

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

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Автоматическая коррекция систематической погрешности средств измерений</b>
УДК <u>681.51:621.317.7.083.92</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Горенинский Иван Васильевич		

Руководитель ВКР

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

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	к.х.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф.-м.н., с.н.с.		
Руководитель ОАР ИШИТР	Леонов Сергей Владимирович	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

## Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

### «Стандартизация и метрология»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<b>Профессиональные компетенции</b>		
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; проводить 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
<b>Универсальные компетенции</b>		
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

Код результата	Результат обучения (выпускник должен)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
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 науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

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

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
Казаков В.Ю.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Горенинскому Ивану Васильевичу

Тема работы:

<b>Автоматическая коррекция систематической погрешности средств измерений</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	12.02.19 г., 1097/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2019 г.
--	---------------

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(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.).</i>	Наименование объекта: тестовый метод повышения точности измерений
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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>	1 Состояние проблемы разработки методов коррекции систематической погрешности 2 Усовершенствование тестового метода 3 Создание компьютерной модели 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная часть
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В.С. Николаенко
Социальная ответственность	Н.А. Атепаева
Раздел, выполненный на английском языке	А.В. Диденко
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
1 Состояние проблемы разработки методов коррекции систематической погрешности	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
8ГМ71	Горенинский Иван Васильевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Горенинскому Ивану Васильевичу

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

### 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 бюджета 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.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	29.03.2019
---	------------

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Николаенко Валентин Сергеевич			

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Горенинский Иван Васильевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Горенинскому Ивану Васильевичу

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

Тема ВКР:

<b>Автоматическая коррекция систематической погрешности средств измерений</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является метод повышения точности измерений Область применения – измерительные системы.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений 4. Психофизиологические факторы 5. Повышенный уровень напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Утилизация ПК и люминесцентных ламп.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Существует вероятность возникновения техногенных ЧС, особенно пожаров.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.03.19
--	----------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Горенинский Иван Васильевич		

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология  
 Уровень образования Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение автоматизации и робототехники  
 Период выполнения осенний / весенний семестр 2018/2019 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:	03.06.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.02.2019	Состояние проблемы разработки методов коррекции систематической погрешности	
17.02.2019	Методы повышения точности измерений	
16.03.2019	Усовершенствование тестового метода	
17.04.2019	Создание компьютерной модели	
01.05.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
15.05.2019	Социальная ответственность	
25.05.2019	Оформление графического материала	
30.05.2019	Оформление расчетно-пояснительной записки	

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

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

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОАР ИШИТР	Казаков Вениамин Юрьевич	к.ф.-м.н., с.н.с.		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа 80 страниц, 21 рисунок, 13 таблиц, 32 формулы, 15 источников.

Ключевые слова: систематическая погрешность, тестовый метод, коррекция погрешности

Объектом исследования является тестовый метод повышения точности измерительного канала.

Цель работы – усовершенствование тестового метода повышения точности измерительного канала для исключения влияния параметров аддитивного и мультипликативного тестов на результат измерения. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие методы коррекции результатов измерений;
- разработать структурную схему измерительного канала для реализации усовершенствованного тестового метода;
- разработать компьютерную модель усовершенствованного метода в среде LabVIEW;
- исследовать поведение разработанной компьютерной модели.

Область применения: усовершенствованный тестовый метод может быть использован для организации высокоточных измерений при проведении экспериментов в различных отраслях науки и техники.

## Содержание

	С.
Введение	13
1 Состояние проблемы разработки методов коррекции систематической погрешности	14
1.1 Точность и погрешность измерения	14
1.1.1 Случайная и систематическая погрешности измерения	16
1.2 Методы повышения точности измерений	16
1.2.1 Метод образцовых мер	20
1.2.2 Метод обратного преобразования	21
1.2.3 Тестовый метод	22
2 Усовершенствование тестового метода	25
2.1 Устранение влияния параметра мультипликативного теста	25
2.2 Устранение влияния параметра аддитивного теста	26
2.3 Устранение влияния параметров аддитивного и мультипликативного тестов	28
3 Создание компьютерной модели	31
3.1 Создание модели измерительного канала при применении тестового метода	31
3.2 Создание модели измерительного канала при применении усовершенствованного тестового метода	34
3.3 Исследование полученной модели усовершенствованного тестового метода	37
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	40
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	40
4.2 Анализ конкурентных технических решений	41

4.3 Структура работ в рамках научного исследования	43
4.4 Определение трудоемкости выполнения работ	43
4.5 Составление графика проведения научного исследования	44
4.6 Определение бюджета научно-технического исследования	46
4.6.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования	47
4.6.2 Расчет заработной платы исполнителей исследования	48
4.6.3 Расчет затрат на электроэнергию	50
4.6.4 Расчет накладных расходов	51
4.6.5 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	52
4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	52
5 Социальная ответственность	54
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	54
5.1.1 Эргономические требования к рабочему месту	54
5.1.2 Режим труда и отдыха	55
5.2 Производственная безопасность	56
5.2.1 Опасные и вредные факторы	56
5.2.2 Отклонение показателей микроклимата	57
5.2.3 Недостаточная освещённость рабочей зоны	58
5.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений	60
5.2.5 Психофизиологические факторы	61
5.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	62
5.3 Экологическая безопасность	62
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	63

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований	63
5.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	64
Выводы по разделу «Социальная ответственность»	65
Заключение	67
Список использованных источников	68
Приложение А The state of the problem of developing methods for correcting systematic error	70

## Введение

Минимизация систематической погрешности средств измерений (СИ) является важной и необходимой стадией практической измерительной процедуры, позволяющей повысить точность измерений. Актуальность работы заключается в необходимости дальнейшего совершенствования методов повышения точности измерений и, в частности, тестового метода как одного из самых распространенных.

Целью работы является усовершенствование тестового метода повышения точности измерительного канала для исключения влияния параметров аддитивного и мультипликативного тестов на результат измерения. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить существующие методы коррекции результатов измерений;
- разработать структурную схему измерительного канала для реализации усовершенствованного тестового метода;
- разработать компьютерную модель усовершенствованного метода в среде LabVIEW;
- исследовать поведение разработанной компьютерной модели.

Область применения: усовершенствованный тестовый метод может быть использован для организации высокоточных измерений при проведении экспериментов в различных отраслях науки и техники.

## **1 Состояние проблемы разработки методов коррекции систематической погрешности**

Повышение требований к качеству продукции влечет за собой ужесточение требований к допускам на контролируемые параметры сырья и продукции, а, следовательно, и ужесточение требований к точности измерений.

Обеспечение требуемой точности измерений, выполняемых на различных стадиях производства является одной из главных задач метрологической службы предприятия. В условиях жесткой конкурентной борьбы за лидерство на рынке возрастают требования к качеству выпускаемой продукции и остро встает вопрос о повышении точности измерений.

### **1.1 Точность и погрешность измерения**

Всегда повышение точности измерений способствовало развитию народного хозяйства, мирового научно-технического прогресса, улучшению здоровья и жизни людей. Фундаментальным научным открытиям неоднократно предшествовало значительное повышение точности измерений.

Основные применяемые на практике методы повышения точности измерений изложены в РМГ 64-2003 «ГСИ. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений» [1].

Под точностью подразумевается характеристика качества измерения, которая отражает близость погрешности измерения к нулю. Каждый метод повышения точности измерений уменьшает (исключает) ту или иную составляющую погрешности. Как известно, понятия точность измерения и погрешность измерения тесно связаны между собой, чем меньше погрешность, тем выше точность измерения. Погрешность является важнейшей метрологической характеристикой средств измерений, это отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой

величины. Существуют различные виды погрешностей, классификация которых приведена на рисунке 1.

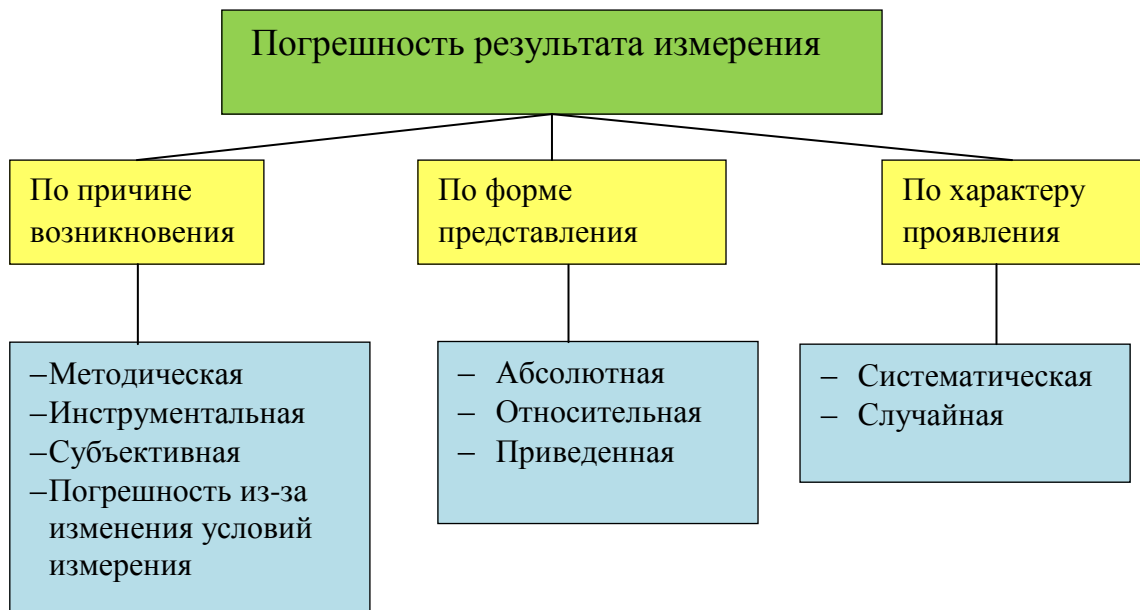


Рисунок 1 – Классификация погрешности СИ

Методические погрешности обусловлены несовершенством метода, упрощениями, лежащими в основе метода. Погрешности, вызванные неточностью градуировки шкалы, несовершенством принципа действия средства измерений называют инструментальной погрешностью. Также по причине возникновения существуют субъективные погрешности, это погрешности, обусловленные профессионализмом оператора. При использовании средства измерений условиях, отличающихся от нормальных, появляется так называемая дополнительная погрешность.

