систематических погрешностей

Исключение систематической погрешности в процессе измерений возможно различными методами:

- метод введения поправок;
- метод замещения;
- метод компенсации погрешности по знаку;
- метод противопоставления;
- графический метод;
- метод симметричных наблюдений;
- способ последовательных разностей;
- метод рандомизации.

В основе данных методов лежит определенная организация процесса измерений и обработки информации, получаемой в ходе измерений, которая обеспечивает определение или исключение погрешности систематической составляющей погрешности. Применять эти методы целесообразно в том случае, если известна природа исключаемой систематической погрешности.

Устранить систематическую составляющую погрешности после окончания измерений можно путем введения поправок в результат измерений.

2 Метод обратного преобразования для коррекции систематической погрешности

2.1 Метод обратного преобразования

Методы обратного преобразования (итерационные), методы образцовых мер и тестовые методы являются одними из самых распространенных методов повышения точности измерений. Данные методы имеют множество модификаций [3]. С точки зрения минимума дополнительных аппаратных затрат для применения в информационно-измерительных системах наиболее предпочтительны первые две группы методов. Эффективность использования каждой модификации этих методов зависит от характера корректируемой погрешности (преобладает аддитивная или мультипликативная составляющая, или не преобладает ни одна из них и т. д.), от требуемого быстродействия и/или точности, от имеющихся в наличии в данный момент времени аппаратных средств и т. д. Различные модификации методов коррекции имеют наибольший эффект при определенных условиях применения [4].

Метод уменьшения систематической погрешности, рассмотренный в работе [5] базируется на обратном преобразовании с функцией преобразования, имеющей следующий вид:

$$y = x(1 + \delta) = x \left(1 + \delta_1 + \delta_2 \right) = x \left(1 + \frac{\Delta_0}{x} + \delta_2 \right), \quad (2.1)$$

где x – значение измеряемой величины;

y – результат измерений, выполненных ИК;

$\delta_1 = \Delta_0 / x$ – относительная аддитивная погрешность измерений;

Δ_0 – абсолютная аддитивная погрешность измерений;

δ_2 – относительная мультипликативная погрешность измерений.

На рисунке 2.1 приведена структурная схема метода уменьшения систематической погрешности измерений [6].

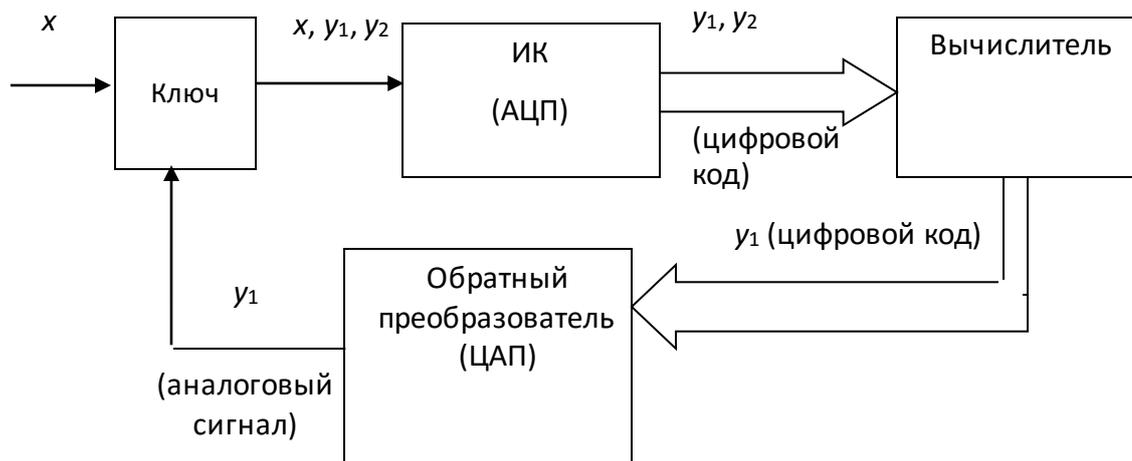


Рисунок 2.1 – Структурная схема метода

Исходные данные для скорректированного результата измерений получают за две итерации. Измеряемая величина x подается на вход измерительного канала. Цифровой код результата измерений, определяется формулой:

$$y_1 = x \cdot (1 + \delta_1 + \delta_2), \quad (2.2)$$

Вычислительное устройство запоминает цифровой код и подает его на вход обратного преобразователя. На выходе обратного преобразователя получают аналоговый сигнал, который соответствует результату измерений y_1 , полученному в первой итерации.

На втором шаге, с помощью ключа, величину, полученную на выходе обратного преобразователя подают на вход измерительного канала. Согласно формуле (2.2) измерительный канал измеряет аналоговый сигнал y_2 :

$$y_2 = x \cdot (1 + \delta_1 + \delta_2) \cdot \left(1 + \frac{\delta_1}{1 + \delta_1 + \delta_2} + \delta_2 \right). \quad (2.3)$$

Затем вычислитель определяет значение скорректированного результата измерений y_c по формуле:

$$y_c = \frac{y_1^2}{y_2} = x \cdot \left(1 + \frac{\delta_1 \delta_2}{1 + \delta_1 + \delta_2} \right) = x \cdot \left(1 + \frac{\delta_1 (\delta_1 + \delta_2)}{1 + \delta_1 + \delta_2} \right). \quad (2.4)$$

Эффект коррекции погрешности скорректированного результата измерений отображен на рисунке 2.2.

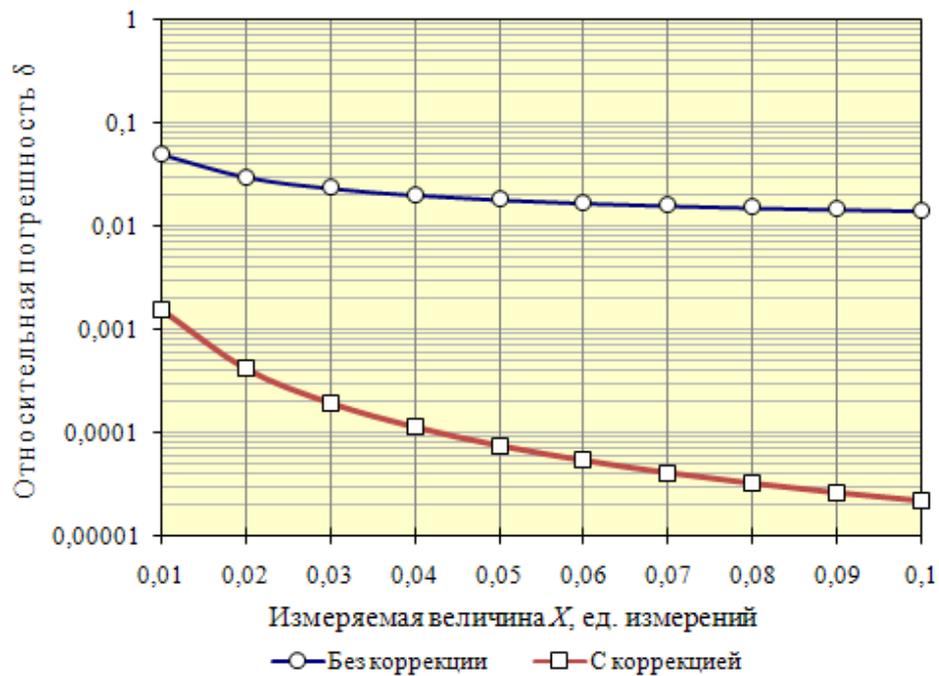


Рисунок 2.2 – Зависимость относительной погрешности от измеряемой величины

Из формулы (2.4) видно, что исходная относительная погрешность δ умножается на величину, определяемую выражением: $\frac{\delta_1}{(1 + \delta_1 + \delta_2)^2 - \delta_1(\delta_1 + \delta_2)}$.

Введём следующее обозначение $\psi = \frac{\delta}{\delta_c}$, где δ_c – относительная погрешность скорректированного результата измерений. Тогда, согласно формуле (2.4), справедливо следующее выражение:

$$\frac{\delta_1}{(1 + \delta_1 + \delta_2)^2 - \delta_1(\delta_1 + \delta_2)} = \frac{1}{\psi}. \quad (2.5)$$

Принимая во внимание, что знаменатель в левой части выражения (2.5) практически равен 1, так как $\delta_1, \delta_2 \ll 1$, получаем, что:

$$\delta_1 \approx \frac{1}{\psi}. \quad (2.6)$$

Это означает, что в рассматриваемом методе уменьшение погрешности практически не зависит от исходной относительной мультипликативной погрешности. Погрешность скорректированного результата δ_c уменьшается в ψ раз, причем коэффициент ψ обратно пропорционален исходной относительной аддитивной погрешности. Например, если относительная аддитивная

погрешность равна 0,01, тогда погрешность скорректированного результата измерений будет в 100 раз меньше, чем исходная относительная погрешность [5].

В рассматриваемом методе уменьшение погрешности практически не зависит от исходной относительной мультипликативной погрешности [7].

Таким образом, метод обратного преобразования позволяет уменьшить мультипликативную и аддитивную составляющие погрешности измерений [8].

Далее на примере косвенных однократных измерений активного электрического сопротивления рассмотрен алгоритм уменьшения систематической погрешности измерительного канала.

2.2 Экспериментальная проверка метода обратного преобразования

Экспериментальная проверка функции уменьшения систематической погрешности ИК проведена на примере косвенных измерений активного электрического сопротивления для двух случаев: без коррекции и с коррекцией. Значение активного сопротивления воспроизводилось мерой – магазином сопротивления P4831 с классом точности $0,02/2 \cdot 10^{-6}$. В качестве обратного преобразователя ИК тока и напряжения использовался программируемый калибратор тока и напряжения Fluke 5520A. Прямые однократные измерения напряжения и силы постоянного тока проводились с использованием двух 4,5-разрядных вольтметров В7-22А, для которых систематическая составляющая погрешности значительно превышает случайную (по меньшей мере, в 55 раз).

Уменьшение систематической погрешности измерений методом возможно при соблюдении следующих условий: случайная составляющая погрешности должна быть пренебрежимо мала, обратный преобразователь должен быть точнее измерительного канала.

Метрологические характеристики вольтметра В7-22А: пределы относительной погрешности измерений напряжения постоянного тока и силы постоянного тока представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Метрологические характеристики вольтметра В7-22А

Измеряемая величина	Пределы измерений	Пределы относительной погрешности измерений вольтметром
Напряжение постоянного тока	0,2, 2, 20, 200 В	$\pm(0,15 + 0,2 \cdot U_{\text{пр}} / U_x) \%$
	1000 В	$\pm(0,15 + 0,4 \cdot U_{\text{пр}} / U_x) \%$
Сила постоянного тока	0,2, 2, 20, 200 мА	$\pm(0,25 + 0,25 \cdot I_{\text{пр}} / I_x) \%$
	2 А	$\pm(0,25 + 0,3 \cdot I_{\text{пр}} / I_x) \%$
Примечание		
$U_{\text{пр}}$ – предел измерений постоянного напряжения, В; U_x – измеренное значение напряжения, В; $I_{\text{пр}}$ – предел измерений силы постоянного тока, А; I_x – измеренное значение силы постоянного тока, А.		

Как видно из приведенных выше формул, относительные погрешности вольтметра определяется следующим видом: $\pm(a+b \cdot x_{\text{п}} / x) \%$. Относительные мультипликативную δ_1 и аддитивную δ_2 погрешности в этом случае можно

представить следующим образом: $\delta_1 = \frac{b \cdot x_{\text{п}}}{x} \%$, $\delta_2 = a \%$. Тогда, учитывая

метрологические характеристики вольтметра, получим: $\delta_1^v = \frac{0,2 \cdot V_{\text{п}}}{V} = \frac{0,04}{V} \%$;

$$\delta_2^v = 0,15 \%; \delta_1^i = \frac{0,25 \cdot I_i}{I} = 0,5 \%; \delta_2^i = 0,25 \%.$$

Сравнение точности результатов измерений сопротивления без коррекции и с коррекцией осуществлялось путем вычисления отклонений результатов косвенных однократных измерений сопротивления R от номинальных значений R_n в диапазоне от 0,1 до 1,0 Ом.

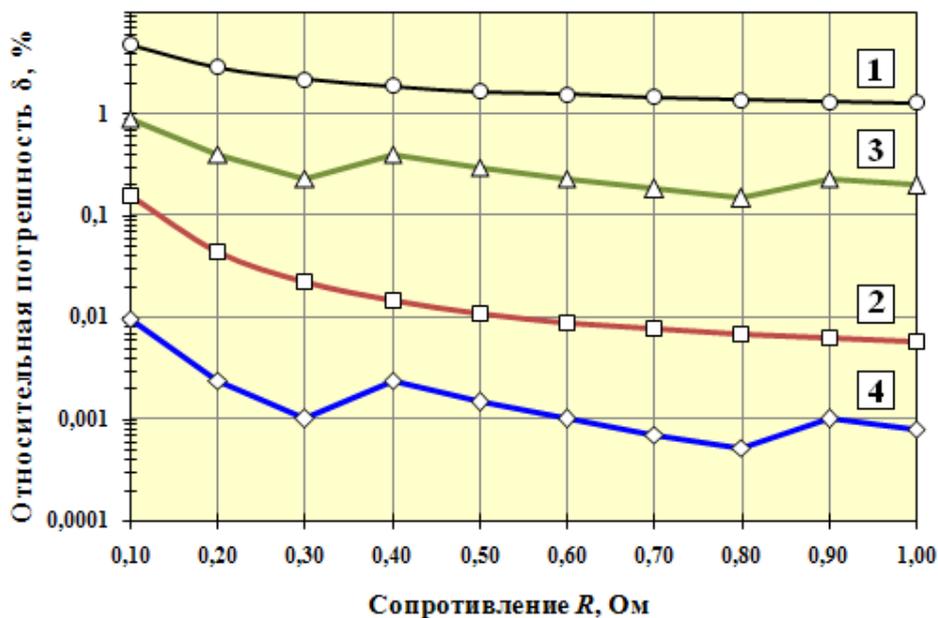
Измерения выполнены при номинальном значении силы тока $I_n = 100$ мА. Результаты измерений напряжения, силы тока и вычислений сопротивления сведены в таблицу 2.2 и представлены на рисунке 2.3.

Для всех R_n в таблице 2.2 получены следующие результаты измерений силы постоянного тока: $I_1 = 100,1$ мА, $I_2 = 100,2$ мА и $I_c = 100,0001$ мА. При установке на магазине Р4831 значения сопротивления R_n , равного нулю, показание вольтметра составило 0,0058 В, вследствие, влияния переходных

сопротивлений контактов и соединительных проводов. Поэтому, значения напряжений V_1 и V_2 были получены из неисправленных данных (второй и третий слева столбцы таблицы 2.1) вычитанием поправки 0,0058 В.