По форме представления различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности. Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах измерения, что и измеряемая величина, относительная погрешность в отличие от абсолютной является безразмерной величиной, численное значение указывается, как правило в процентах.

### **1.1.1 Случайная и систематическая погрешности измерения**

Процесс измерения неизбежно сопровождается ошибками, которые вызваны нестабильностью условий проведения измерений, несовершенством измерительных средств, несовершенством методики измерений и самого метода измерений, недостаточным опытом оператора, выполняющего измерения и другими факторами.

Если при повторных измерениях одной и той же величины погрешность изменяется случайным образом, то такую погрешность называют случайной. Эта погрешность непостоянна по знаку и величине, а конкретное значение случайной погрешности предсказать невозможно. На появление данной погрешности влияет комплекс факторов, среди которых нет доминирующих. Случайные погрешности полностью устранить невозможно, их значения можно уменьшить, принимая меры, позволяющие стабилизировать факторы, влияющие на данную погрешность.

Систематическая погрешность измерения остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Эти погрешности можно выявить, уменьшить или устранить. Существуют различные методы уменьшения систематической погрешности СИ, но с развитием науки и техники требуется увеличить точность данных методов. Далее рассмотрим подробнее существующие методы повышения точности измерений.

### **1.2 Методы повышения точности измерений**

Одним из наиболее эффективных способов повышения точности измерений является использование высокоточных средств измерений.

В соответствии с РМГ 64 существуют следующие методы повышения точности средств измерений (рисунок 2).





Рисунок 2 – Методы повышения точности измерений

Метод замены менее точного средства измерений на более точное результативнее при доминирующей инструментальной составляющей погрешности измерений. Для измерительных каналов и информационно-измерительных систем (ИИС) заменяют на более точные только те средства измерений, у которых погрешности доминируют при расчете суммарной погрешности (ИИС) или канала. В ряде случаев из-за невозможности выбора более точных средств измерений, данный способ повышения точности не всегда доступен. Это связано с условиями эксплуатации средств измерений. Этот способ является затратным, так как при увеличении точности средства измерений увеличивается их стоимость.

Метод ограничения условий применения средств измерений целесообразен, при доминировании дополнительных погрешностей СИ, вызванные существенным отклонением внешних влияющих факторов от принятых соответствующими нормативными документами в качестве нормальных. А также, данным методом можно уменьшить некоторые методические составляющие погрешности измерений.

Метод индивидуальной градуировки СИ эффективен при доминировании систематической составляющей погрешности. Данная погрешность может быть уменьшена за счет введения поправки на результат измерения. Эти поправки получают при индивидуальной градуировке СИ. Индивидуальную градуировку СИ активно используют в АСУТП и ИИС. При применении данного метода необходимо учитывать изменение систематических составляющих погрешности СИ за короткий промежуток времени эксплуатации.

При доминировании случайной составляющей погрешности СИ рационально выполнить многократные наблюдения и дальнейшее усреднение результатов. Необходимо учитывать, что случайная составляющая СИ текущих значений больше случайной составляющей СИ усредненного значения. Для повышения точности измерений текущих значений необходимо избегать сглаживания информации о процессе изменения измеряемой величины. Данный способ работает, если во время усреднения отсутствует изменение текущих значений измеряемой величины, одновременно с изменением погрешности текущих значений. Таким образом, частотный спектр случайной составляющей погрешности измерений текущих значений значительно больше частотного спектра процесса изменения измеряемой величины.

Для снижения трудоемкости измерений внедряют автоматизацию измерительных процедур, что способствует исключению субъективных погрешностей, которые возникают при вычислении промежуточных и конечных результатов измерений, при обработке диаграмм и при других операциях, выполняемых человеком.

Внедрение способов контроля работоспособного состояния средств измерений в процессе их эксплуатации способствует нахождению, исключения или снижению метрологических отказов. В ряде случаев системы контроля работоспособности СИ в процессе эксплуатации достаточно эффективны без каких-либо ограничений на составляющие погрешности СИ и их систематический или случайный характер.

При доминировании методических составляющих погрешности измерений разрабатывают или усовершенствуют методики выполнения измерений. В АСУТП и ИИС составляющие методической погрешности измерений, определенные отличием функции от алгоритма вычислений, уменьшают применением более совершенного алгоритма. Усовершенствование алгоритма обработки результатов измерений так же может улучшить методику выполнения измерений.

Не менее эффективным методом повышения точности – это использование при измерениях информационной избыточности.

Метод сравнения с мерой заключается в сравнении размера измеряемой величины с размером величины, воспроизводимой мерой, при помощи компаратора. Искомое экспериментальное значение величины вычисляют по полученным значениям показаний компаратора и номинального значения меры. Данный метод исключения систематической погрешности измерений является наиболее эффективным. Если показание компаратора равно нулю, такой метод называют нулевым, при других показателях называют дифференциальным. Важным условием применения нулевого метода, является использование регулируемых или многозначных мер с малой дискретностью воспроизведения размера величины. Это условие ограничивает применение нулевого метода, так как эти меры менее точны по сравнению с однозначными мерами.

Метод обратного преобразования применяют при автоматической коррекции погрешности СИ. При реализации этого метода используют обратный преобразователь, реальная статическая функция преобразования (СФП) которого совпадает с функцией, обратной номинальной характеристике преобразования СИ. Данный метод итерационный и эффективен, если обратный преобразователь точнее прямого преобразователя. Он обладает следующими особенностями:

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

Тестовые методы повышения точности измерений используют в различных ИИС для измерения электрических и неэлектрических величин. Суть этих методов заключается в определении параметров СФП при помощи дополнительных преобразований тестов, каждый тест связан функционально с измеряемой величиной [1].

### 1.2.1 Метод образцовых мер

Суть метода образцовых мер заключается в сравнении измеряемой величины с размером величины, воспроизводимой мерой, при помощи компаратора. Далее рассчитывают измеряемую величину по полученным значениям компаратора и номинальному значению меры. Применение данного метода является наиболее эффективным способом уменьшения систематической погрешности измерений. Область применения ограничена линейными измерительными преобразователями электрических величин [2]. Структурная схема метода представлена на рисунке 3.

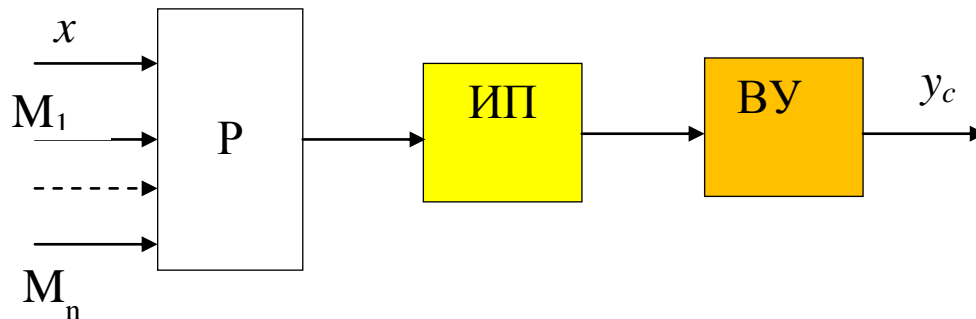


Рисунок 3 – Структурная схема метода образцовых мер

Скорректированный результат измерения рассчитывается путем решения системы уравнений (1)

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= a_1 + a_2x + \dots + a_nx^{n-1} \\ y_1 &= a_1 + a_2M_1 + \dots + a_nM_1^{n-1} \\ &\dots \\ y_n &= a_1 + a_2M_n + \dots + a_nM_n^{n-1} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

## 1.2.2 Метод обратного преобразования

Метод обратного преобразования имеет множество модификаций, эффективность использования которых зависит от характера корректируемой погрешности, от требуемого быстродействия, от имеющихся в наличии аппаратных средств, точности и т.д. На рисунке 4 представлена структурная схема метода уменьшения систематической погрешности измерений.