Таблица 2.2 – Экспериментальные данные

R_n , Ом	Без Поправки		V_1 , В	V_2 , В	V_c , В	R_3 , Ом	R_{3c} , Ом	δ , %	δ_c , %	δ_3 , %	δ_{3c} , %
	V_1 , В	V_2 , В									
0,1	0,0159	0,0160	0,0101	0,0102	0,010001	0,100899	0,100010	4,8635	0,1570	0,8991	0,0097
0,2	0,0259	0,0260	0,0201	0,0202	0,020000	0,200799	0,200005	2,8784	0,0449	0,3996	0,0024
0,3	0,0359	0,0360	0,0301	0,0302	0,030000	0,300699	0,300003	2,2167	0,0229	0,2331	0,0010
0,4	0,0460	0,0462	0,0402	0,0404	0,040001	0,401598	0,400010	1,8859	0,0149	0,3996	0,0024
0,5	0,0560	0,0562	0,0502	0,0504	0,050001	0,501499	0,500007	1,6873	0,0112	0,2997	0,0015
0,6	0,0660	0,0662	0,0602	0,0604	0,060001	0,601399	0,600006	1,5550	0,0091	0,2331	0,0010
0,7	0,0760	0,0762	0,0702	0,0704	0,070001	0,701299	0,700005	1,4605	0,0078	0,1855	0,0007
0,8	0,0860	0,0862	0,0802	0,0804	0,080000	0,801199	0,800004	1,3896	0,0069	0,1499	0,0005
0,9	0,0961	0,0964	0,0903	0,0906	0,090001	0,902098	0,900009	1,3344	0,0063	0,2331	0,0010
1,0	0,1061	0,1064	0,1003	0,1006	0,100001	1,001998	1,000008	1,2903	0,0059	0,1998	0,0008



Пределы погрешности измерений: (1) – без коррекции и (2) – с коррекцией;

экспериментальная погрешность: (3) без коррекции и (4) – с коррекцией

Рисунок 2.3 – Зависимость теоретической погрешности измерений

сопротивления от R для R_n в диапазоне от 0,1 до 1,0 Ом

График 1 на рисунке 2.3 показывает изменение пределов относительной погрешности измерений сопротивления без коррекции и построен по формуле:

$$\delta = \frac{\delta^v + \delta^i}{1 + \delta^i} = \frac{\delta_1^v + \delta_2^v + \delta_1^i + \delta_2^i}{1 + \delta_1^i + \delta_2^i} = \frac{0,04}{V} + 0,9 = \frac{0,04 + 0,9 \cdot V}{1,0075} = \frac{0,04 + 0,9 \cdot V}{1,0075 \cdot V}. \quad (2.7)$$

График 2 на рисунке 2.3, показывает изменение относительной погрешности измерений сопротивления с коррекцией и построен согласно по формуле:

$$\delta_c = \left(\frac{\delta_1^v \delta^v}{(1 + \delta^v)^2 - \delta_1^v \delta^v} + \frac{\delta_1^i \delta^i}{(1 + \delta^i)^2 - \delta_1^i \delta^i} \right) / \left(1 + \frac{\delta_1^i \delta^i}{(1 + \delta^i)^2 - \delta_1^i \delta^i} \right). \quad (2.8)$$

Из таблицы 2.2 видно, что, несмотря на ограниченную разрешающую способность вольтметра В7-22А, предложенный метод уменьшения погрешности работает и обеспечивает повышение точности измерений сопротивления не менее, чем на два порядка, что соответствует эффекту, предсказанному выражением (2.8).

В ходе экспериментальных исследований установлено, что значение напряжения V_2 может изменяться только в узком диапазоне (таблица 2.2), определяемым выражением:

$$V_1 - V_H = V_2 - V_1, \quad (2.9)$$

где V_H – номинальное значение напряжения.

Из этого факта следует значительное влияние случайной погрешности на работоспособность метода уменьшения систематической погрешности. В случае доминирования систематической составляющей над случайной (что имеет место в рассматриваемом эксперименте) метод обеспечивает значительное уменьшение значения систематической погрешности.

В таблице 2.3 приведены значения погрешности скорректированного результата измерений $\delta_{эс}$, соответствующие комбинациям V_1 и V_H (данные результатов измерений напряжения V_1 и V_2 взяты из таблицы 2.1).

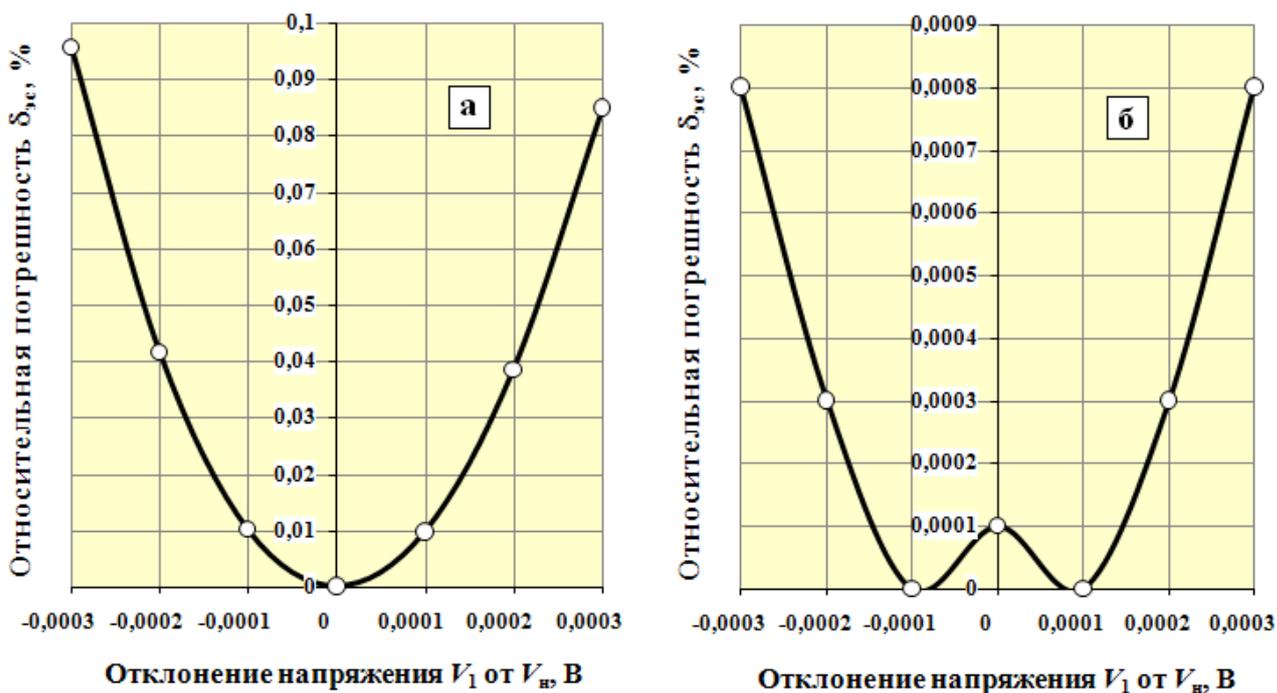
Данные таблицы 2.2 и рисунка 2.4 показывают, как значение экспериментальной скорректированной погрешности измерений $\delta_{эс}$ зависит от отклонения напряжения ($V_1 - V_H$) в начале диапазона $R_H = 0,1$ Ом и

$V_H = 0,01$ В (рисунок 2.4, а) и в конце диапазона $R_H = 1,0$ Ом и $V_H = 0,1$ В (рисунок 2.4, б).

Таблица 2.3 – Значения погрешности скорректированного результата измерений

Разность напряжений ($V_1 - V_H$), В	$R_H = 0,1$ Ом ($V_H = 0,01$ В)			$R_H = 1$ Ом ($V_H = 0,1$ В)		
	V_1 , В	V_2 , В	$\delta_{эс}$, %	V_1 , В	V_2 , В	$\delta_{эс}$, %
- 0,0002	0,0098	0,0096	0,04157	0,0998	0,0996	0,0003
- 0,0001	0,0099	0,0098	0,0101	0,0999	0,0998	0
0	0,0100	0,0100	0,0001	0,1000	0,1000	0,0001
0,0001	0,0101	0,0102	0,0097	0,1001	0,1002	0
0,0002	0,0102	0,0104	0,03836	0,1002	0,1004	0,0003
0,0003	0,0103	0,0106	0,08481	0,1003	0,1006	0,0008

На графиках видно, что максимальная коррекция достигается, когда значение $(V_1 - V_H)$ изменяется от 0 до 0,0001 В.



(а) – случай $R_H = 0,1$ Ом и $V_H = 0,01$ В; (б) – случай $R_H = 1$ Ом и $V_H = 0,1$ В

Рисунок 2.4 – Зависимость погрешности $\delta_{эс}$ от разности напряжений $(V_1 - V_H)$

Экспериментальная проверка функции уменьшения систематической погрешности измерительного канала (далее ИК), подтверждает правильность её выполнения теоретическими и экспериментальными результатами. Метод

уменьшения, основанный на обратном преобразовании, позволяет значительно повысить точность измерений сопротивления – более, чем на два порядка.

Поскольку при вычислении скорректированного результата измерений используются только мультипликативные операции над результатами двух измерений – возведение в квадрат и деление – скорректированный результат не зависит от знаков и всегда уменьшается по абсолютной величине [5].

В рамках данной магистерской диссертации данный раздел представлен на английском языке в Приложении А.

3 Создание модели метода обратного преобразования

Среди множества сред графического программирования была выбрана среда графического программирования LabView. Программирование в данной среде осуществляется с помощью языка программирования «G». Язык «G» позволяет осуществлять сбор данных, управлять инструментами и обрабатывать сигналы.

Программа, написанная в среде LabView, представляет собой виртуальный прибор (далее ВП). ВП являются программными моделями реальных средств измерений, например, мультиметра или осциллографа.

В LabView интерфейсом пользователя является лицевая панель, создаваемая с помощью элементов управления, таких как кнопки, переключатели и отображения, таких как графики, светодиоды. Само программирование осуществляется на блок-диаграмме ВП с помощью графических представлений различных функций, необходимых для управления объектами на лицевой панели.

Модель представляет собой множество объединенных математических выражений. С помощью данной модели можно увидеть наглядно как работает метод, во сколько раз улучшается результат измерений. Так же данная модель позволяет увидеть различные зависимости одной величины от другой. В данной работе представлены две модели: первая отражает теоретические аспекты метода, вторая модель отражает экспериментальную проверку метода. Для построения моделей использовали математические выражения, представленные в первой части настоящей работы.

На рисунке 3.1 изображена модель метода обратного преобразования, построенная на основе функции преобразования измерительного канала.

В качестве входного массива данных x используются значения напряжения в диапазоне от 0,1 до 1 В. Относительная аддитивная и мультипликативная погрешности задаются с помощью констант. На выходе получаем массивы, представленные на рисунке 3.2:

y_1 – значения постоянного напряжения, полученные в первом такте, В;
 y_2 – значения постоянного напряжения, полученные во втором такте, В;
 y_c – скорректированные значения постоянного напряжения, В;
 δ – расчётные значения относительной погрешности, %;
 δ_c – расчетные значения скорректированной относительной погрешности, % .

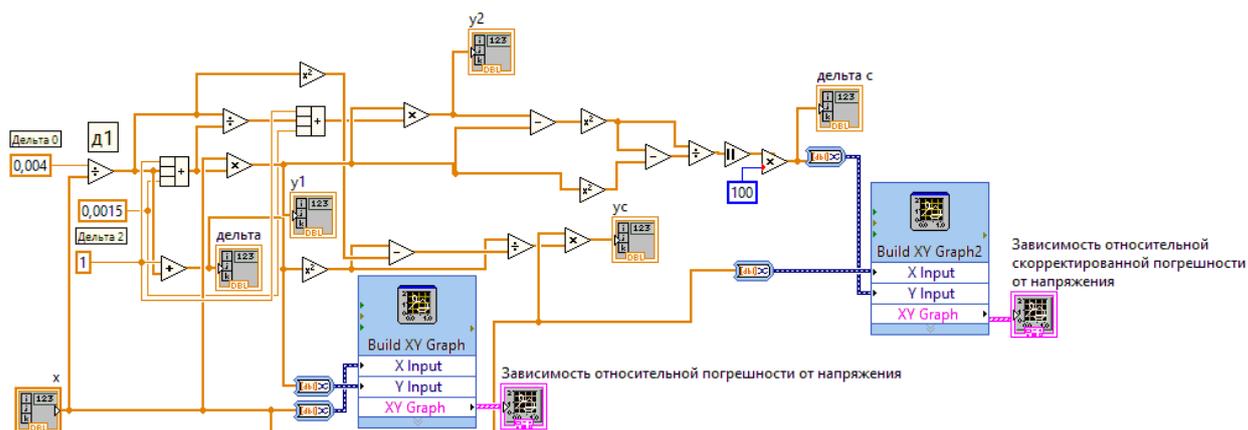


Рисунок 3.1 – Модель метода обратного преобразования

x	y1	y2	yc	дельта	дельта с
0,1	0,10415	0,108306	0,1001477	1,0415	0,159504
0,2	0,2043	0,208606	0,2000767	1,0215	0,0444524
0,3	0,30445	0,308907	0,3000518	1,01483	0,021433
0,4	0,4046	0,409207	0,4000391	1,0115	0,0129665
0,5	0,50475	0,509507	0,5000314	1,0095	0,00888331
0,6	0,6049	0,609807	0,6000262	1,00817	0,00658196
0,7	0,70505	0,710108	0,7000225	1,00721	0,00514597
0,8	0,8052	0,810408	0,8000197	1,0065	0,0041833
0,9	0,90535	0,910708	0,9000176	1,00594	0,00350261
1	1,0055	1,01101	1,000016	1,0055	0,00300107

Рисунок 3.2 – Массивы данных

С помощью экспресс ВП Build XY Graph построим график зависимости относительной погрешности от напряжения и график зависимости скорректированной относительной погрешности от напряжения. Графики представлены на рисунках 3.3 и 3.4.

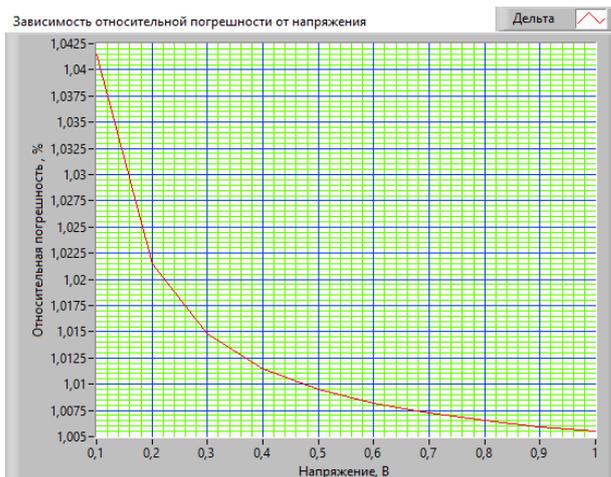


Рисунок 3.3 – Зависимость относительной погрешности от напряжения

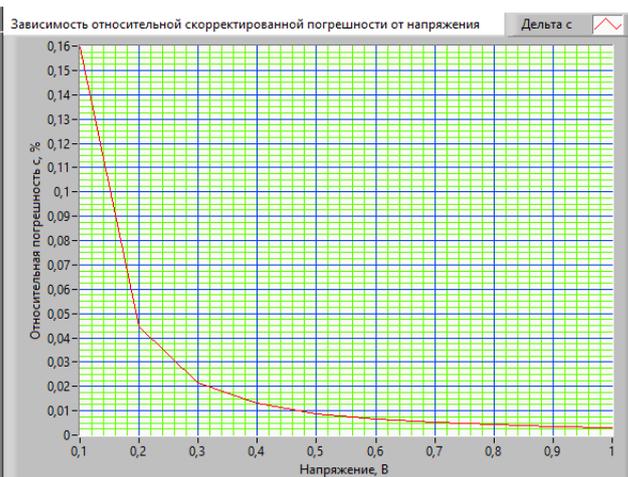


Рисунок 3.4 – Зависимость относительной скорректированной погрешности от напряжения

Проанализировав данные графики можно сделать вывод, что погрешность уменьшается на два порядка.

В ходе экспериментальной проверки мультипликативного метода обратного преобразования определяются такие параметры, как: V_{y1} – значение напряжения, полученное в первом такте измерений, V_{y2} – значение напряжения, полученное во втором такте, $V_{эс}$ – экспериментальное скорректированное значение напряжения. Данные параметры являются параметрами коррекции метода обратного преобразования.

Значение напряжения V_{y1} будет равняться напряжению, подаваемому на вход измерительного канала, с учетом погрешности измерительного канала.

Определение условия работоспособности метода на основе измерения напряжений осуществлялось путем вычисления отклонений результатов прямых однократных измерений напряжения V_{y1} от измеренного значения x в диапазоне от 0,1 до 1 В.