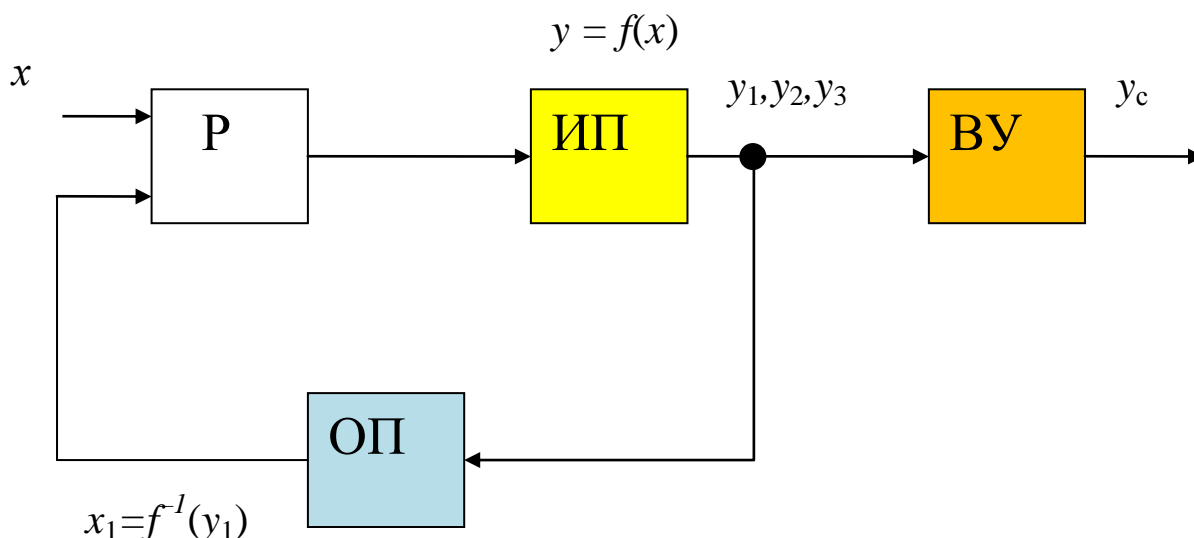


Рисунок 4 – Структурная схема метода обратного преобразования

Исходные данные для скорректированного результата измерений получают в ходе выполнения двух итераций. Измеряемая величина  $x$  подается на вход измерительного преобразователя (ИП), далее цифровой код результата запоминает вычислительное устройство (ВУ) и подает его на вход обратного преобразователя (ОП), на выходе которого получается аналоговый сигнал, соответствующий результату измерений  $y_1$ . Далее величину, полученную на выходе обратного преобразователя при помощи распределителя (Р) подают на вход измерительного преобразователя (ИП). После измерения аналогового сигнала  $y_2$ , вычислительное устройство (ВУ) определяет значение скорректированного результата измерений  $y_c$ .

Метод обратного преобразования позволяет уменьшать аддитивную и мультипликативную составляющие погрешности измерений [2].

### 1.2.3 Тестовый метод

Тестовые методы повышения точности измерений позволяют исключить влияние на результат измерений параметров исходного измерительного устройства и других составляющих погрешности измерений посредством преобразования специальных тестовых сигналов и обработки результатов преобразований по определенному алгоритму. Данные методы обладают высокой эффективностью, а также позволяют на своей базе создавать измерительные системы для измерений, как электрических, так и неэлектрических величин. Сущность тестовых методов повышения точности измерений состоит в определении параметров статической функции преобразования при помощи дополнительных преобразований тестов, которые функционально связаны с измеряемой величиной. При реализации тестовых методов процесс измерения состоит из  $n+1$  тактов, где  $n$  – количество используемых тестов. В первом такте преобразуется измеряемая величина, далее в  $n$  дополнительных тактах преобразуются тесты  $A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)$ , каждый из которых является функцией измеряемой величины [2]. Результаты преобразований  $y_1, y_2, \dots, y_n$  могут быть представлены в виде:

$$\left. \begin{array}{l} y_1 = a_1 + a_2 A_1(x) + \dots + a_n A_1(x)^{n-1} \\ \dots \\ y_n = a_1 + a_2 A_n(x) + \dots + a_n A_n(x)^{n-1} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

Для получения тестового алгоритма повышения точности измерений, необходимо определить параметр  $a_1, a_2, \dots, a_n$  статической функции преобразования исходного средства измерений из системы уравнений (2), далее найти значение измеряемой величины, подставив полученные значения параметров  $a_1, a_2, \dots, a_n$ .

Структурная схема измерительной системы алгоритма тестового метода повышения точности измерений представлена на рисунке 5.

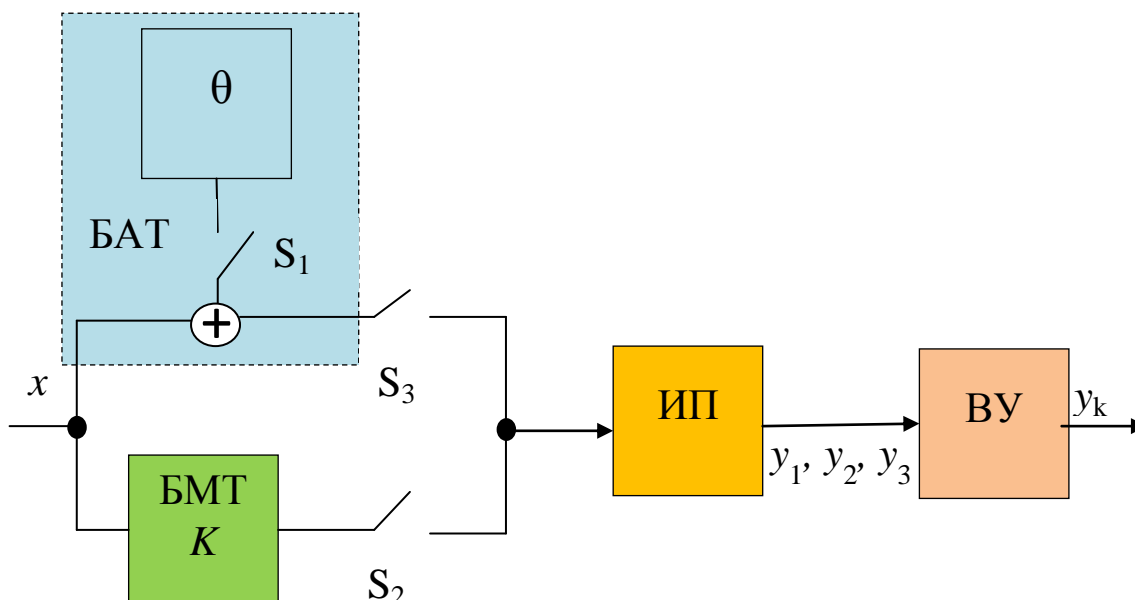


Рисунок 5 – Структурная схема измерительной системы

Измерительная система состоит из блока аддитивного теста (БАТ), блока мультипликативного теста (БМТ), вычислительного устройства (ВУ), измерительного преобразователя (ИП), ключей ( $S_1, S_2, S_3$ ).

Процесс измерения состоит из трех тактов. В первом такте ключи  $S_1, S_2$  разомкнуты, на вход подается только измеряемая величина. Во втором такте ключ  $S_1$  замыкается и на вход измерительного преобразователя подается аддитивный тест ( $x + \theta$ ), формируемый блоком аддитивного теста (БАТ). В третьем такте ключ  $S_1$  размыкается и замыкается ключ  $S_2$ , обеспечивая подключение ко входу измерительного преобразователя мультипликативного теста вида  $K \cdot x$ , формируемого блоком мультипликативного теста. То есть чтобы получить значение измеряемой величины, необходимо решить систему уравнений следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= a_1 + a_2 x; \\ y_2 &= a_1 + a_2 (x + \theta); \\ y_3 &= a_1 + a_2 K x \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

Следовательно, выражение для определения значения измеряемой величины выглядит следующим образом:

$$y_k = x = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot \frac{\theta}{K - 1}. \quad (4)$$

Погрешность блоков формирования тестов вычисляется следующим образом (5):

$$\Delta = \gamma_\theta \cdot \Delta_\theta + \gamma_K \cdot \Delta_K, \quad (5)$$

где  $\Delta_\theta$  – абсолютная погрешность, обусловленная отличием реального значения постоянной составляющей  $\theta$  аддитивного теста от номинального;

$\Delta_K$  – абсолютная погрешность, обусловленная отличием реального значения коэффициента преобразования БМТ от номинального;

$\gamma_\theta, \gamma_K$  – весовые коэффициенты, определяемые соотношениями (6):

$$\left. \begin{aligned} \gamma_\theta &= \frac{y_3 - y_1}{(y_2 - y_1) \cdot (K - 1)} = \frac{x}{\theta} \\ \gamma_K &= \frac{(y_3 - y_1) \cdot \theta}{(y_2 - y_1) \cdot (K - 1)^2} = \frac{x}{K - 1} \end{aligned} \right\}. \quad (6)$$

Учитывая выражение (5) и выражение (6), запишем выражение для нахождения относительной погрешности (7):

$$\delta = \frac{1}{\theta} \cdot \Delta_\theta - \frac{1}{K - 1} \cdot \Delta_K. \quad (7)$$

Как видно из формулы (4), результат измерения зависит от параметров аддитивного и мультипликативного тестов  $\theta$  и  $K$ , поэтому стабильность этих параметров во многом определяет результирующую погрешность измерения. Вследствие этого данный метод является несовершенным и требует дальнейших исследований и усовершенствования.



## 2 Усовершенствование тестового метода

Так как точность тестового метода зависит от точности используемых блоков аддитивного и мультипликативного тестов, поэтому улучшение метода заключается в разработке алгоритма, при котором будет устраняться влияние параметров используемых тестов на результат измерений. Используя данный алгоритм, можно создавать измерительные системы, обладающие более высокой точностью, по сравнению с обычными тестовыми методами.

### 2.1 Устранение влияния параметра мультипликативного теста

Как видно из выражения (4) результат измерения зависит от параметров БАТ и БМТ. Если получение стабильного значения параметра  $\theta$  не вызывает особых затруднений, то создание БМТ со стабильным коэффициентом преобразования не всегда осуществимо.

На рисунке 6 представлена структурная схема измерительной системы, в которой исключается влияние коэффициента преобразования  $K$  БМТ на результат измерения [2].