Экспериментально было установлено, что значение напряжения V_{y2} , получаемое во втором такте, может изменяться только в узком диапазоне. Если значение V_{y2} превысит предельно допустимое значение напряжения, то метод обратного преобразования перестанет работать, поэтому необходимо определить диапазон допустимых значений напряжения V_{y2} . С учетом того, что

относительная мультипликативная погрешность $\delta_{y_2} \rightarrow 0$, результат измерений напряжения во втором такте, будет определяться следующим выражением:

$$V_{y_2} = V_x(1 + 2\delta_1) \quad (3.1)$$

По формуле вычисляем значение относительной погрешности результата измерений напряжения:

$$\delta_{эс} = \frac{(V_{y_2} - V_{y_1})^2}{(V_{y_2} - V_{y_1})^2 - V_{y_1}^2} \quad (3.2)$$

В программном пакете LabView создадим модель для отражения результатов эксперимента. Данная модель представлена на рисунке 3.5.

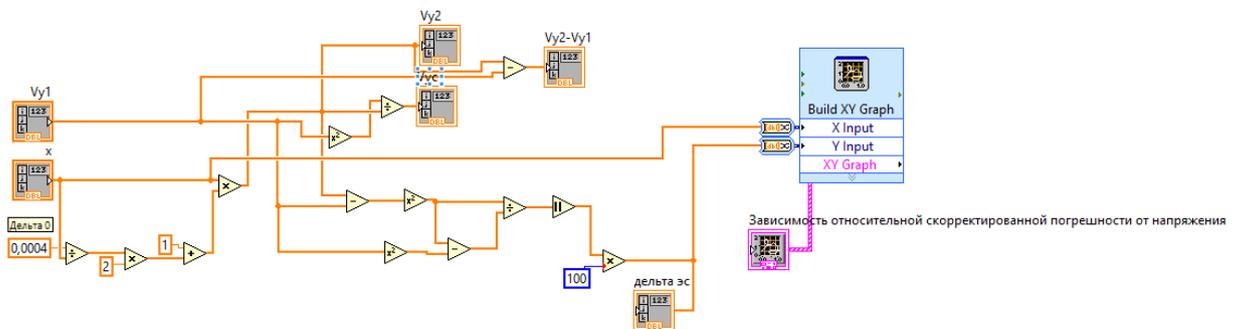


Рисунок 3.5 - Модель эксперимента

На выходе получены массивы данных, представленных на рисунке 3.6.

Массив данных y_2 отражает предельно допустимые значения напряжения, полученного во втором такте.

При превышении предельно допустимого значения напряжения V_{y_2} мультипликативный метод обратного преобразования перестает работать.

x	Vy1	Vy2	Vyc	Дельта эс
0	0	0	0	0
0,1	0,10055	0,1008	0,1003006	6,18185E-6
0,2	0,2007	0,2008	0,2006	2,48259E-7
0,3	0,30085	0,3008	0,3009	2,7621E-8
0,4	0,401	0,4008	0,4012001	2,48755E-7
0,5	0,50115	0,5008	0,5015002	4,87754E-7
0,6	0,6013	0,6008	0,6018004	6,91445E-7
0,7	0,70145	0,7008	0,7021006	8,58685E-7
0,8	0,8016	0,8008	0,8024008	9,96013E-7
0,9	0,90175	0,9008	0,902701	1,10988E-6
1	1,0019	1,0008	1,003001	1,20542E-6

Рисунок 3.6 – Массивы выходных данных

Зависимость относительной погрешности от измеренного значения показана на рисунке 3.7.

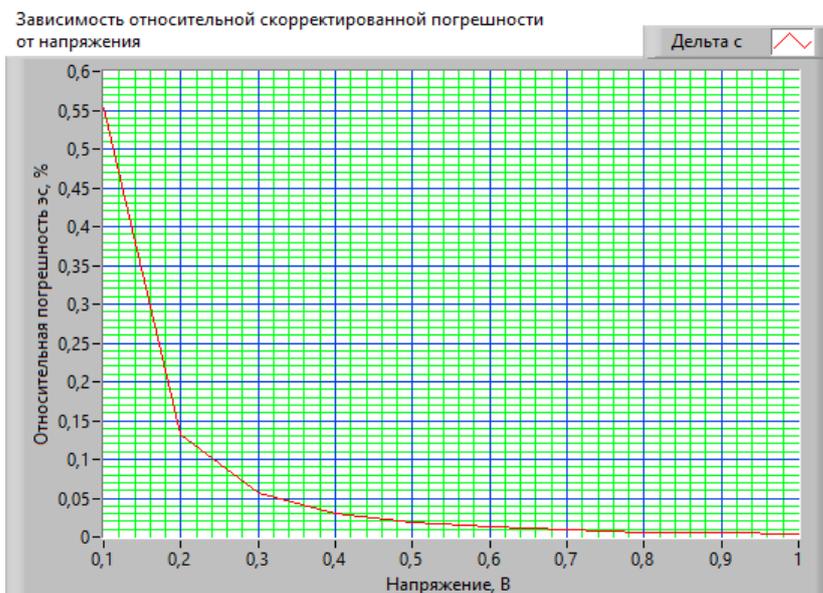
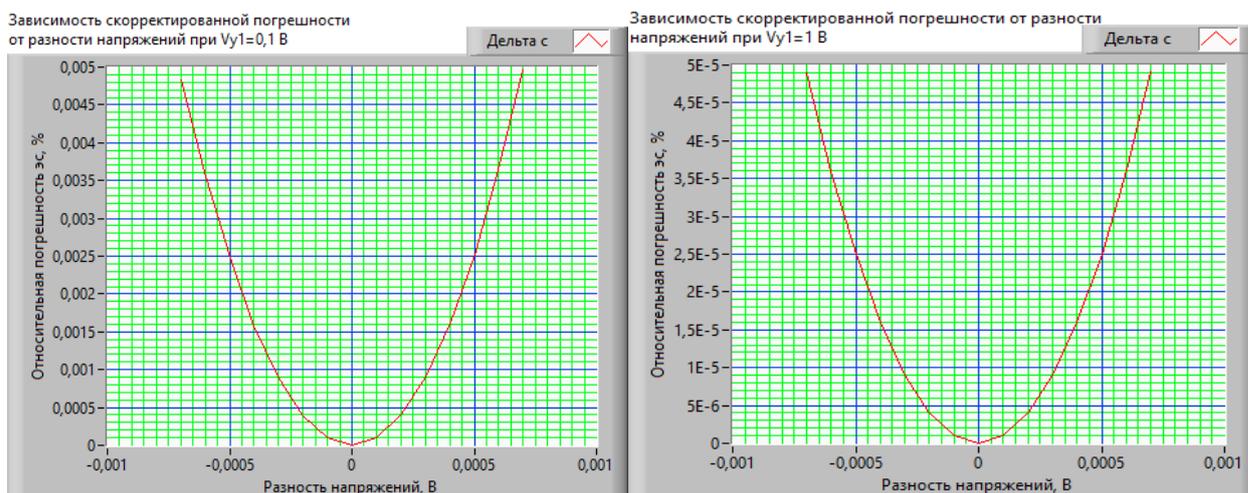


Рисунок 3.7 - Зависимость относительной погрешности от измеренного значения

Чтобы наглядно представить условие работоспособности метода, необходимо построить график зависимости относительной погрешности скорректированного результата измерений от разности напряжений, полученных в первом и втором тактах. Возьмем две точки в диапазоне постоянного напряжения от 0,1 до 1 В, и для каждой точки определим, как изменяется относительная погрешность. Выходные данные представлены на рисунке 3.8. Зависимость погрешности от разности напряжений представлена на рисунке 3.9.

разность напряжений в первом и во втором тактах	Дельта эс для Vu1=0,1 В	дельта эс для Vu1=1 В
0	0,00483235	4,89315E-5
-0,0007	0,00355731	3,59569E-5
-0,0006	0,00247525	2,4975E-5
-0,0005	0,0015873	1,59872E-5
-0,0004	0,000894632	8,9946E-6
-0,0003	0,000398406	3,9984E-6
-0,0002	9,98004E-5	9,998E-7
-0,0001	6,61216E-35	6,61216E-37
8,13152E-5	0,0001002	1,0002E-6
0,0001	0,000401606	4,0016E-6
0,0002	0,000905433	9,0054E-6
0,0003	0,0016129	1,60128E-5
0,0004	0,00252525	2,5025E-5
0,0005	0,00364372	3,60433E-5
0,0006	0,00496957	4,90687E-5
0,0007		

Рисунок 3.8 – Выходные данные



а)

б)

а) - в точке 0,1 В;

б) - в точке 1 В.

Рисунок 3.9 – Зависимость погрешности $\delta_{эс}$ от разности напряжений ($V_{y2}-V_{y1}$)

Полученные данные показывают, как значение экспериментальной скорректированной погрешности измерений $\delta_{эс}$ зависит от отклонения напряжения ($V_{y2}-V_{y1}$). На графиках видно, что максимальная коррекция достигается, когда значение ($V_{y2}-V_{y1}$) изменяется от 0 до 0,0001 В. Данные графики наглядно отображают условие работоспособности мультипликативного метода повышения точности измерений.

Экспериментальная проверка функции уменьшения систематической погрешности ИК, подтверждает правильность её выполнения теоретическими и экспериментальными результатами. Метод уменьшения, основанный на обратном преобразовании, позволяет значительно повысить точность измерений сопротивления – более, чем на два порядка.

Поскольку при вычислении скорректированного результата измерений используются только мультипликативные операции над результатами двух измерений – возведение в квадрат и деление – скорректированный результат не зависит от знаков и всегда уменьшается по абсолютной величине.

4 Исследование характеристик модели метода обратного преобразования

Для определения оптимальных условий работоспособности метода обратного преобразования необходимо провести исследование характеристик модели метода. Исследование характеристики базируется на изменении функции преобразования различными способами, например, изменение величины мультипликативной и аддитивной составляющих и их соотношения, или введение нелинейности в функцию преобразования. В ходе анализа было рассмотрено несколько случаев:

- 1) случай, при котором аддитивная составляющая погрешности отсутствует, т.е. $\delta_1 = 0 \%$, а мультипликативная составляющая $\delta_2 = 0,15 \%$;
- 2) случай, при котором мультипликативная составляющая отсутствует, $\delta_2 = 0 \%$, аддитивная составляющая погрешности $\delta_1 = 0,4 \%$.
- 3) Случай, при котором мультипликативная составляющая в два раза больше аддитивной $\delta_1 = 0,05 \%$, $\delta_2 = 0,10 \%$.
- 4) Случай, при котором аддитивная составляющую в два раза больше мультипликативной, $\delta_1 = 0,10 \%$, $\delta_2 = 0,05 \%$.
- 5) Случай, при котором аддитивная и мультипликативная составляющие одинаковы, $\delta_1 = 0,10 \%$, $\delta_2 = 0,10 \%$.
- б) Введение нелинейности в функцию преобразования, путем добавления квадратичного слагаемого.

4.1 Результаты исследований при отсутствии аддитивной составляющей погрешности

Для исследования данного случая необходимо воспользоваться моделью метода обратного преобразования, представленной на рисунке 3.1. В данной модели, в качестве констант, необходимо задать величину аддитивной погрешности $\delta_1 = 0 \%$, т.е. аддитивная погрешности отсутствует, и величину мультипликативной составляющей $\delta_2 = 0,15 \%$. Полученные результаты представлены на рисунке 4.1.

x	y1	y2	ус	дельта	дельта с
0	0,10015	0,1003	0,1	1	0,000225001
0,1	0,2003	0,2006	0,2	1	0,000225001
0,2	0,30045	0,300901	0,3	1	0,000225001
0,3	0,4006	0,401201	0,4	1	0,000225001
0,4	0,50075	0,501501	0,5	1	0,000225001
0,5	0,6009	0,601801	0,6	1	0,000225001
0,6	0,70105	0,702102	0,7	1	0,000225001
0,7	0,8012	0,802402	0,8	1	0,000225001
0,8	0,90135	0,902702	0,9	1	0,000225001
0,9	1,0015	1,003	1	1	0,000225001
1					

Рисунок 4.1 – Массивы выходных данных

Графики отражающие зависимости относительной погрешности и относительной скорректированной погрешности представлены на рисунках 4.2 и 4.3.

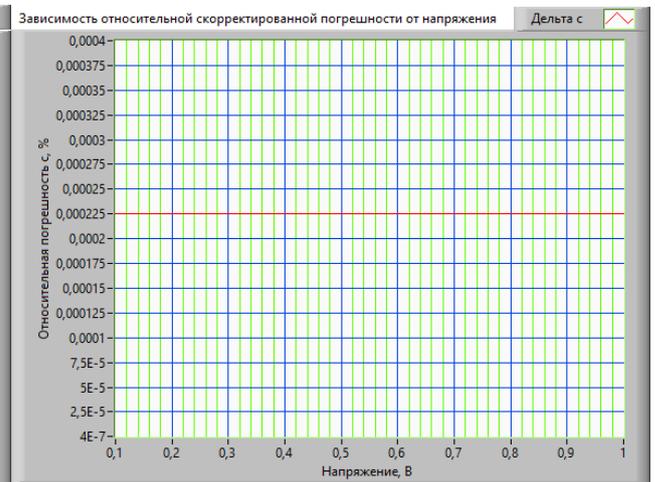
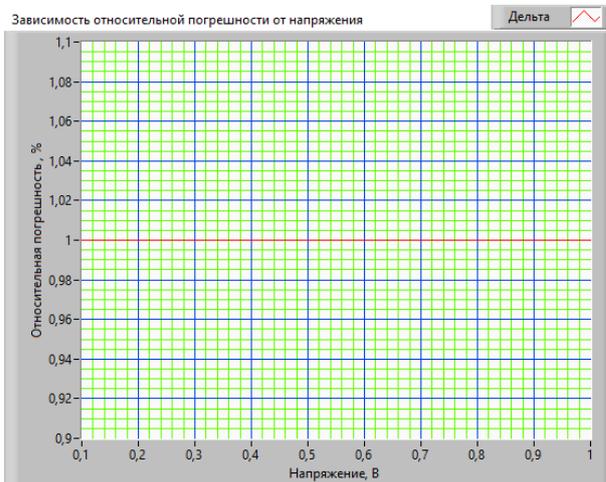


Рисунок 4.2 - Зависимость относительной погрешности от входного напряжения.

Рисунок 4.3 - Зависимость относительной скорректированной погрешности от входного напряжения.

По данным графикам видно, что погрешность до коррекции имеет большую величину и составляет 1 % и не зависит от изменения входной величины. Погрешность после коррекции уменьшается на четыре порядка, составляет 0,00023 %, и также не зависит от изменения входных данных.

При отсутствии аддитивной составляющей в функции преобразования погрешности перестают зависеть от изменения входной величины, а коррекция позволяет улучшить результат на четыре порядка.

4.2 Результаты исследований при отсутствии мультипликативной составляющей

Для анализа данного случая необходимо изменить константы в модели метода обратного преобразования. Величина аддитивной погрешности $\delta_1 = 0,4\%$, а мультипликативная погрешность отсутствует. Полученные результаты представлены на рисунке 4.4.

x	y1	y2	ус	дельта	дельта с
0					
0,1	0,104	0,108	0,1001481	1,04	0,148148
0,2	0,204	0,208	0,2000769	1,02	0,0384615
0,3	0,304	0,308	0,3000519	1,01333	0,017316
0,4	0,404	0,408	0,4000392	1,01	0,00980392
0,5	0,504	0,508	0,5000315	1,008	0,00629921
0,6	0,604	0,608	0,6000263	1,00667	0,00438596
0,7	0,704	0,708	0,7000226	1,00571	0,00322841
0,8	0,804	0,808	0,8000198	1,005	0,00247525
0,9	0,904	0,908	0,9000176	1,00444	0,00195791
1	1,004	1,008	1,000016	1,004	0,0015873

Рисунок 4.4 – Массивы выходных данных

Графическое представление полученных данных представлено на рисунках 4.5 и 4.6.

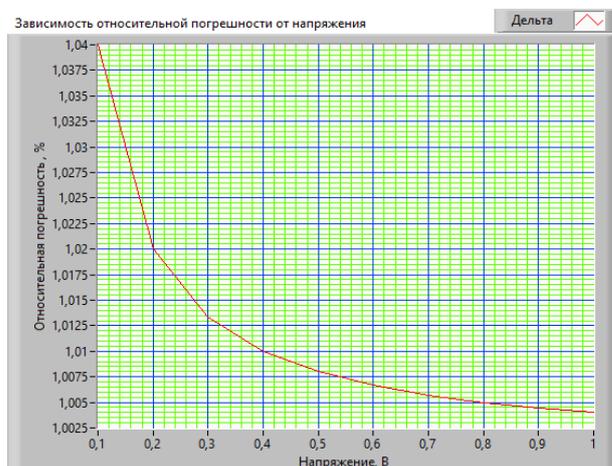


Рисунок 4.5 - Зависимость относительной погрешности от входного напряжения.

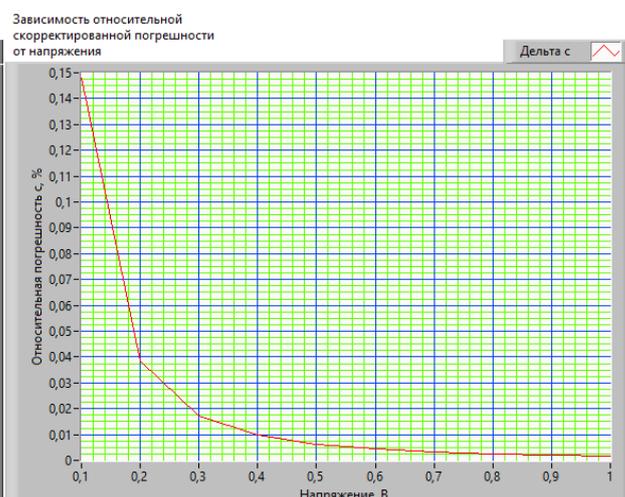


Рисунок 4.6 – Зависимость относительной скорректированной погрешности от входного напряжения.

Метод при данных условиях работоспособен. Происходит коррекция результатов измерений и погрешности. Сравнив результаты до коррекции и после можно сделать вывод, что погрешность уменьшается на один порядок.

4.3 Результаты исследований при превышении мультипликативной составляющей в два раза

Для анализа характеристик модели для данного случая, зададим определенную величину аддитивной и мультипликативной составляющих. Необходимо соблюсти условие, что мультипликативная составляющая в два раза превышает аддитивную. Зададим следующие значения аддитивной и мультипликативной составляющих: $\delta_1 = 0,05 \%$, $\delta_2 = 0,10 \%$. В ходе исследования были получены следующие результаты, представленные на рисунке 4.7.

x	y1	y2	ус	дельта	дельта с
0	0	0	0	0	0
0,1	0,1006	0,101201	0,1000025	1,005	0,00356443
0,2	0,2007	0,201401	0,2000012	1,0025	0,00121892
0,3	0,3008	0,301601	0,3000008	1,00167	0,000708754
0,4	0,4009	0,401801	0,4000006	1,00125	0,000504991
0,5	0,501	0,502001	0,5000005	1,001	0,000399204
0,6	0,6011	0,602201	0,6000004	1,00083	0,000335553
0,7	0,7012	0,702401	0,7000004	1,00071	0,000293459
0,8	0,8013	0,802601	0,8000003	1,00063	0,000263734
0,9	0,9014	0,902801	0,9000003	1,00056	0,000241708
1	1,0015	1,003	1	1,0005	0,000224776

Рисунок 4.7 – Массивы выходных данных

Полученные результаты показывают, что коррекция погрешности осуществляется, и результат измерения становится точнее на четыре порядка, и уменьшается с увлечением значения входных данных. Графически результаты представлены на рисунках 4.8 и 4.9.

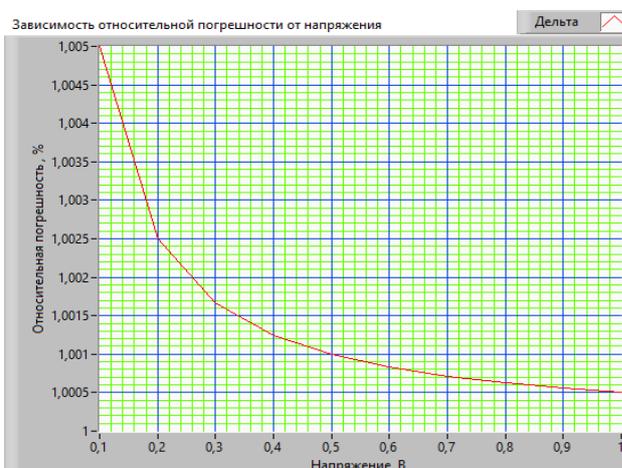


Рисунок 4.8 - Зависимость относительной погрешности от входного напряжения.

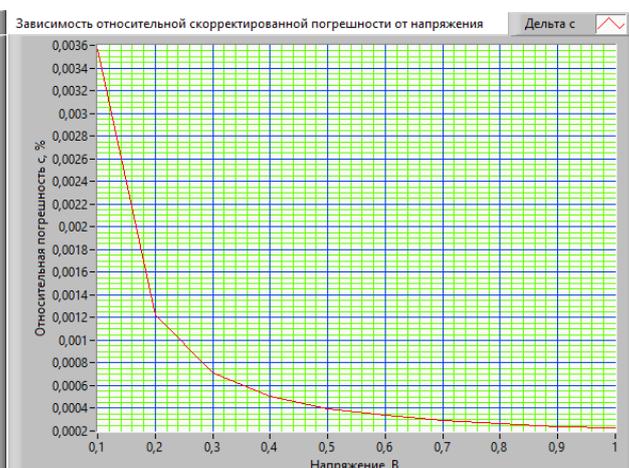


Рисунок 4.9 – Зависимость относительной скорректированной погрешности от входного напряжения.

Метод при данных условиях работоспособен. Происходит коррекция результатов измерений и погрешности. Сравнив результаты до коррекции и после можно сделать вывод, что погрешность уменьшается на три порядка.

4.4 Результаты исследований при превышении аддитивной составляющей в два раза

В данном случае, в отличие от предыдущего зададим значение аддитивной погрешности таким образом, чтобы она в два раза превышала мультипликативную, $\delta_1 = 0,10 \%$, $\delta_2 = 0,05 \%$. Результаты исследований представлены на рисунке 4.10.

x	y1	y2	ус	дельта	дельта с
0,1	0,10105	0,102101	0,1000098	1,01	0,010809
0,2	0,2011	0,202201	0,200005	1,005	0,00299508
0,3	0,30115	0,302301	0,3000033	1,00333	0,00145972
0,4	0,4012	0,402401	0,4000025	1,0025	0,000895527
0,5	0,50125	0,502501	0,500002	1,002	0,000622513
0,6	0,6013	0,602601	0,6000017	1,00167	0,000467887
0,7	0,70135	0,702701	0,7000014	1,00143	0,00037088
0,8	0,8014	0,802801	0,8000012	1,00125	0,000305487
0,9	0,90145	0,902901	0,9000011	1,00111	0,000258993
1	1,0015	1,003	1,000001	1,001	0,000224551

Рисунок 4.10 – Массивы выходных данных

Коррекция погрешности при заданных значениях погрешности осуществляется также на четыре порядка, соответственно результат измерений становится более точным. Графики представлены на рисунках 4.11 и 4.12.

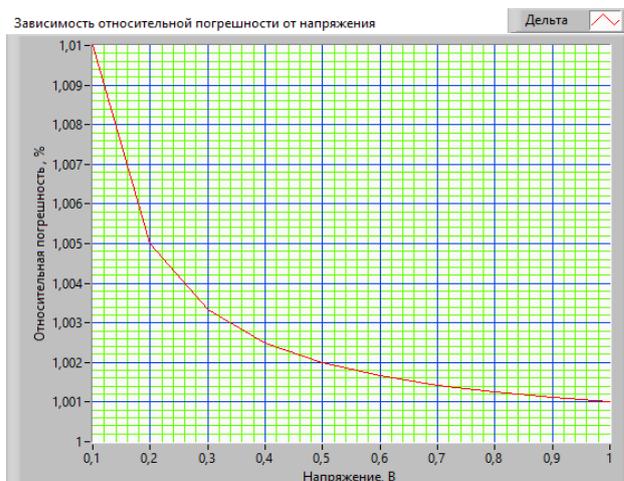


Рисунок 4.11 - Зависимость относительной погрешности от входного напряжения.

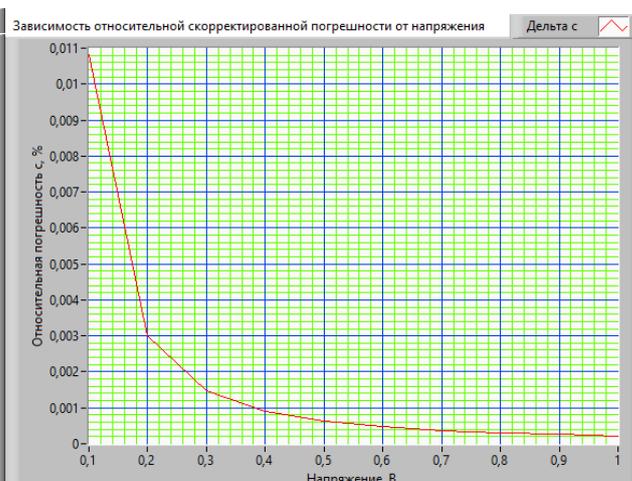


Рисунок 4.12 – Зависимость относительной скорректированной погрешности от входного напряжения.

Результаты измерений напряжения, в данном случае, получились менее точным, в отличие от случая, где мультипликативная погрешность в два раза превышает аддитивную. По данным графикам видно, что погрешность результата измерения корректируется на два порядка.

4.5 Результаты исследований при равенстве мультипликативной и аддитивной составляющих

В предыдущих подразделах были рассмотрены различные соотношения аддитивной и мультипликативной погрешностей. Представляет интерес случай, когда обе составляющие равны. Зададим для аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности значение 0,10 %. Результаты, полученные в ходе анализа, представлены на рисунке 4.13.

x	y1	y2	yc	delta	delta c
0,1	0,10055	0,1011	0,1000025	1,005	0,00299508
0,2	0,2006	0,2012	0,2000012	1,0025	0,000895527
0,3	0,30065	0,3013	0,3000008	1,00167	0,000467887
0,4	0,4007	0,4014	0,4000006	1,00125	0,000305487
0,5	0,50075	0,5015	0,5000005	1,001	0,000224551
0,6	0,6008	0,6016	0,6000004	1,00083	0,000177482
0,7	0,70085	0,7017	0,7000004	1,00071	0,000147239
0,8	0,8009	0,8018	0,8000003	1,00063	0,000126405
0,9	0,90095	0,9019	0,9000003	1,00056	0,000111296
1	1,001	1,002	1	1,0005	9,99002E-5

Рисунок 4.13 – Массивы выходных данных

В данном случае достигается максимальная коррекция результата измерений и погрешности. Погрешность корректируется на пять порядков. Графики зависимости погрешностей от напряжения представлены на рисунках 4.14 и 4.15.

Скорректированный результат измерения совпадает с результатами измерения, полученными в подразделе 4.3. Скорректированное значение относительной погрешности уменьшается на три порядка.

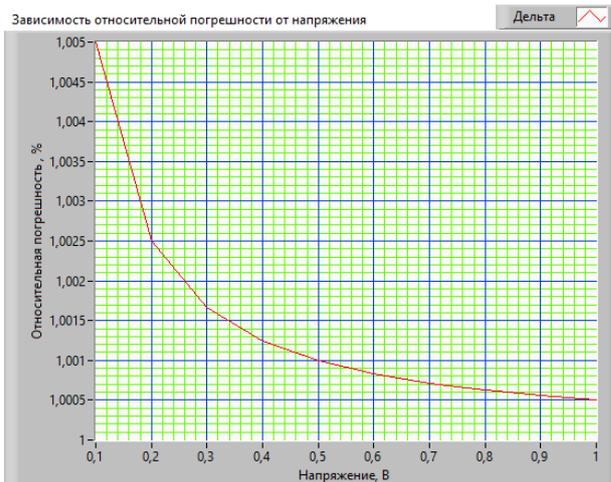


Рисунок 4.14 - Зависимость относительной погрешности от входного напряжения.

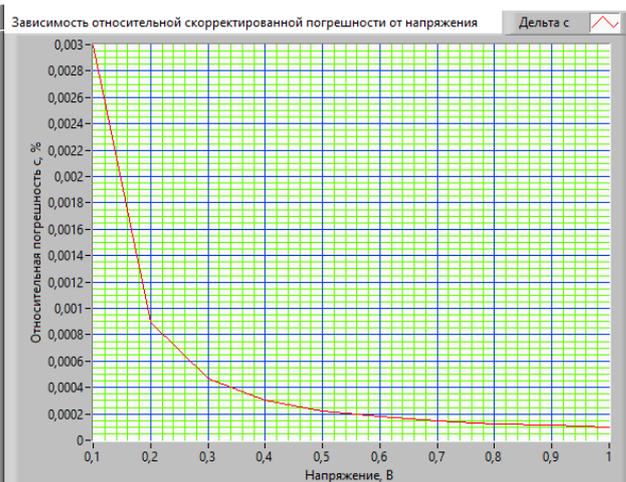


Рисунок 4.15 – Зависимость относительной скорректированной погрешности от входного напряжения.

4.6 Введение нелинейности в функцию преобразования

Для того чтобы проанализировать результаты измерения, необходимо трансформировать функцию преобразования из линейного вида в нелинейный вид. Представим функцию преобразования следующей формулой:

$$y = a + bx + cx^2, \quad (4.1)$$

где a, b, c – числовые коэффициенты.

Выразив формулу 4.1 через аддитивную и мультипликативную погрешности получаем следующее выражение:

$$y = \delta_1 + \delta_2 x + cx^2, \quad (4.2)$$

где c – коэффициент, который выбирается соразмерно аддитивной и мультипликативной погрешности ($c = 0,003$).

Построим модель метода для функции преобразования, имеющую нелинейную составляющую. Модель представлена на рисунке 4.21

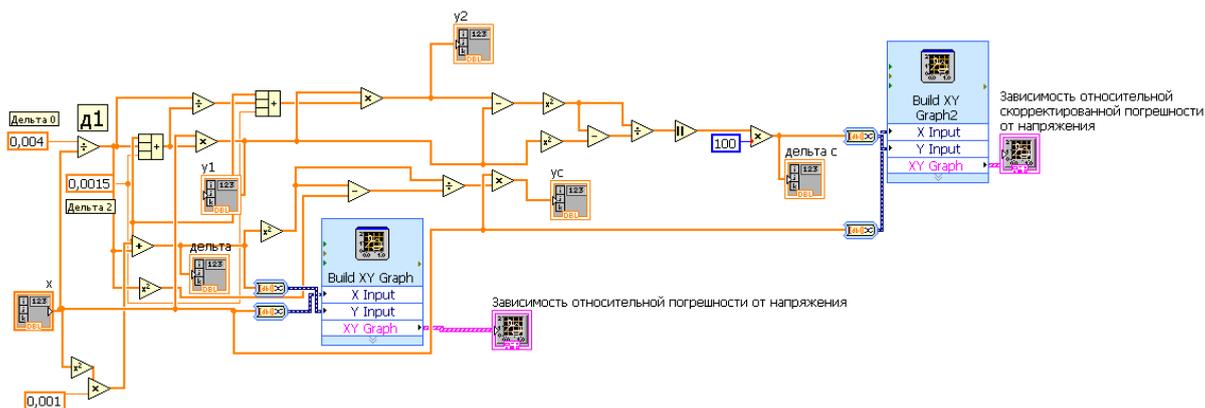


Рисунок 4.16 – Модель метода при введении нелинейности

Полученные результаты представлены на рисунке 4.17

x	y1	y2	ус	дельта	дельта с
0,1	0,004151	0,00400627	200,075	0,04001	0,121717
0,2	0,004308	0,00400663	50,15005	0,02004	0,491775
0,3	0,004477	0,00400712	22,44747	0,0134233	1,11382
0,4	0,004664	0,00400774	12,80079	0,01016	2,01984
0,5	0,004875	0,00400853	8,376923	0,00825	3,2621
0,6	0,005116	0,00400952	6,009499	0,00702667	4,90721
0,7	0,005393	0,00401073	4,613827	0,00620429	7,03128
0,8	0,005712	0,00401222	3,73703	0,00564	9,71575
0,9	0,006079	0,00401404	3,162927	0,00525444	13,0438
1	0,0065	0,00401625	2,777778	0,005	17,0977

Рисунок 4.17 – Массивы выходных данных

Результаты, полученные в ходе исследования характеристик модели, показывают, что введение нелинейности в функцию преобразования негативно влияет на процесс коррекции результата измерения и погрешности результата измерения. Результаты графически представлены на рисунках 4.18 и 4.19.