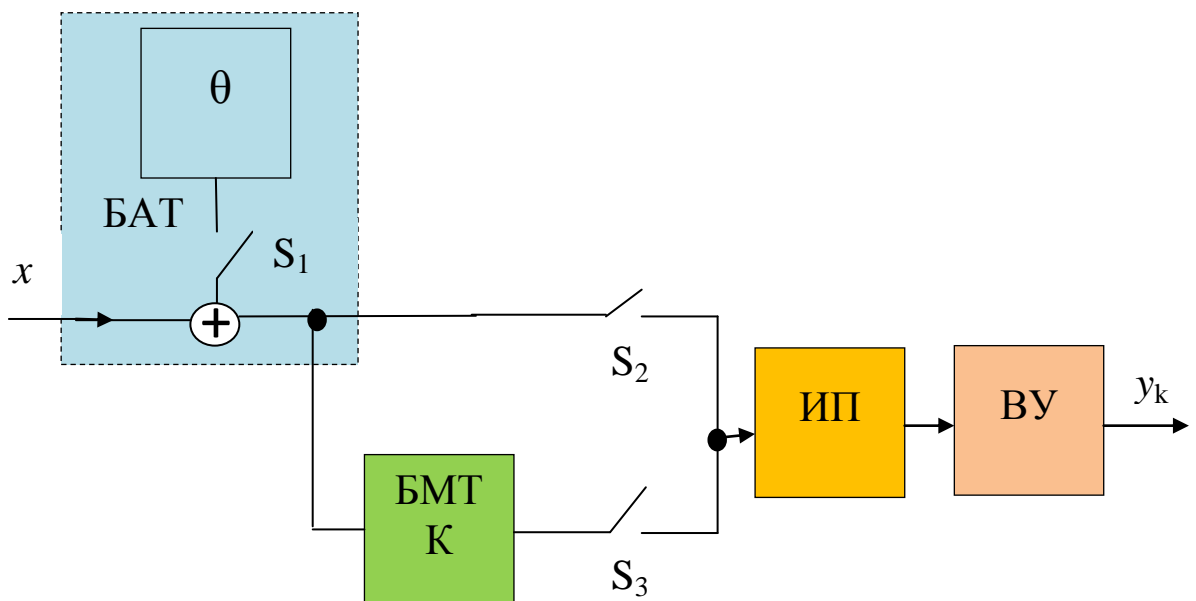


Рисунок 6 – Структурная схема измерительной системы

Вход БМТ соединен с выходом БАТ и введено еще одно дополнительное преобразование. Измерительный процесс состоит из четырех тактов. Первые три такта аналогичны первым трем тактам работы схемы, изображенной на рисунке 6. В четвертом такте при замкнутом ключе  $S_2$  замыкаются ключи  $S_1$  и  $S_3$ , подключая тем самым ко входу ИП тест вида  $K \cdot (x + \theta)$ . Тестовый алгоритм в этом случае выглядит следующим образом (8):

$$y_k = x = \frac{y_3 - y_2}{(y'_3 - y'_2) - (y_3 - y_2)} \cdot \theta, \quad (8)$$

где  $y^2$  – результат преобразования измеряемой величины;  $y_3$ ,  $y'_2$ ,  $y'_3$  – результаты преобразования тестов  $Kx$ ,  $x + \theta$ ,  $K \cdot (x + \theta)$  соответственно.

Как видно из выражения 8, результат измерения не зависит от коэффициента  $K$  преобразования БМТ, но зависит от параметра  $\theta$  аддитивного теста.

## 2.2 Устранение влияния параметра аддитивного теста

Существует алгоритм, позволяющий исключить влияние параметра  $\theta$  БАТ на результат измерения. В том случае если есть возможность ввести в цепь обратный преобразователь, аддитивный тест может быть получен при помощи ОП. На рисунке 7 представлена структурная схема измерительной системы с каналом обратного преобразования.

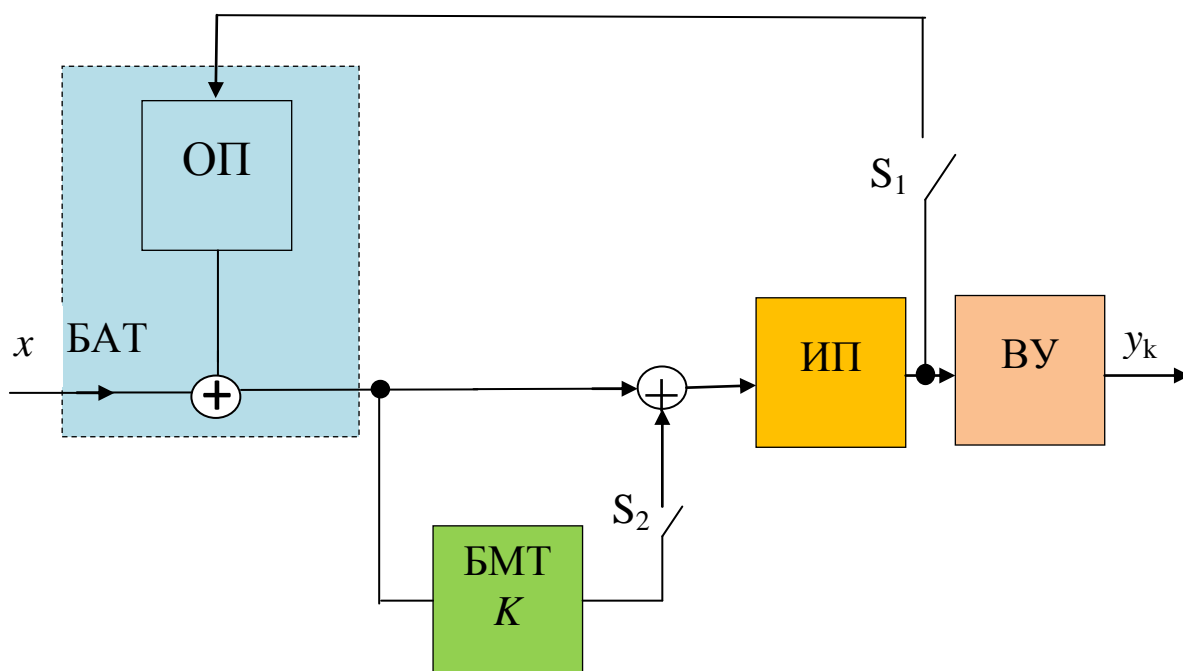


Рисунок 7 – Структурная схема измерительной установки

Процесс измерения состоит из трех тактов. В первом такте ключи  $S_1$ ,  $S_2$  разомкнуты и на вход измерительного преобразования подается измеряемая величина. Во втором такте замыкается ключ  $S_1$ , подключая ко входу измерительного преобразования аддитивный тест  $x + \beta y_2$ , где  $\beta$  – коэффициент преобразования ОП, а  $y_2$  – выходная величина исходного измерительного преобразователя во втором такте преобразования. В третьем такте ключ  $S_1$  размыкается, а ключ  $S_2$  замыкается и на вход измерительного преобразователя подается мультипликативный тест вида  $K \cdot x + x$  [2]. Тестовый алгоритм в этом случае выглядит следующим образом (9):

$$y_k = x = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot \frac{\beta \cdot y_2}{K}. \quad (9)$$

Как видно из выражения 9 результат измерения зависит от параметра мультипликативного теста  $K$  БМТ и от параметра  $\beta$  обратного преобразования ОП, поэтому создание алгоритма на основе тестового метода, который будет позволять исключать влияние параметров аддитивных и мультипликативных тестов на результат измерения является актуальным.

### 2.3 Устранение влияния параметров аддитивного и мультипликативного тестов

Измерительная схема, реализующая усовершенствованный тестовый метод повышения точности, включает в себя блок мультипликативных тестов (БМТ) с коэффициентом преобразования  $K$  и блок аддитивных тестов, в составе которого два обратных преобразователя (ОП) с коэффициентами преобразования  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , а также измерительный преобразователь (ИП), уравнение градуировочной характеристики которой аппроксимируется линейной функцией  $y = a + bx$ , вычислительное устройство (ВУ) и ключи ( $S_1, S_2, S_3, S_4$ ). Структурная схема измерительной системы приведена на рисунке 8. Состояния ключей  $S_1-S_4$  и соответствующие уравнения преобразования тестов приведены в таблице 1.