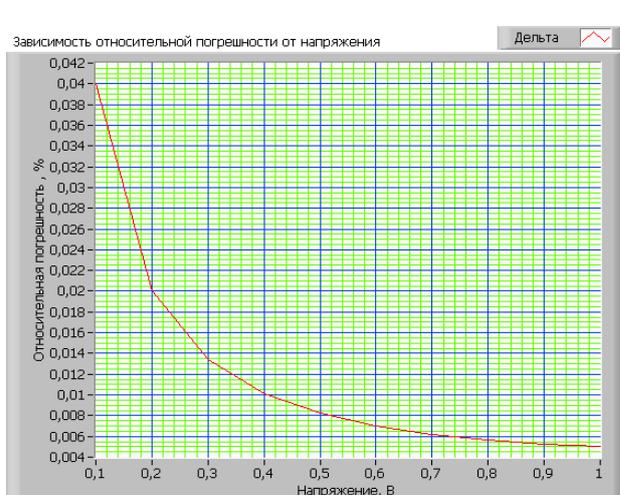


Рисунок 4.18 - Зависимость относительной погрешности от входного напряжения.

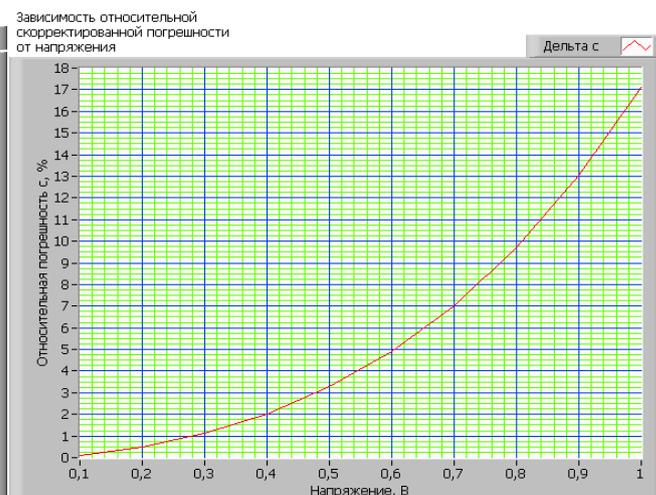


Рисунок 4.19 – Зависимость относительной скорректированной погрешности от входного напряжения.

По данным графикам можно сказать, что введение нелинейности в функцию преобразования влияет на работоспособность метода, поскольку коррекции результата измерений и погрешности не происходит. Скорректированные результаты измерения и величина скорректированной погрешности увеличивается, что противоположно цели применения метода.

Во всех рассмотренных вариациях соотношений аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности происходит коррекция результатов измерения, и относительная скорректированная погрешность уменьшается на несколько порядков. На рисунках 4.20 и 4.21 представлены обобщенные результаты исследований, до коррекции результатов измерений и после коррекции. По рисунку 4.20 можно сделать вывод, что до коррекции, наименее точный результат измерений получается в том случае, если отсутствует мультипликативная составляющая систематической погрешности, а наиболее точный, если отсутствует аддитивная составляющая. Максимальная коррекция достигается при условии отсутствия аддитивной составляющей погрешности до значения 0,5 В. Свыше 0,5 В максимальная коррекция достигается при равенстве аддитивной и мультипликативной составляющих.

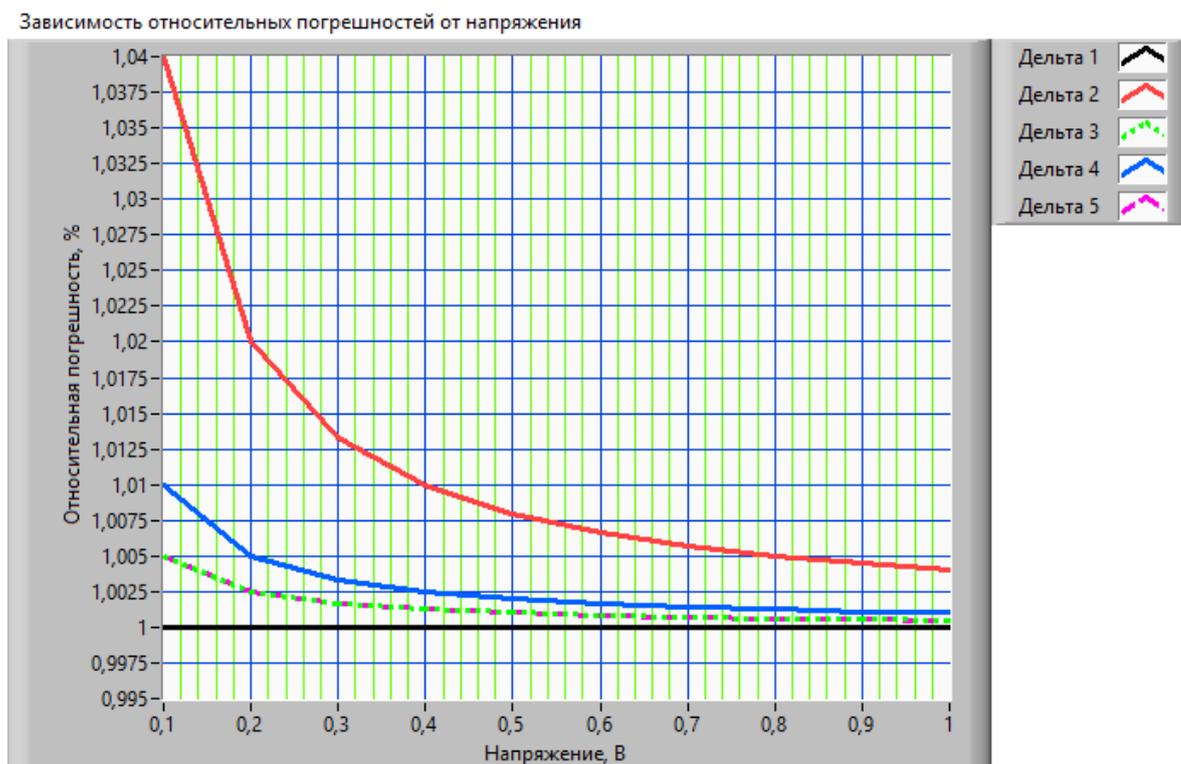


Рисунок 4.20 – Результаты измерений до коррекции

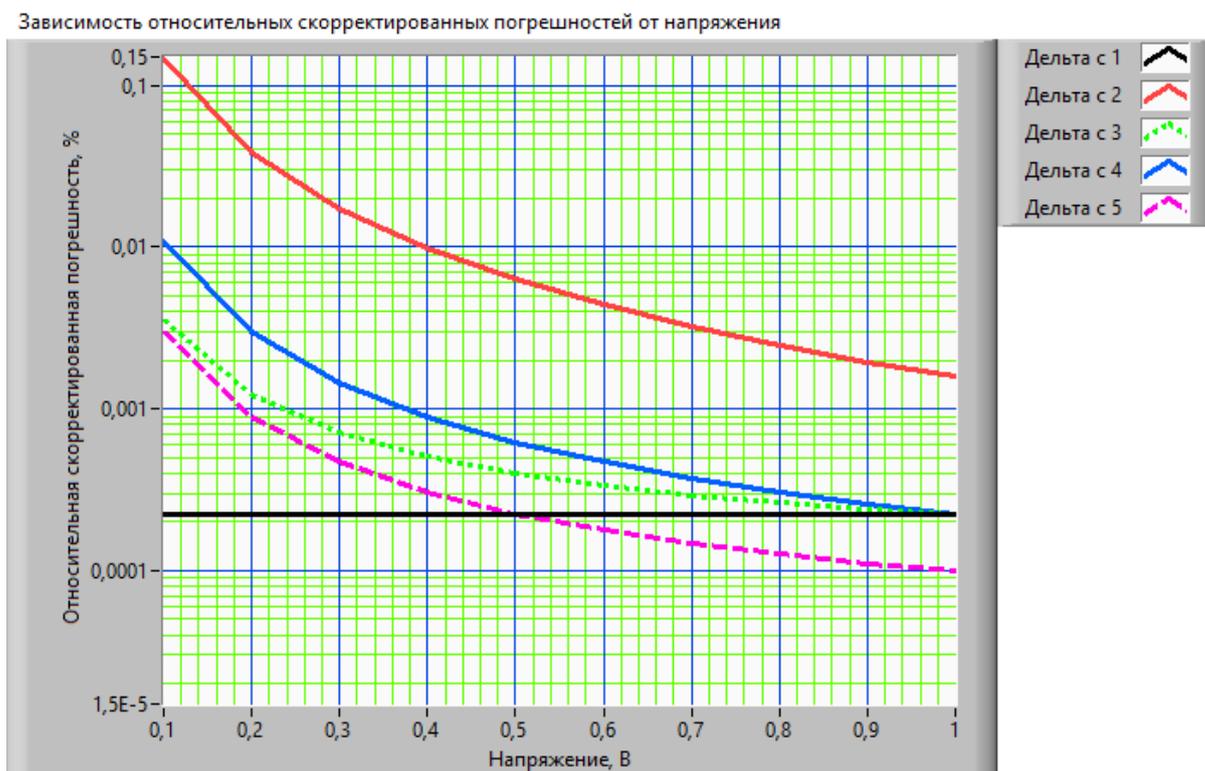


Рисунок 4.21 – Результаты измерений после коррекции

В таблице 4.1 представлены результаты исследований для всех рассмотренных случаев. Относительная погрешность в случае отсутствия аддитивной составляющей уменьшается на 4 порядка. В случае введения нелинейности в функцию преобразования метод перестает работать.

Таблица 4.1 – Результаты исследований

№	Условие	Максимальное значение погрешности		Выводы
		До коррекции, δ_{\max} , %	После коррекции, $\delta_{с \max}$, %	
1	$\delta_1 = 0$ %	1	0,0002	Погрешность после коррекции уменьшается на 4 порядка
	$\delta_2 = 0,15$ %			
2	$\delta_1 = 0,4$ %	1,04	0,148	Погрешность после коррекции уменьшается на 1 порядок
	$\delta_2 = 0$ %			
3	$\delta_1 = 0,05$ %	1,005	0,004	Погрешность после коррекции уменьшается на 3 порядка
	$\delta_2 = 0,10$ %			
4	$\delta_1 = 0,10$ %	1,01	0,011	Погрешность после коррекции уменьшается на 2 порядка
	$\delta_2 = 0,05$ %			
5	$\delta_1 = 0,10$ %	1,005	0,003	Погрешность после коррекции уменьшается на 3 порядка
	$\delta_2 = 0,10$ %			
6	Введение нелинейности $y = \delta_1 + \delta_2 x + cx^2$	0,04 (при $x = 0,1$ В)	0,122	Коррекции результата измерений не происходит
		0,005 (при $x = 1$ В)	17,1	

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках магистерской диссертации рассматривается математическая модель процедуры коррекции систематической погрешности средства измерений, предлагаются пути совершенствования параметров процедуры на основе обратного преобразования, реализуется проверка работоспособности предлагаемых решений с помощью программного пакета LabView. Следовательно, исследования, проведенные в рамках написания дипломной работы, не несут в себе особых денежных затрат. В данном разделе комплексно описаны и проанализированы финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведена оценка полных денежных затрат на исследование, а также дана приближенная экономическая оценка результатов его внедрения. В заключении дана комплексная оценка научно-техническому уровню работы на основе экспертных данных.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы определить потенциальный потребителей научной разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка методов повышения точности измерений приведено на рисунке 5.1:

		Методы повышения точности измерений			
		Метод вспомогательных измерений	Метод обратного преобразования	Метод образцовых сигналов	Тестовый метод
Размер	Крупные				Фирма В
	Средние	Фирма А		Фирма Б	Фирма В
	Мелкие	Фирма А	Фирма А		

Рисунок 5.1 - Карта сегментирования рынка по методам повышения точности измерений:

 - Фирма А
  - Фирма Б
  - Фирма В.

По итогам сегментирования определены основных сегментов данного рынка. Методы повышения точности необходимо внедрять в крупные компании. Метод обратного преобразования, реализуемый в рамках данной ВКР необходимо внедрить в средние компании, поскольку в мелких компаниях метод обратного преобразования уже реализуется, а такой сегмент, как «крупные компании» привлекательных для внедрения разработки в будущем. Внедрение данного метода на рынок возможно путем публикаций научных статей в журналах.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений необходимо проводить для того, чтобы оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов, и внести коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять конкурентам.

Для того, чтобы выявить ресурсоэффективность научной разработки и определить направления для ее будущего повышения, необходимо провести анализ конкурентных технических решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки. Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, в которой представлен объект, разрабатываемый в рамках данной ВКР - Р и два конкурента – K_1 и K_2 . В качестве K_1 рассматриваем метод вспомогательных измерений, а в качестве K_2 рассматриваем метод образцовых сигналов. Способы реализации данных методов описаны в главе 1 данной ВКР. Оценочная карта приведена в таблице 5.1.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i , \quad (5.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица 5.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_p	B_{k1}	B_{k2}	K_p	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,35	5	4	5	1,75	0,40	1,75
2. Энергоэкономичность	0,20	4	4	3	0,80	0,80	0,60
3. Безопасность	0,20	3	3	3	0,60	0,60	0,60
4. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,25	5	3	4	1,25	0,75	1,00
Итого	1	17	14	15	4,40	2,55	3,95
Примечание B_p - оценочные баллы разработки; B_{k1} - оценочные баллы первого конкурента; B_{k2} - оценочные баллы второго конкурента; K_p - конкурентоспособность разработки; K_{k1} - конкурентоспособность разработки; K_{k2} - конкурентоспособность разработки.							

Уязвимость позиции конкурентов заключается в том, что их разработки относительно не надежны, имеют небольшую функциональную мощность и сроки эксплуатации разработок конкурентов малы, а также они имеют невысокую конкурентоспособность, поэтому имеется возможность занять свою нишу и увеличить определенную долю рынка.

Конкурентное преимущество разработки заключается в том, что метод повышения точности, разрабатываемый в рамках ВКР, имеет высокий уровень надежности и функциональной мощности, а также данный метод удобен в эксплуатации. Если рассматривать данный метод с точки зрения экономической эффективности, то можно сказать, что метод не требует больших финансовых

затрат, срок эксплуатации больше чем, у разработок конкурентов, и конкурентоспособность разработки выше.

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 магистерской 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 5.2.

Таблица 5.2 – 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	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

Проанализировав данную таблицу можно сказать, что научный руководитель имеет загруженность в работе на 33 %, а студент на 98 %. По данным таблицы 5.2 в следующих разделах будет построен линейный график реализации проекта.

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 5.2:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.2)$$

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

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

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

Исходя из полученных значений $t_{ожі}$, рассчитывается продолжительность каждого вида работы в рабочих днях T_p по формуле 5.3:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (5.3)$$

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 5.4:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.4)$$

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

Коэффициент календарности в свою очередь рассчитывается по формуле 5.5:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.5)$$

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 2018 год календарных дней – 365, 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 5.4.

Таблица 5.4 – Временные показатели проведения НТИ

Номер работы	Исполнители	Трудоёмкость работ			Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб. дн.	Длительность работ в календарных днях T_{Ki} , кал. дн.
		t_{mini} , чел.-дн.	t_{maxi} , чел.-дн.	$t_{\text{ожи}}$, чел.-дн.		
1	НР	1	2	1,4	1,4	2
2	С	7	10	8,2	8,2	10
3	НР, С	4	7	5,2	2,6	3
4	С	4	6	4,8	4,8	6
5	С	25	30	27	27	33
6	С	20	25	22	22	27
7	С	6	9	7,8	7,8	10
8	С	5	7	5,8	5,8	7
9	НР,С	2	3	2,4	1,2	1
Итого				84,6	80,8	99

На основании таблицы 5.4 был построен календарный план-график, представленный на рисунке 5.2.

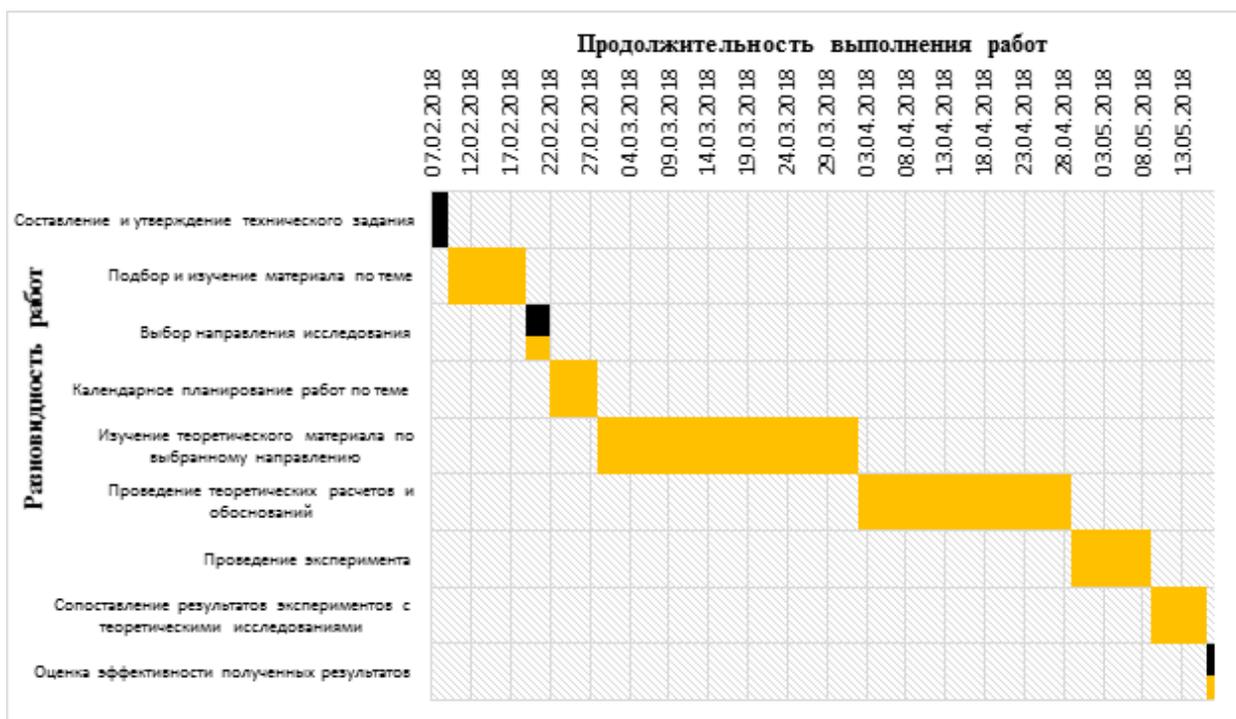


Рисунок 5.2 – Календарный план-график

Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы 5.4. Данный календарный план-график или диаграмма Ганта необходима для визуализации графика работ по реализации разработки, рассматриваемой в рамках ВКР.

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;
- полная заработная плата исполнителей темы;
- затраты на электроэнергию.

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 аналитический обзор метода обратного преобразования, а также экспериментальную проверку данного метода, то оно предусматривает затраты только 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 5.6:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{расxi}), \quad (5.6)$$

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;

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

После проведения расчетов материальных затрат результаты занесли в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы Z_m , руб.
Заправка картриджа	шт.	1	300	300
Пачка бумаги формата А4	шт.	1	260	260
Итого			560	560

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

5.6.2 Расчет заработной платы исполнителей исследования

Расчет зарплаты участников исследования проводится на основе отраслевой системы оплаты труда в ТПУ. Оклад научного руководителя выбирается исходя из соответствующей должности (профессор, доктор наук), а оклад студента-дипломника из должности учебно-вспомогательного персонала.

Заработная плата участников выполнения НИИ складывается из основной заработной платы и дополнительной и рассчитывается по формуле 5.7:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.7)$$

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 5.8:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (5.8)$$

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

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

Среднедневная заработная плата $Z_{дн}$ определяется по формуле 5.9:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.9)$$

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 5.7.

Таблица 5.7 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	С
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни):	70	70
Потери рабочего времени:		
- отпуск;	48	48
- невыходы по болезни	-	-
- командировка	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле 5.10:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (5.10)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок, принятый за 20 % от заработной платы по тарифной ставке;

k_p – районный коэффициент (для г. Томска - 1,3).

Среднедневная тарифная заработная плата ($Z_{П_{дн-т}}$) вычисляется по формуле 5.11, учитывающей, что в 2018 году 247 рабочих дней и, соответственно, в месяце в среднем 20,58 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе):

$$ЗП_{\text{дн-м}} = \frac{МО}{20,58}, \quad (5.11)$$

где МО – месячный оклад исполнителя работ.

В таблице 5.8 приведены расчеты затрат на полную заработную плату $C_{ЗП}$.

Таблица 5.8 – Затраты на заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент $K_{и}$	Фонд заработной платы, руб.
НР	47104,00	2288,82	9,0	1,699	34998,35
С	9489,00	455,11	83,2	1,699	64332,89
Итого $C_{ЗП}$					99331,24

Для каждого исполнителя затраты времени взяты из таблицы 5.4. Также используются коэффициенты премий ($K_{П}$), дополнительной заработной платы ($K_{\text{доп.ЗП}}$) районной надбавки ($K_{р}$). Значения данных коэффициентов следующие: $K_{П} = 1,1$; $K_{\text{доп.ЗП}} = 1,188$; $K_{р} = 1,3$. Таким образом, переход от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, участвующего в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) осуществляется путем умножения тарифной суммы на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$. Данный коэффициент справедлив при расчетах для шестидневной рабочей неделе.

5.6.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов определяется затратами на электроэнергию, потраченную на работу используемого оборудования при выполнении проекта. Эти затраты рассчитываются по формуле 5.12:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{э}, \quad (5.12)$$

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

$Ц_{э}$ – тариф на 1 кВт·час;

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

Для НИ ТПУ значение $C_{\text{Э}} = 5,782$ руб./ кВт·час с учетом НДС. Время работы оборудования определяется на основе итоговых данных таблицы 5.2 ($T_{\text{рд}}$) для исполнителя С из расчета восьмичасового рабочего дня по следующей формуле 5.13:

$$t_{\text{об}} = P_{\text{рд}} \cdot K_t, \quad (5.13)$$

где K_t – коэффициент использования оборудования по времени, определяемый самостоятельно исполнителем.

Мощность, потребляемая оборудованием, вычисляется по формуле 5.14:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{об}} \cdot K_C, \quad (5.14)$$

где $P_{\text{ном}}$ – номинальная мощность используемого оборудования, кВт;

K_C – коэффициент загрузки, который зависит от средней степени использования номинальной мощности. Приняли $K_C = 1$, т.к. использовали технологическое оборудование малой мощности. В таблице 5.9 представлен расчет затрат на электроэнергию для технологических целей.

Таблица 5.9 – Затраты на технологическую электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{\text{об}}$, час	Потребляемая мощность $P_{\text{об}}$, кВт	Затраты $C_{\text{эл.об}}$, руб.
Персональный компьютер	550,50	0,41	1305,03
Принтер	15,73	0,10	9,09
Итого			1314,13

В виду использования в работе технических средств малой мощности затраты на техническую электроэнергию оказались относительно небольшими.

5.6.4 Расчет накладных расходов

В данной статье отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10 % от суммы всех предыдущих расходов. Размер накладных расходов рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{накл}} = (C_{\text{зп}} + C_{\text{эл}} + C_{\text{мат}}) \cdot 0,1, \quad (5.15)$$

Применительно к нашей разработке размер накладных расходов составляет $C_{\text{накл}} = 10120,54$ руб.

5.6.5 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 5.10.

Таблица 5.10 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Номер пункта
Материальные затраты НТИ	560,00	5.6.1
Затраты по заработной плате исполнителей темы	99331,24	5.6.2
Затраты на электроэнергию	1314,13	5.6.3
Накладные расходы	10120,54	5.6.4
Бюджет затрат НТИ	111325,91	Сумма статей 5.6.1 - 5.6.4

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

Определение ресурсоэффективности разработки происходит на основе анализа различных критериев научного исследования. Анализ производится путем сравнения двух исполнений метода обратного преобразования. Первое исполнение метода подразумевает под собой компьютерную программу, реализованную в графической среде программирования LabView. Второе исполнение метода включает в себя использование при проведении измерений технических средств, таких как: калибратор Fluke 5520A и вольтметр В7-22А.

Основным преимуществом первого исполнения разработки является высокая точность, полученных результатов измерений. Поскольку при использовании в составе схемы измерений вольтметра В7-22А, мы имеем ограничение по точности, за счет небольшой разрешающей способности СИ. Кроме того, при автоматизации процесса измерений сокращается время получения РИ. Наличие СИ в реализации второго исполнения метода предполагает затраты на покупку дорогостоящего оборудования и затраты на

дальнейшее обслуживание технических средств. Сравнительная характеристика двух исполнений представлена в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Сравнительная характеристика двух исполнений метода обратного преобразования.

Критерии	Исп.1	Исп.2	Эффективность
Время получения РИ	5 мин.	0,5 мин.	В 10 раз быстрее
Затраты на техническую базу	30000 руб.	4010094 руб.	В 134 раз дешевле
Затраты на техническое (метрологическое) обслуживание	5000 руб.	6527,40 руб.	В 1,3 раза дешевле

Сравнение значений для различных критериев эффективности разработки позволяет понять, что наиболее эффективный вариант решения технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности это первый вариант исполнения разработки.

6 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, метод повышения точности измерений, реализованный в программном пакете LabView, в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды.

В дальнейшем, разработку, полученную в ходе написания данной ВКР, будет использовать инженер-метролог. Рабочим местом является лаборатория, рабочей зоной является стол с персональным компьютером.

В данном разделе указаны такие вредные и опасные факторы, оказывающие негативное влияние на организм человека, как:

- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- недостаток естественного освещения;
- повышенная напряженность электромагнитного поля;
- недостаточная освещённость рабочей зоны;
- монотонность работ;
- напряженность зрения;
- электрический ток;
- короткое замыкание.

Так же в ходе анализа опасных и вредных факторов указан характер вредного воздействия данных факторов на организм и последствия их длительного или чрезмерного воздействия.

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

Описано влияние разработки, реализуемой в рамках магистерской диссертации на окружающую среду.

6.1 Профессиональная социальная безопасность

6.1.1 Опасные и вредные факторы

Таблица 6.1 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ПК	1. Повышенная напряженность электромагнитного поля; 2. Превышение уровня электромагнитных излучений; 3. Недостаток естественного освещения; 4. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 5. Монотонность. 6. Напряженность зрения.	1. Электрический ток; 2. Короткое замыкание.	Организация работ должна проводиться в соответствии с требованиями НТД: – ГОСТ 12.0.003; – СП 51.13330.2011; – СанПиН 2.2.4.548; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; – ГОСТ 12.1.004; – ГОСТ 12.1.010; – ГОСТ 12.2.032.

6.1.2 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений — метеорологические условия внутренней среды помещений. 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 [9], предоставлены в таблице 6.2.

Оценка рабочего места на соответствие нормам параметров микроклимата производилась в холодное время года. Температура воздуха в помещении составила 21 °С, а относительная влажность воздуха – 52 %, таким образом, температура воздуха не соответствует допустимым нормам, а

относительная влажность в помещении соответствует указанным нормам. Также, в помещении необходимо предусмотреть систему отопления, функционирующую в зимнее время. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха.

Таблица 6.2 - Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	22-24	21-25	40-60	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	23-25	22-26	40-60	0,1

6.1.3 Недостаточная освещённость рабочей зоны

Рациональное освещение помещения и рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условий труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. Нерациональное освещение может вызвать утомление организма, зрения, а также травматизм на рабочем месте. В учебной аудитории применяется совместное освещение. Основным источником освещения – шесть потолочных светильников с зеркальными решетками, в каждом по четыре люминесцентные лампы типа TL-D с мощностью 60 Вт. Светильники имеют квадратную форму со стороной 0,54 м и создают равномерное освещение всей аудитории. Схема расположения светильников представлена на рисунке 6.1. В соответствии с СП 52.13330.2011 [10] работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 % относится к разряду II, подразряду Б.

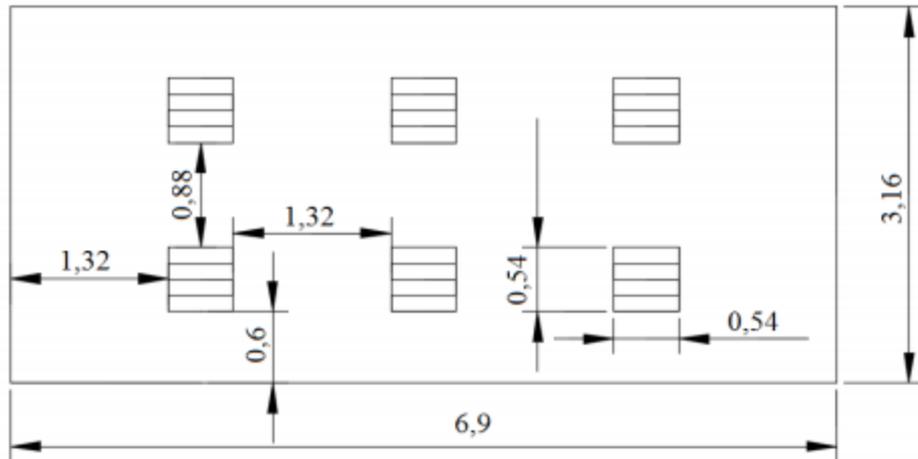


Рисунок 6.1 – Схема расположения светильников в аудитории

В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения E_n должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности K_n не должен превышать 5 %, коэффициент естественной освещенности (КЕО) не должен превышать 2,1 % в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [11] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [12].

Расчет искусственного освещения для учебной аудитории.

Данные для расчета:

- размеры помещения: $A = 3,16$ м; $B = 6,9$ м; $H = 2,9$ м; $S = 21,9$ м²;
- количество рядов светильников $N = 2$;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м;
- коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 50$ %;
- коэффициент отражения потолка $\rho_{п} = 70$ %;
- коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_z = 1,5$;
- коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$;
- параметр для светильника типа ОДР с защитной решеткой $\lambda = 1,1-1,3$;
- световой поток одной лампы $\Phi_1 = 2500$ лм.

Рассчитали индекс помещения i по формуле:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} \quad (6.1)$$

Получили в результате значение $i = 0,75$.

Исходя из значения индекса помещения определили коэффициент использования светового потока $\eta = 38 \%$. Требуемый световой поток нашли по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100\%}{N \cdot \eta} . \quad (6.2)$$

В результате получили значение $\Phi = 12967,11$ лм. В каждом светильнике 4 лампы со световым потоком 2500 лм. Таким образом, необходимое число светильников в ряду должно быть равно одному.

Рассчитали фактическое освещение в помещении. Получили значение светового потока $\Phi = 30000$ лм для одного ряда светильников, т.е. для трех светильников с четырьмя лампами. На основании полученного значения рассчитали фактическое значение освещения в помещении по формуле:

$$E_{\text{фактич}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100\%} . \quad (6.3)$$

В результате получили значение $E_{\text{фактич}} = 630,97$ лк.