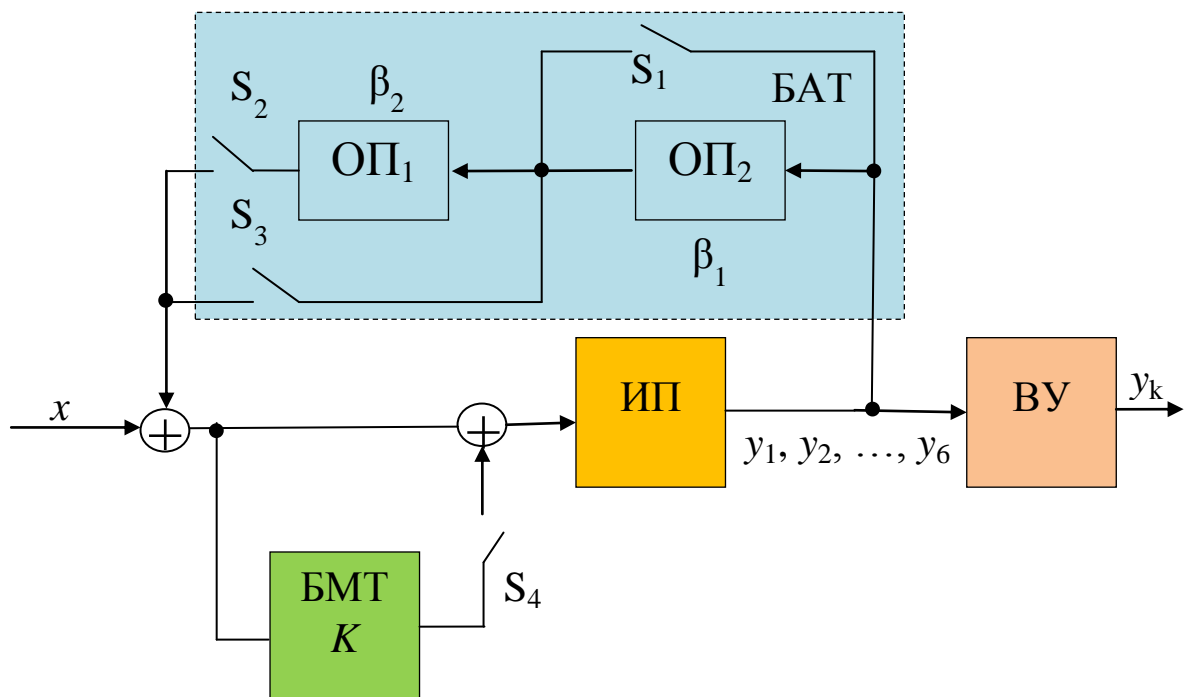


Рисунок 8 – Структурная схема измерительной системы

Таблица 1 – Уравнения преобразования тестов в каждом такте

Номер такта	Уравнение преобразования тестов	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>
1	$y_1 = a + bx$	0	0	0	0
2	$y_2 = a + b x + \beta_1 y_2 = \frac{a + bx}{1 - b\beta_1}$	0	0	1	0
3	$y_3 = a + b x + \beta_1 \beta_2 y_3 = \frac{a + bx}{1 - b\beta_1 \beta_2}$	0	1	0	0
4	$y_4 = a + b x + \beta_2 y_4 = \frac{a + bx}{1 - b\beta_2}$	1	1	0	0
5	$y_5 = a + b K + 1 x + \beta_1 y_5 = \frac{a + b K + 1 x}{1 - b K + 1 \beta_1}$	0	0	1	1
6	$y_6 = a + b K + 1 x + \beta_2 y_6 = \frac{a + b K + 1 x}{1 - b K + 1 \beta_2}$	1	1	0	1

Процесс измерения состоит из 6 тактов. В первом такте все ключи разомкнуты, и на вход измерительного преобразования подается измеряемая величина. Во втором такте замыкается ключ S<sub>3</sub>, подключая ко входу измерительного преобразователя аддитивный тест вида  $x + \beta_1 y_2$ , где  $\beta_1$  – коэффициент преобразования ОП<sub>2</sub>, а  $y_2$  – выходная величина исходного измерительного преобразователя во втором такте преобразования. Далее в третьем такте размыкается ключ S<sub>3</sub>, но замыкается ключ S<sub>2</sub>, подключая на вход измерительного преобразователя аддитивный тест  $x + \beta_1 \beta_2 y_3$ , где  $\beta_2$  – коэффициент преобразования ОП<sub>1</sub>, а  $y_3$  – выходная величина исходного измерительного преобразователя в третьем такте преобразования. В четвертом такте замыкаются ключи S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub>, подключая аддитивный тест  $x + \beta_2 y_4$ , где  $y_4$  – выходная величина исходного измерительного преобразователя в четвертом такте преобразования. В пятом такте подключается мультипликативный тест  $K+1$  и аддитивный тест  $x + \beta_1 y_5$  замыканием ключей S<sub>3</sub> и S<sub>4</sub>, где  $y_5$  – выходная величина исходного измерительного преобразователя в пятом такте преобразования. В шестом такте замыкаются ключи S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> и S<sub>4</sub>, подключая аддитивный тест  $x + \beta_2 y_6$  и мультипликативный тест  $K+1$ , где  $y_6$  – выходная

величина исходного измерительного преобразователя в шестом такте преобразования.

Решив систему уравнений, описывающих преобразования входных величин измерительного преобразователя в каждом такте измерения, получим выражение для нахождения скорректированного значения  $y_k$  измеряемой величины  $x$ . Для этого следует выполнить следующие действия. Уравнение для такта 1 вычтем из уравнений для тактов 2,3,4 и получим равенство (10):

$$b = \frac{y_2 - y_1}{\beta_1 y_2} = \frac{y_3 - y_1}{\beta_1 \beta_2 y_3} = \frac{y_4 - y_1}{\beta_2 y_4}. \quad (10)$$

Из выражения (10) находим параметры  $\beta_1$  и  $\beta_2$ :

$$\beta_1 = \frac{y_4}{y_3} \frac{y_3 - y_1}{y_4 - y_1}; \beta_2 = \frac{y_2}{y_3} \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1}. \quad (11)$$

Из выражений (10), (11) выводим выражения для получения  $b$ ,  $b\beta_1$  и  $b\beta_2$ :

$$b = \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1} \frac{y_4 - y_1}{y_4 y_2} \frac{y_3}{y_3}; b\beta_1 = \frac{y_2 - y_1}{y_2}; b\beta_2 = \frac{y_4 - y_1}{y_4}. \quad (12)$$

Из уравнения для такта 5 вычтем уравнение для такта 2 и из уравнение для такта 6 вычтем уравнение для такта 4, этим самым получим выражение для вычисления коэффициента  $K$  (13):

$$K = \frac{y_5 - y_2 - b\beta_1}{b} \frac{y_5 - y_2}{x + \beta_1 y_5} = \frac{y_6 - y_4 - b\beta_2}{b} \frac{y_6 - y_4}{x + \beta_2 y_6}. \quad (13)$$

Из выражений (12) (13) получаем формулу для расчета при помощи вычислительного устройства скорректированного результата измерения  $y_k = x$ :

$$y_k = x = \frac{y_6 - y_4}{y_5 - y_2} \frac{y_2 - y_1}{y_4 - y_6 - y_4} \frac{y_5 - y_5 - y_2}{y_2} \frac{y_4 - y_1}{y_2} \frac{y_6}{y_4 - y_1} \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \frac{y_2 y_4}{y_3}. \quad (14)$$

Таким образом исключается влияние коэффициентов  $K$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  и параметров ГХ ИП  $a$  и  $b$  на результат измерения.

### **3 Создание компьютерной модели**

Для создания компьютерной модели усовершенствованного тестового метода была выбрана среда графического программирования LabVIEW. В данной среде используется интуитивно понятный язык графического программирования «G», что позволяет проводить сложные математические вычисления и моделировать сложные математические модели. Написанная в среде LabVIEW, программа представляет собой виртуальный прибор (ВП).

В LabVIEW лицевая панель (ВП) служит для размещения элементов, при помощи которых оператор взаимодействует с виртуальным прибором, к таким элементам относятся кнопки, светодиоды, переключатели и т.д. Непосредственно программирование осуществляется с помощью графических представлений различных функций на блок-диаграмме ВП.

#### **3.1 Создание модели измерительного канала при применении тестового метода**

Модель представляет собой множество объединенных математических выражений, она позволяет наглядно увидеть, как работает метод, как улучшается результат измерения. При создании модели использовались следующие виртуальные приборы:

- Multiply – функция производит умножение входов;
- Subtract – функция рассчитывает разность входов;
- Divide – функция рассчитывает частное от деления значений на входе;
- Add – функция рассчитывает сумму значений на входе;

Математическая модель и структурная схема измерительного канала представлена в 1 разделе данной работы. Разработанная модель измерительного канала при использовании тестового метода представлена на рисунке 9.

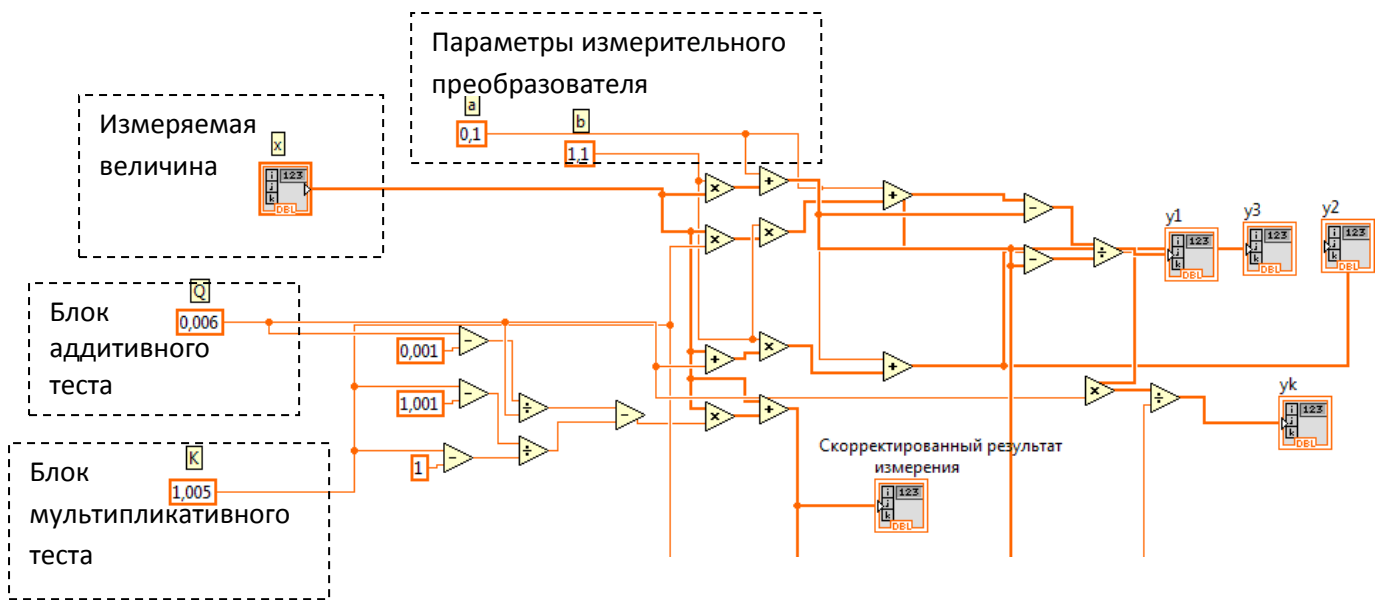


Рисунок 9 – Модель измерительного канала при применении тестового метода

Измерительный процесс состоит из трех тактов, в первом такте на вход подается только измеряемая величина. Во втором такте на вход измерительного преобразователя подается аддитивный тест ( $x + 0,006$ ), формируемый блоком аддитивного теста (БАТ). В третьем такте ко входу измерительного преобразователя подключается мультипликативный тест вида  $1,005x$ , формируемый блоком мультипликативного теста. Лицевая панель представлена на рисунке 10.



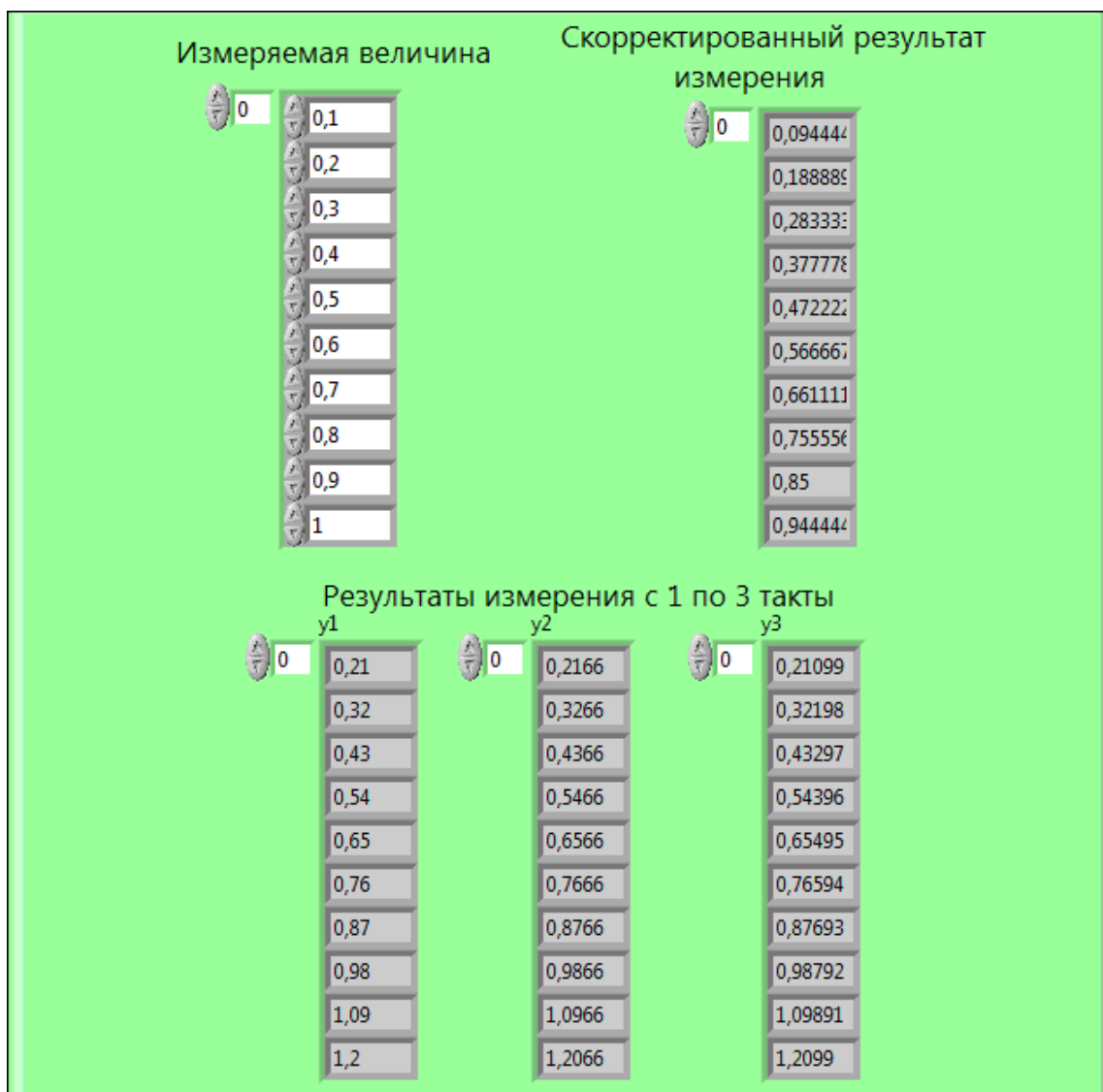


Рисунок 10 – Лицевая панель измерительного канала при применении тестового метода

Построим функцию преобразования измерительного канала при применении тестового метода и функцию преобразования исходного измерительного канала, для этого используем экспресс ВП Build XY, он позволяет отображать функциональные зависимости. Полученные графики представлены на рисунке 11. Анализируя графики, делаем вывод, что построенная модель соответствует математической модели, точность измерения повышается, но остается влияние параметров тестов на результат измерения.

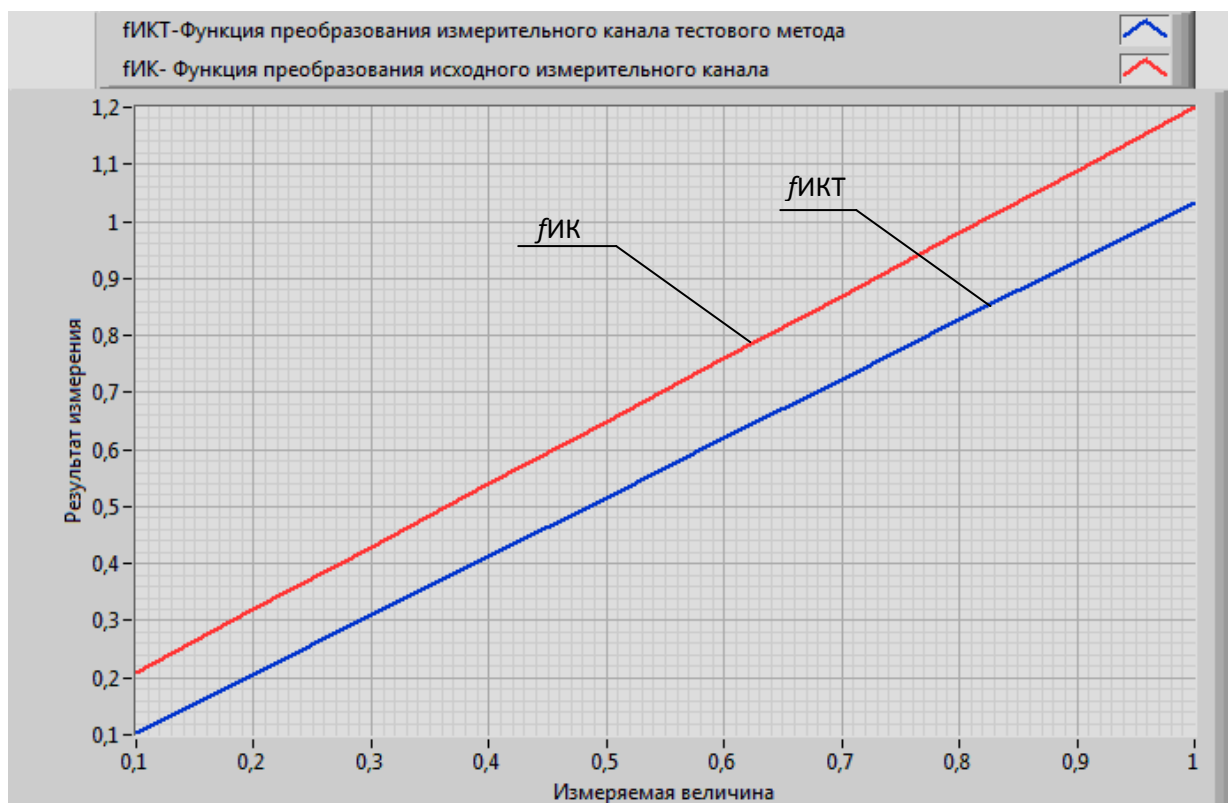


Рисунок 11 – Функции преобразования исходного измерительного канала и измерительного канала при применении тестового метода

### 3.2 Создание модели измерительного канала при применении усовершенствованного тестового метода

Математическая модель и структурная схема усовершенствованного тестового метода приведена в разделе 2 данной работы. Полученная компьютерная модель измерительного канала при применении усовершенствованного тестового метода представлена на рисунке 12. Параметры аддитивного и мультипликативного тестов задаются при помощи констант, измеряемая величина представлена в виде массива данных, в диапазоне от 0,1 до 1 условных единиц.

Лицевая панель полученной модели представлена на рисунке 13. Также на рисунке 14 представлены промежуточные вычисления при 1, 2, ..., 6 тактах.