На основании проделанных расчетов можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет нормам освещения, а число светильников даже избыточно, и их одновременная работа необязательна.

6.1.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В качестве источника электромагнитного излучения в данной работе рассматривается персональный компьютер.

Степень и характер воздействия ЭМП 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.

Временно допустимые уровни (ВДУ) ЭМП при работе с компьютером приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз. Также должна быть учтена схема размещения рабочих мест с компьютерами: расстояние между рабочими местами – 2 м, между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м. Компьютер, на котором проводилось выполнение исследования, оснащен LCD монитором, напряженность ЭМП которого менее 2,5 В/м, что соответствует норме.

6.1.5 Психфизиологические факторы

При выполнении работ на персональном компьютере согласно ГОСТ 12.0.003 [13] могут иметь место следующие психфизиологические факторы:

- монотонность работ;
- зрительное напряжение.

Работа на ПК сопровождается постоянным и значительным напряжением функций зрительного анализатора. Для студентов старших курсов оптимальное время учебных занятий при работе ПЭВМ составляет два часа с обязательным

соблюдением между двумя академическими часами занятий перерыва длительностью 15 - 20 мин.

Для предупреждения развития переутомления обязательными мероприятиями являются:

- проведение упражнений для глаз через каждые 20 - 25 мин работы за ПЭВМ;
- устройство перерывов после каждого академического часа занятий, независимо от учебного процесса, длительностью не менее 15 мин.

Монотонной работой называют такую работу, отличительными признаками которой служит однообразие рабочих действий, их многократное повторение и небольшая длительность. Общим признаком для всех монотонных работ является перегрузка информацией при выполнении работ.

Основной мерой по уменьшению влияния монотонности на человека является применение оптимальных режимов труда и отдыха в течение рабочего дня. Для восьмичасовой рабочей смены и третьей категории тяжести устанавливается перерыв в 70 мин. Следует устанавливать, перерыв через два часа после начала смены и через два часа после обеденного перерыва продолжительностью по 20 минут каждый либо по 15 минут, но через каждый час работы.

Данные требования в ходе выполнения работ соблюдаются, т.к. максимальная продолжительность работ не превышает 2 часов, и перерыв осуществляется после одного часа работы.

6.1.6 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.

Учебная аудитория является помещением без повышенной опасности, т.е. отсутствуют какие-либо условия, создающие опасность: помещение сухое,

хорошо отапливаемое, полы токонепроводящие, температура и влажность соответствует нормам. В аудитории отсутствуют электроустановки, за исключением ПК. Деятельность непосредственно связана с ПЭВМ, токоведущие части которого изолированы, т.е. случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетокосоведущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление. Заземление корпуса ПЭВМ, а также кондиционера обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, для электроустановок с напряжением до 1000 В.

6.2 Экологическая безопасность

Как правило, любая деятельность человека, в особенности связанная с производственной деятельностью, оказывает негативное влияние на окружающую среду.

Деятельность по проведению исследований для дипломной работы основывалась исключительно на использовании ПЭВМ, что не является промышленной деятельностью, однако, неправильно утилизированная компьютерная техника может негативно повлиять на окружающую среду – при распаде на тяжелые металлы и ядовитые соединения.

Все отходы, которые образуются в ходе работы, выбрасываются в урну, а затем утилизируются. Люминесцентные лампы утилизируются специальным персоналом кафедры. При появлении неисправностей компьютерная техника списывается также специальным персоналом кафедры, а затем подвергается утилизации специализированными организациями

Утилизация ПК осуществляется следующим образом.

1. Правильное заполнение акта списания с указанием факта невозможности дальнейшей эксплуатации, перечисленной в акте измерительной техники, о чем имеется акт технического осмотра;

2. Осуществление списания перечисленной в акте измерительной техники с баланса предприятия с указанием в бухгалтерском отчете, так как утилизация возможна для осуществления только после окончательного списания;

3. Непосредственно утилизация измерительной техники с полным демонтажем устройств на составляющие детали с последующей сортировкой по видам материалов и их дальнейшей передачей на перерабатывающие заводы. Количество деталей, содержащих драгоценные металлы, оформляется отдельным актом.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004 [14] и ГОСТ 12.1.010 [15].

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

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. Для предотвращения возникновения пожара в учебной аудитории осуществляется ряд действий:

- помещение содержится в чистоте. По окончании работы проводится влажная уборка всех помещений;

- работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- на видном месте вывешен план эвакуации из помещения с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;
- уходящий из помещения последним проверяет выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т. д. и отключение силовой и осветительной электрической сети.

Проанализировав рабочее место (учебную аудиторию) на соответствие требованиям пожарной безопасности не было выявлено несоответствий, т.к. уборка помещения регулярно проводится техническим персоналом. План эвакуации расположен рядом с выходом из аудитории. Последним уходит из аудитории преподаватель. Он берет на себя обязательства по проверке электроприборов и отключению осветительных приборов.

6.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

Во избежание возникновения пожара необходимо выполнение следующих требований:

- выполнение работ в аудитории только с исправным оборудованием и электропроводки;
- наличие средств тушения пожара;
- огнетушителей;
- свободный доступ к средствам тушения и выходу из помещения;
- подключение только одного потребителя электроэнергии к одному источнику электропитания;
- знание плана эвакуации и места расположения средств пожаротушения;
- недопустимость курения и разведения открытого огня в аудитории.

Аудитория, в которой проводилось исследование, находится в учебном корпусе 10. Данное здание соответствует всем требованиям пожарной

безопасности: имеется система охранно-пожарной сигнализации, порошковые огнетушители, планы эвакуации и таблички с направлениями к запасному выходу.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Эргономические требования к рабочему месту

В соответствии с ГОСТ 12.2.032 [16] конструкция рабочего места и взаиморасположение всех его элементов должны соответствовать физиологическим, антропометрическим и психологическим требованиям, а также характеру производимой работы.

Согласно санитарным нормам и правилам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [12] высота рабочей поверхности в среднем устанавливается на уровне нерегулируемой высоты в 0,725 м. Схема рабочего места представлена на рисунке 6.2.

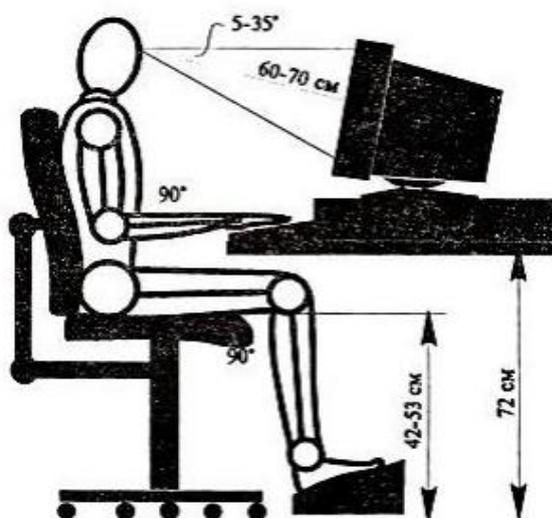


Рисунок 6.2 – Схема рабочего места при работе с ПЭВМ

В учебной аудитории высота рабочей поверхности не регулируется и составляет 0,7 м. Пространство для ног должно быть не менее 0,6 м, шириной – не менее 0,5 м, глубиной на уровне колен – не менее 0,45 м. Высота сиденья устанавливается на уровне 0,42 м. Монитор компьютера следует размещать на расстоянии от 0,6 до 0,7 м и на 20 градусов ниже глаз пользователя.

Проанализировав рабочее место в учебной аудитории не было выявлено никаких несоответствий. Рабочее место соответствует санитарным нормам.

6.4.2 Режим труда и отдыха

В санитарных нормах СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [13] установлено, что вид выполняемой деятельности относится к группе В, т.е. является творческой работой в режиме диалога с ПЭВМ. Для группы В категория тяжести и напряженности работы устанавливается по суммарному времени работы с ПЭВМ за рабочую смену.

Для сохранения здоровья и оптимального обеспечения работоспособности пользователя ПЭВМ должны быть регламентировано установлены перерывы в работе. Для восьмичасовой рабочей смены и третьей категории тяжести устанавливается перерыв в 70 мин. Следует устанавливать, перерыв через два часа после начала смены и через два часа после обеденного перерыва продолжительностью по 20 минут каждый либо по 15 минут, но через каждый час работы. Продолжительность непрерывной работы с ПЭВМ не должна превышать двух часов. Во время перерывов рекомендуется выполнять специальные комплексы упражнений с целью снятия утомления, нервного и эмоционального напряжения.

Данные требования в ходе выполнения работ соблюдаются, т.к. максимальная продолжительность работ не превышает 2 часов.

Выводы по разделу «Социальная ответственность»

В данном разделе ВКР был проведен анализ опасных, вредных факторов и чрезвычайных ситуаций, возникающих в процессе автоматизации метода обратного преобразования. Наиболее опасными и вредными факторами являются:

- электрический ток,
- короткое замыкание,
- недостаток естественного освещения;
- повышенная напряженность электромагнитного поля;

- недостаточная освещённость рабочей зоны;
- монотонность;
- напряженность зрения.

Разработаны меры безопасности по предотвращению и защите от данных вредных и опасных факторов. Рассчитано освещение и определено соответствие условий микроклимата, освещенности, электробезопасности, экологической безопасности, пожаробезопасности и эргономических параметров рабочего места в условиях которого реализуется разработка, требованиям соответствующих нормативных документов. В ходе анализа рабочего места на соответствие требованиям НТД несоответствий не выявлено. Предложены меры по поддержанию необходимых условий на рабочем месте. Мероприятия по защите атмосферы и природных ландшафтов приведены в соответствии с требованиями к охране окружающей среды.

Заключение

Повысить точность измерений можно с помощью структурно-алгоритмических методов и чаще всего для этих целей применяют метод обратного преобразования. В этом методе организация коррекции погрешностей измерительного канала сводится к разработке рационального алгоритма автоматических измерений. Коррекция погрешности измерений осуществляется с помощью дополнительных, по отношению к измерительному каналу, средств.

В данной работе рассматривался мультипликативный метод обратного преобразования, предназначенный для повышения точности цифровых средств измерений. Данный метод требует определения условий работоспособности.

В ходе работы в среде графического программирования LabView была создана модель метода и исследованы ее характеристики при различных соотношениях аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности, и при введении нелинейности квадратичного вида. Исследуемый метод был усовершенствован, а именно, были определены параметры коррекции, при которых метод работает.

Во всех рассмотренных вариациях соотношений аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности происходит коррекция результатов измерения. До применения процедуры коррекции, наименее точный результат измерений получается в том случае, если отсутствует мультипликативная составляющая систематической погрешности, а наиболее точный, если отсутствует аддитивная составляющая. Максимальная коррекция достигается при условии отсутствия аддитивной составляющей погрешности до значения 0,5 В. Свыше 0,5 В максимальная коррекция достигается при равенстве аддитивной и мультипликативной составляющих.

Относительная погрешность в случае отсутствия аддитивной составляющей уменьшается на 4 порядка. В случае введения нелинейности в функцию преобразования коррекция не осуществляется.

Список используемых источников

- 1 РМГ 64-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 20 с.
- 2 Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
- 3 Пиотровский Я. Теория измерений для инженеров. – М.: Мир, 1989. – 335 с.
- 4 Muravyov S.V. Model of procedure for measurement result error correction. Proceedings of the XVI IMEKO World Congress, (September 25-28, 2000, Vienna, Austria), vol. 5, 135-139.
- 5 Muravyov S.V., Zlygosteva G.V., Borikov V.N. Multiplicative method for reduction of bias in indirect digital measurement result // Metrology and Measurement Systems.– 2011.– Vol. 18.– № 3.– P. 481-490.
- 6 А. с. 911346 СССР. Устройство для измерения напряжения / Муравьев С.В., Рузаев Е.Н. // Бюлл. № 9, 1982.
- 7 Muravyov S.V., Borikov V.N. and Natalinova N.M. Arrangement for shunts calibration // Patent on utility model.–№ 80585 (Russian Federation). Bull.– 2009.–№ 4.
- 8 Т.М. Алиев, А.А. Тер-Хачатуров, А.М. Шекиханов. Итерационные метода повышения точности измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 186 с.
- 9 Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.
- 10 Свод правил: СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. М.: Минрегион России, 2011. – 74 с.
- 11 Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному

и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003. – 27 с.

12 Санитарно - эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003. – 56 с.

13 ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2016. – 16 с.

14 ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 67 с.

15 ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

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

Приложение А

(обязательное)

Раздел 2

The inverse conversion method for correcting the systematic error

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ61	Босова Ирина Сергеевна		

Консультант ОАР ИШИТР:

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

Консультант – лингвист ОИЯ ИШИТР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ИШИТР	Кузнецова Ирина Николаевна			

2 The inverse conversion method for correcting the systematic error

2.1 Measurement accuracy enhancement using inverse conversion method

The proposed resistance measurement method is based on the inverse conversion technique for a bias correction described in [1,2] which will be shortly discussed in this section.

For the description of a measuring chain transfer function we will use the following simple model:

$$y = x(1 + \delta) = x(1 + \delta_1 + \delta_2) = x \left(1 + \frac{\Delta_0}{x} + \delta_2 \right), \quad (2.1)$$

where: x is the measurand;

y is the measurement result;

γ is the initial relative error, is the relative additive error;

Δ_0 is the absolute additive error;

γ_2 is the relative multiplicative error.

Figure 1 shows a diagram characterizing the error correction method.

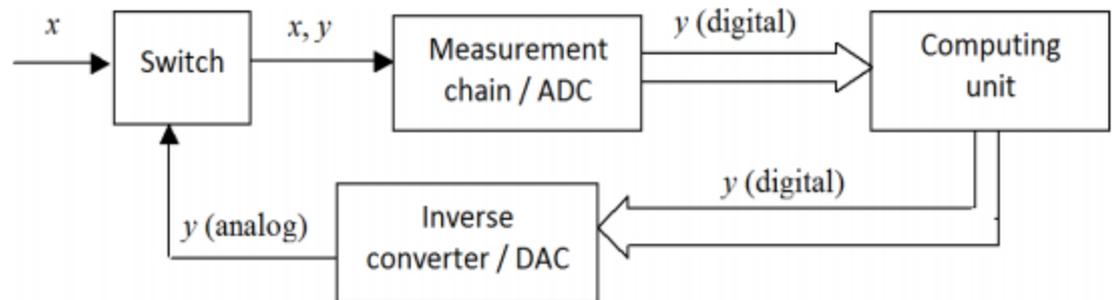


Figure 2.1. Error correction method based on inverse conversion

The measurement is conducted in two stages in the following way, see Fig. 2.1. In the first step, the measurand x is connected to the input of the measuring channel that is generally an analog-to-digital converter (ADC). The digital code of the measurement result $y_1 = x \cdot (1 + \delta_1 + \delta_2)$, is stored in the computing unit and applied to the inverse converter unit that is generally a digital-to analog converter (DAC), on the

output of which there is the analog value of y_1 . In the second step, the input of the measuring channel is connected to the value obtained at the inverse converter output by means of the switch. The measuring chain output is:

$$y_2 = x \cdot \frac{1 + \delta_1 + \delta_2}{1 + \delta_1 + \delta_2} \cdot \left(1 + \frac{\delta_1}{1 + \delta_1 + \delta_2} + \delta_2 \right). \quad (2.3)$$

Bringing the expression obtained for y_c to the canonical form (2.1) we have:

$$y_c = \frac{y_1^2}{y_2} = x \left(1 + \frac{\delta_1 \delta}{1 + \delta^2 - \delta_1 \delta} \right) = x \left(1 + \frac{\delta_1 (\delta_1 + \delta_2)}{1 + \delta_1 + \delta_2^2 - \delta_1 (\delta_1 + \delta_2)} \right). \quad (2.4)$$

The effect of considerable measurement error reduction as a result of the correction is demonstrated in Figure 2.2.