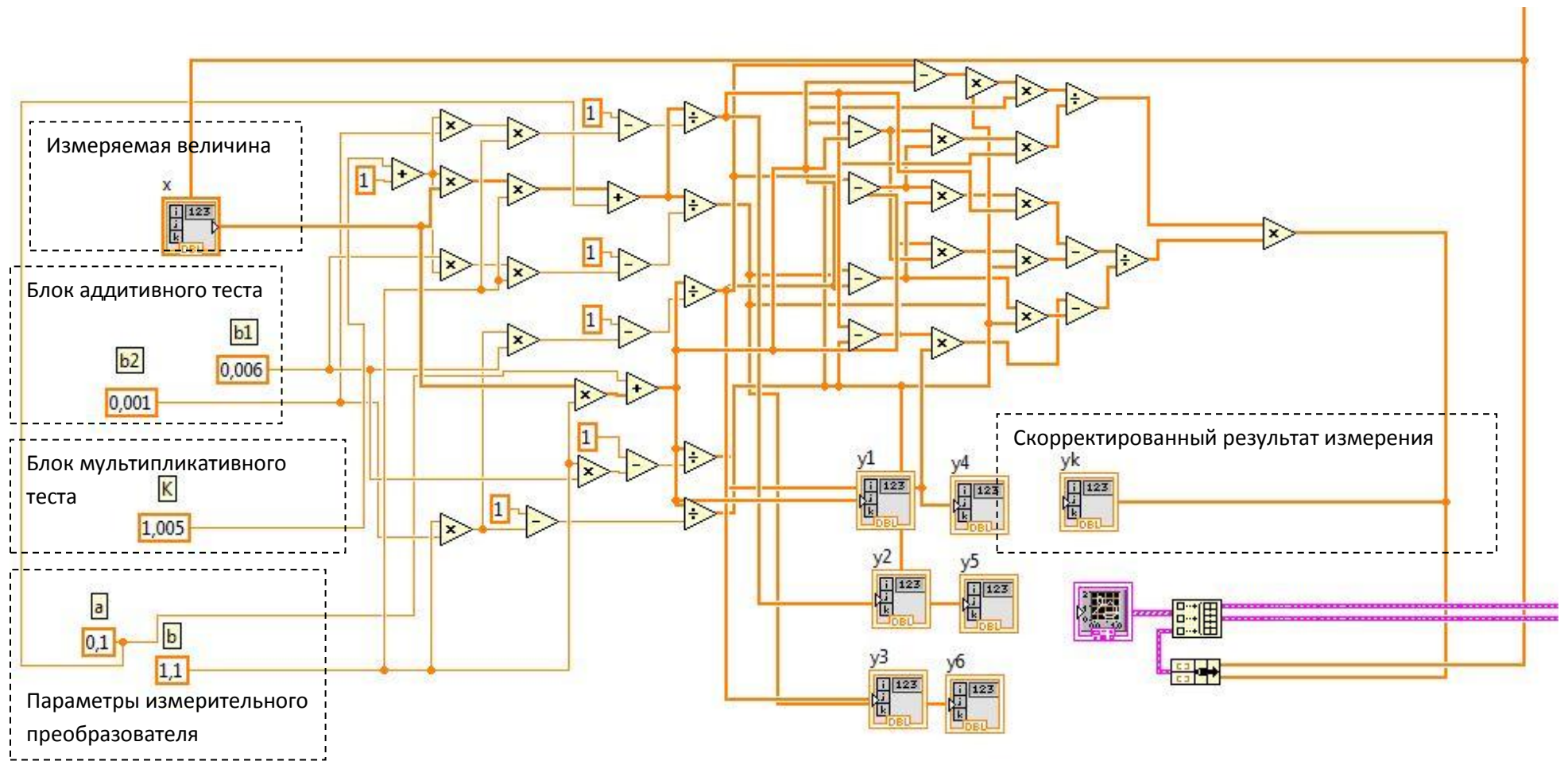


Рисунок 12 – Модель усовершенствованного тестового метода

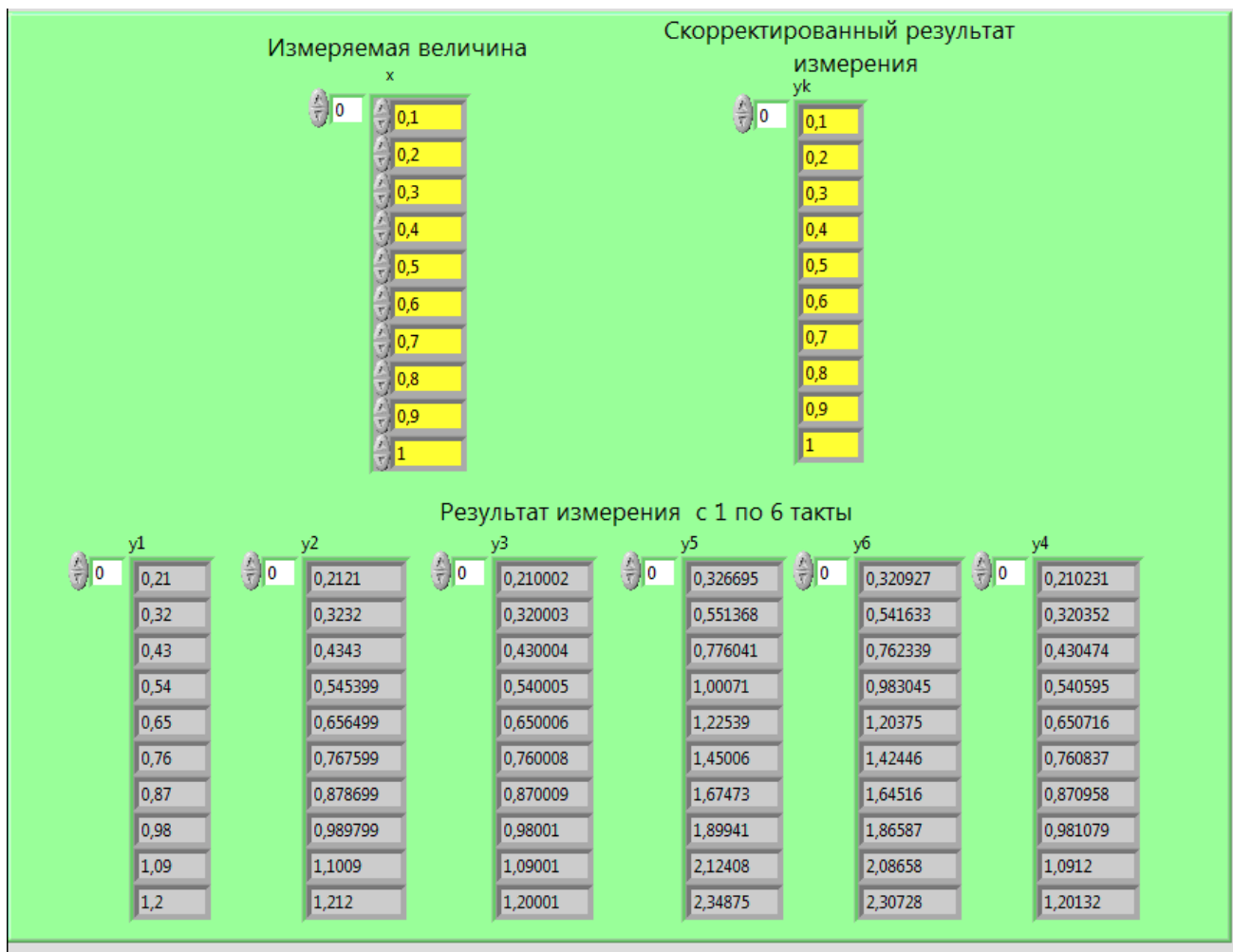


Рисунок 13 – Лицевая панель

На рисунке 13 используются следующие обозначения:

- $y_1$  – значения измеряемой величины, полученные в первом такте;
- $y_2$  – значения измеряемой величины, полученные во втором такте;
- $y_3$  – значения измеряемой величины, полученные в третьем такте;
- $y_4$  – значения измеряемой величины, полученные в четвертом такте;
- $y_5$  – значения измеряемой величины, полученные в пятом такте;
- $y_6$  – значения измеряемой величины, полученные в шестом такте;
- $y_k$  – скорректированные значения измеряемой величины.

Как видно из рисунка 13 значения измеряемой величины  $x$  равны значениям  $y_k$ . Из этого делаем вывод что результат измерения не зависит от параметров аддитивного и мультипликативного теста. Построим функции преобразования исходного измерительного канала, измерительного канала при применении тестового метода и измерительного канала при применении

усовершенствованного тестового метода на одном графике, для этого используем функцию Bundle, она используется для связки данных. Полученные зависимости представлены на рисунке 14.

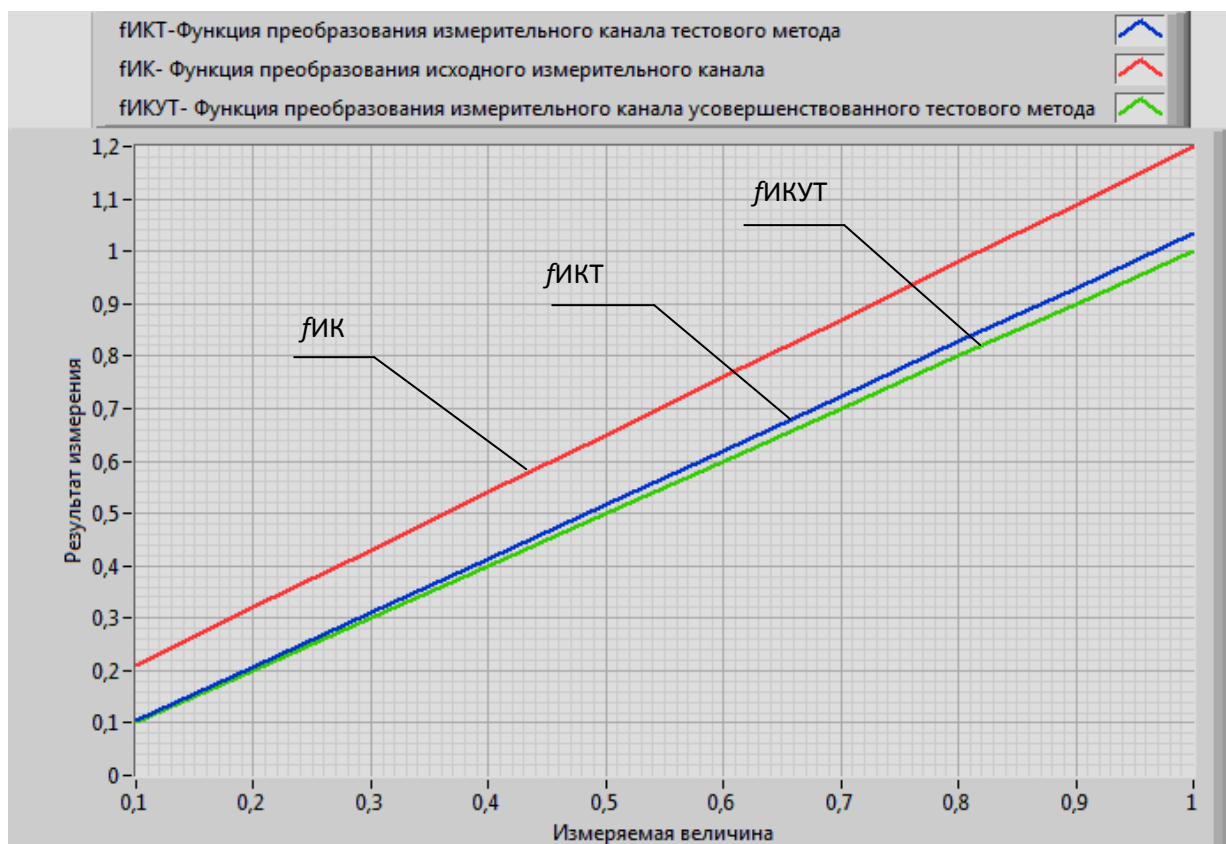


Рисунок 14 – Функции преобразования

Анализируя полученные графики на рисунке 14, делаем вывод что улучшенный тестовый метод повышает точность исходного измерительного канала, но и является точнее тестового метода.