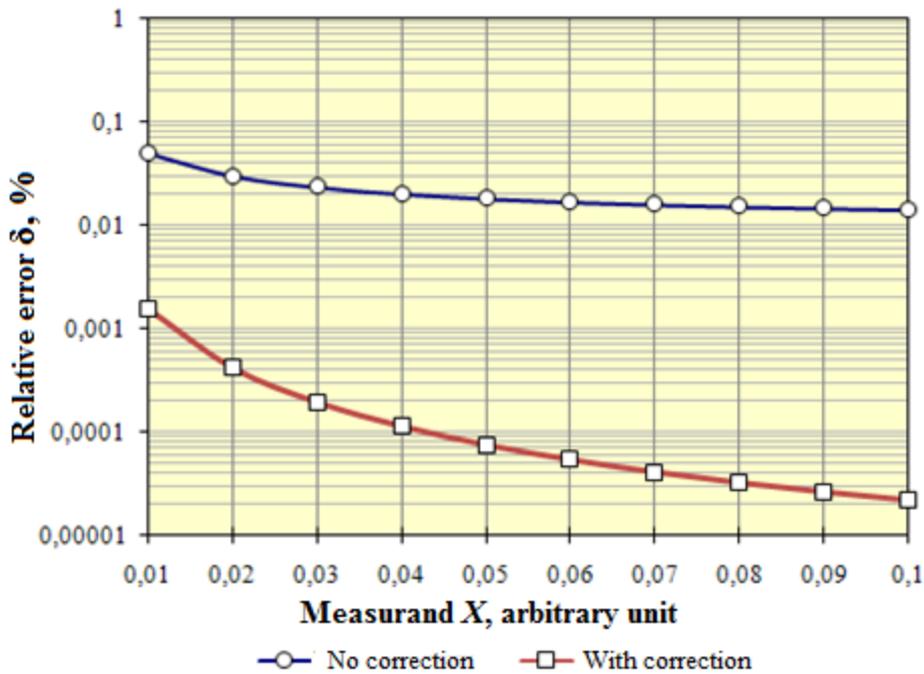


Figure 2.2. Dependence of theoretical relative measurement error on x .

As it can be seen from formula (2.4), in the corrected measurement result the initial relative error γ has been multiplied by the value $\frac{\delta_1}{(1 + \delta_1 + \delta_2)^2 - \delta_1 (\delta_1 + \delta_2)}$.

Let us introduce designation $\psi = \frac{\delta}{\delta_c}$, where δ_c is an error of the corrected measurement result. Then formula (2.4) follows the validity of the expression:

$$\frac{\delta_1}{(1 + \delta_1 + \delta_2)^2 - \delta_1(\delta_1 + \delta_2)} = \frac{1}{\psi}. \quad (2.5)$$

Taking notice that the denominator in the left hand part of formula (2.5) is practically equal to 1 as $\delta_1, \delta_2 \ll 1$, we obtain

$$\delta_1 \sim 1/\psi. \quad (2.6)$$

It means that the error reduction is practically independent of the initial relative multiplicative error under the proposed technique. The corrected error δ_c is a factor of ψ lower, where ψ varies inversely as the initial relative additive error. For example, if the relative additive error is 0.01, the corrected result error will be a factor of 100 lower than the initial relative error.

Thus, by means of the inverse conversion method, a correction of both multiplicative and additive errors is possible.

The method of shunt active resistance measurement on the basis of the inverse conversion approach is considered further.

2.2 Proposed method experimental validation

An experimental check-up of the proposed method of the bias correction ohmic resistance measurements was carried out with and without the correction procedure. Multivalued measure of electrical resistance R4831 (also manufactured in the Russian Federation) of the accuracy class 0.02/2·10⁻⁶ has been used as an object under test. Two inexpensive 4.5-digit multimeters V7-22A manufactured in the Russian Federation acted as ammeter and voltmeter. The principle of the multimeter's ADC operation is based on dual slope integration. The multimeter is characterized by a random error that is considerably (namely, at least by a factor of 55) lower than a systematic one. Hence, in the experimental researches we suppose the random error to be neglected. The instrument specifications are reduced in Table 2.1.

The limits of relative additive δ_1 and multiplicative δ_2 errors of this multimeter both in current and voltage measurements are standardized in the following way: $\delta_1 = bx_r/x\%$, $\delta_2 = a\%$, where x_r is the measurement range.

Table 2.1. Specifications of the multimeter V7-22A.

Measurand	Measurement range	Accuracy
DC voltage	0.2, 2, 20, 200 V	$\pm(0,15 + 0,2 \cdot x_r/x) \%$
	1000 V	$\pm(0,15 + 0,4 \cdot x_r/x) \%$
DC current	0.2, 2, 20, 200 mA	$\pm(0,25 + 0,25 \cdot x_r/x) \%$
	2 A	$\pm(0,25 + 0,3 \cdot x_r/x) \%$

Then, we have the following limits of relative additive and multiplicative errors for voltage and current measurements appropriately: $\delta_1^v = \frac{0,2 \cdot V_i}{V} = \frac{0,04}{V} \%$;

$$\delta_2^v = 0,15 \%; \delta_1^i = \frac{0,25 \cdot I_i}{I} = 0,5 \%; \delta_2^i = 0,25 \%.$$

Comparison of no correction and with correction measurement accuracies has been done by computing deviations of measured resistance values R from nominal ones R_n . Two series of measurements were conducted: for nominal resistances 0.1, 0.2, ..., 1.0 Ohm and 0.01, 0.02, ..., 0.1 Ohm. Random uncertainty was absent in these measurements, therefore, for each of the rated resistance values, single measurements were carried out. All the measurements were made under the rated current $I_n = 100$ mA. Thus, for voltage measurements the range 0.2 V was used and for current the range 200 mA of the multimeter V7-22A was taken.

The measurement results obtained for the scale $R_n = 0.1$ through 1.0 Ohm are reduced to Table 2.2 and presented in Figure 2.3. Graph 1 in Figure 2.3 shows behavior of the limit of resistance measurement relative error without correction built by formula:

$$\delta = \frac{\delta^v + \delta^i}{1 + \delta^i} = \frac{\delta_1^v + \delta_2^v + \delta_1^i + \delta_2^i}{1 + \delta_1^i + \delta_2^i} = \frac{\frac{0,04}{V} + 0,9}{1,0075} = \frac{0,04 + 0,9 \cdot V}{1,0075 \cdot V}. \quad (2.7)$$

Graph 2 in Figure 2.3 showing behavior of the limit of resistance measurement relative error with correction is built by formula:

$$\delta_c = \left(\frac{\delta_1^v \delta^v}{(1 + \delta^v)^2 - \delta_1^v \delta^v} + \frac{\delta_1^i \delta^i}{(1 + \delta^i)^2 - \delta_1^i \delta^i} \right) \left/ \left(1 + \frac{\delta_1^i \delta^i}{(1 + \delta^i)^2 - \delta_1^i \delta^i} \right) \right. \quad (2.8)$$

Table 2.2. Experimental data for $R_n = 0.1$ through 1.0 Ohm: $I_1 = 100.1$, $I_2 = 100.2$, $I_c = 100.0001$ mA for all R_n .

R_n , Ohm	Raw data		V_1, V	V_2, V	V_c, V	R_e, Ohm	R_{ec}, Ohm	$\delta, \%$	$\delta_c, \%$	$\delta_e, \%$	$\delta_{ec}, \%$
	V_1, V	V_2, V									
0,1	0,015	0,0160	0,0101	0,0102	0,010001	0,100899	0,100010	4,8635	0,1570	0,8991	0,0097
0,2	0,025	0,0260	0,0201	0,0202	0,020000	0,200799	0,200005	2,8784	0,0449	0,3996	0,0024
0,3	0,035	0,0360	0,0301	0,0302	0,030000	0,300699	0,300003	2,2167	0,0229	0,2331	0,0010
0,4	0,046	0,0462	0,0402	0,0404	0,040001	0,401598	0,400010	1,8859	0,0149	0,3996	0,0024
0,5	0,056	0,0562	0,0502	0,0504	0,050001	0,501499	0,500007	1,6873	0,0112	0,2997	0,0015
0,6	0,066	0,0662	0,0602	0,0604	0,060001	0,601399	0,600006	1,5550	0,0091	0,2331	0,0010
0,7	0,076	0,0762	0,0702	0,0704	0,070001	0,701299	0,700005	1,4605	0,0078	0,1855	0,0007
0,8	0,086	0,0862	0,0802	0,0804	0,080000	0,801199	0,800004	1,3896	0,0069	0,1499	0,0005
0,9	0,096	0,0964	0,0903	0,0906	0,090001	0,902098	0,900009	1,3344	0,0063	0,2331	0,0010
1,0	0,106	0,1064	0,1003	0,1006	0,100001	1,001998	1,000008	1,2903	0,0059	0,1998	0,0008

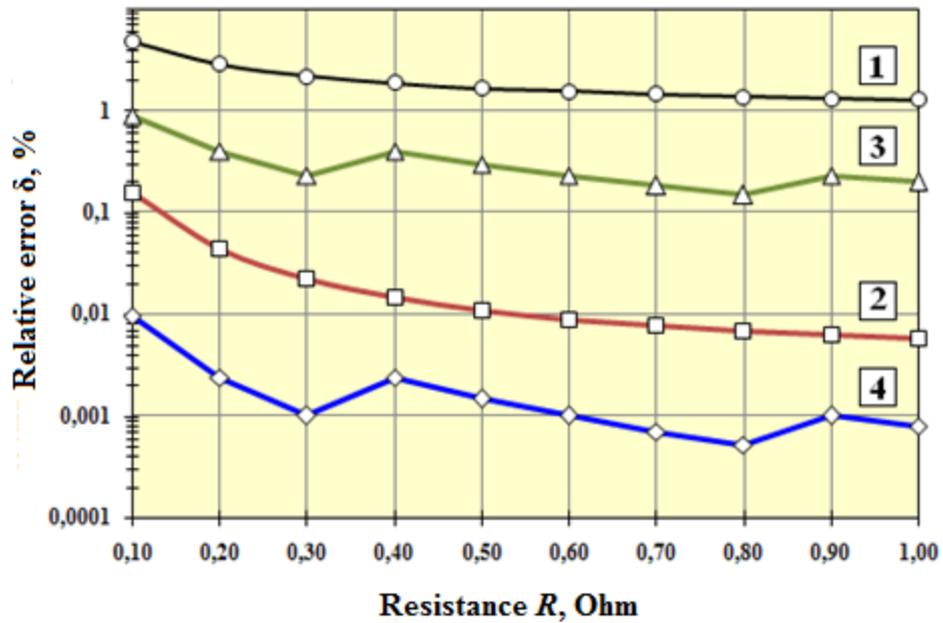


Figure 2.3. Dependency of the relative error on R for $R_n = 0.1$ through 1.0 Ohm: error limit – without (1) and with (2) correction; and experimental error – without (3) and with (4) correction.

It follows from the experimental research (see Table 2.2) that the voltage V_2 can vary only in a narrow corridor defined by the expression:

$$V_1 - V_i = V_2 - V_1, \quad (2.10)$$

where: V_n is the rated voltage.

That is why the presence of a random error can cancel a positive effect of the proposed method. However, if a systematic error prevails (what is the case of this experimental research), the method works well.

Table 2.3. Valid combinations of V_1 and V_2 and corresponding experimental corrected error δ_{ce} as revealed from experimental data (see Table 2.1)

$(V_1 - V_n), B$	$R_n = 0,1 \text{ Ohm } (V_n = 0,01 \text{ V})$			$R_n = 1 \text{ Ohm } (V_n = 0,1 \text{ V})$		
	V_1, V	V_2, V	$\delta_{ec}, \%$	V_1, V	V_2, V	$\delta_{ec}, \%$
- 0,0002	0,0098	0,0096	0,04157	0,0998	0,0996	0,0003
- 0,0001	0,0099	0,0098	0,0101	0,0999	0,0998	0
0	0,0100	0,0100	0,0001	0,1000	0,1000	0,0001
0,0001	0,0101	0,0102	0,0097	0,1001	0,1002	0
0,0002	0,0102	0,0104	0,03836	0,1002	0,1004	0,0003
0,0003	0,0103	0,0106	0,08481	0,1003	0,1006	0,0008

Table 2.3 and Figure 2.4 show how the experimental corrected error δ_{ce} depends on the voltage deviation $V_1 - V_n = V_2 - V_1$ for the beginning of scale $R_n = 0.1 \text{ Ohm}$ and $V_n = 0.01 \text{ V}$ (Figure 2.4, a) and for the end of scale $R_n = 1 \text{ Ohm}$ and $V_n = 0.1 \text{ V}$ (Figure 2.4, b). One can see that the maximal correction is reached where $|V_1 - V_n| = 0 \dots 0.0001 \text{ V}$. Under the condition that random measurement errors can be neglected, application of the bias correction based on inverse conversion allows to considerably increase the accuracy of measurement – by more than two orders of magnitude, what has been validated by both theoretical and experimental outcomes.

When computing the corrected measurement result, only multiplicative operations over two measured values are used – namely, squaring and division – the corrected error is independent of the sign of the systematic bias and always decreased by the absolute value.

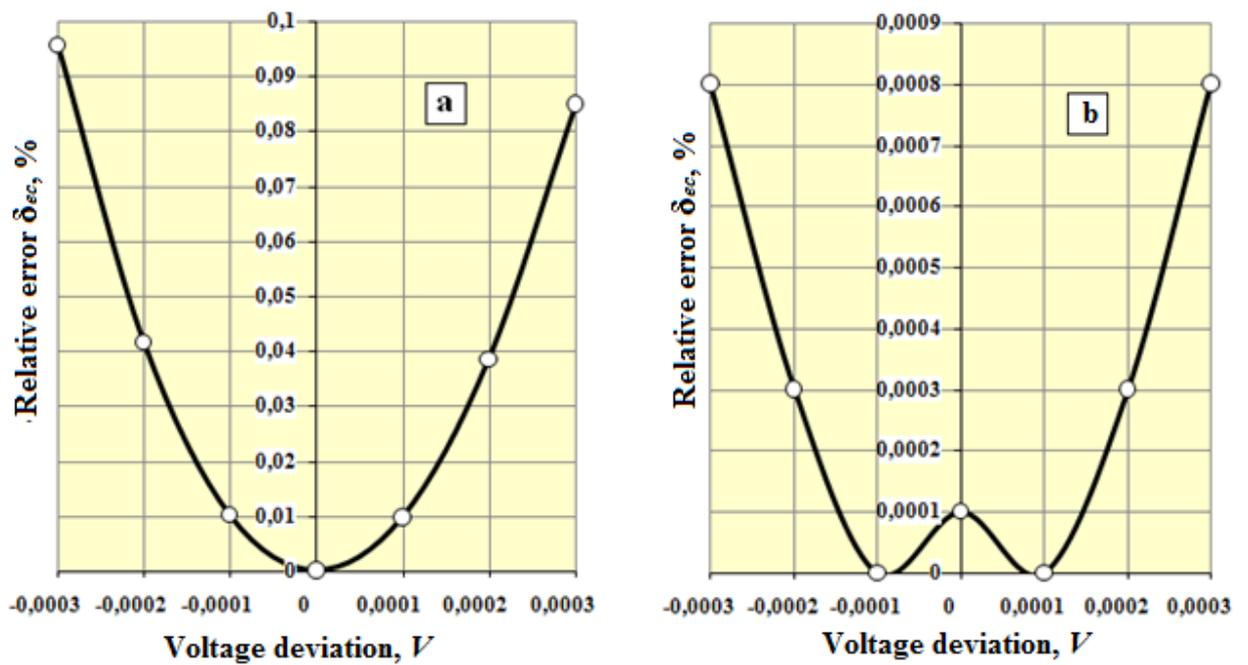


Figure 2.4. Dependence of the experimental corrected error δ_{ce} on voltage deviation $V_1 - V_n$ for the scale $R_n = 0.1$ through 1.0 Ohm :
 (a) – the case of $R_n = 0.1 \text{ Ohm}$ and $V_n = 0.01 \text{ V}$;
 (b) – the case of $R_n = 1 \text{ Ohm}$ and $V_n = 0.1 \text{ V}$.