### 3.3 Исследование полученной модели усовершенствованного тестового метода

Исследование полученной модели заключается в изменении параметров аддитивного и мультипликативного тестов и убедиться в том, что эти параметры не влияют на результат измерения. Для этого в компьютерной модели, изображенной на рисунке 12 изменим значения параметров аддитивного и мультипликативного тестов. Полученная модель представлена на рисунке 16. Для демонстрации отсутствия влияния параметров на результат измерения также изменим эти параметры в модели тестового метода.

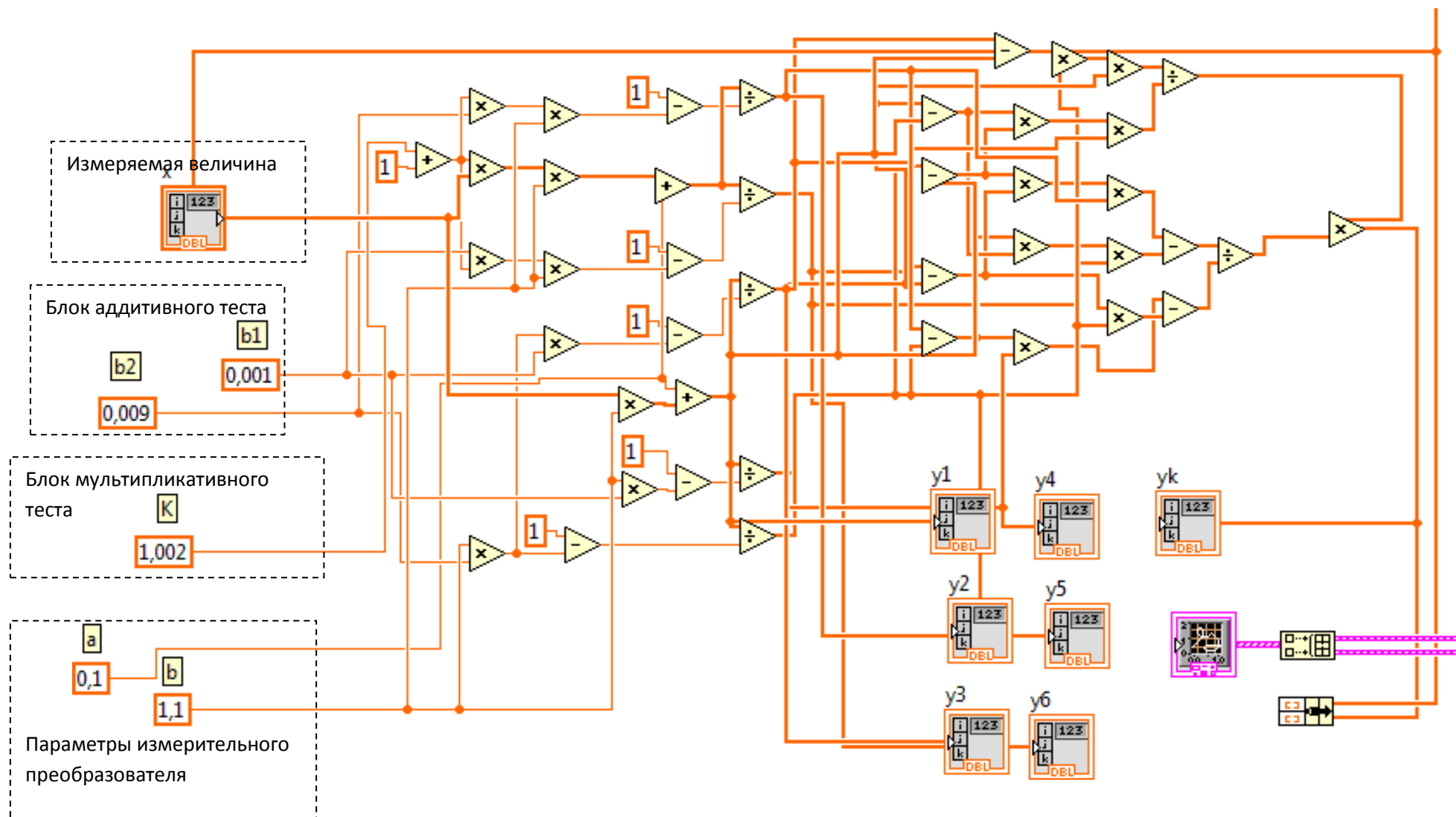


Рисунок 15– Модель усовершенствованного тестового метода

Построим полученные функции преобразования на одном графике. Полученные зависимости изображены на рисунке 16.

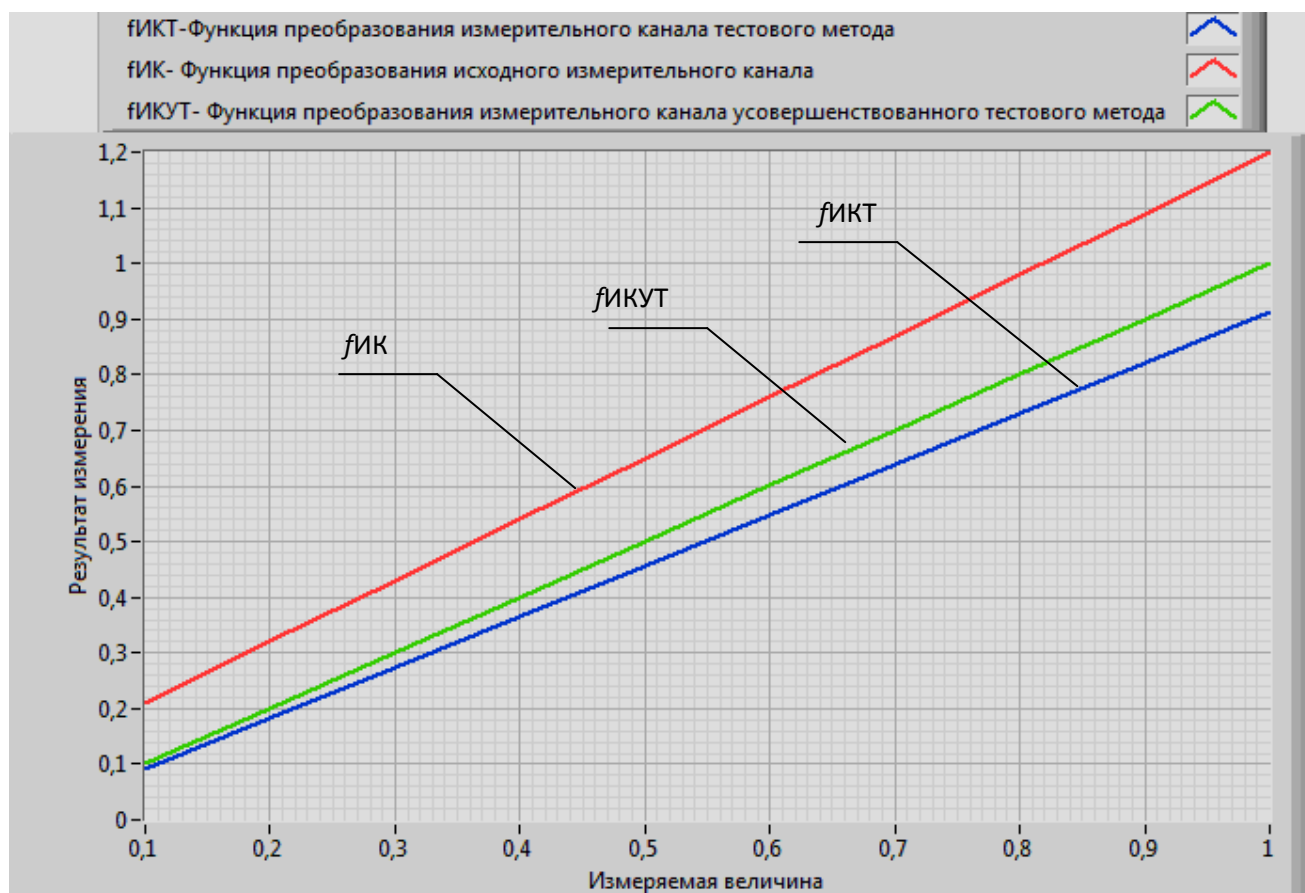


Рисунок 16 – Функции преобразования

Как видно из рисунка 16, аддитивная и мультипликативная составляющая полностью корректируется. Исключается влияние на результат измерения коэффициентов  $K$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , кроме этого, исключается влияние идентичности коэффициентов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , что позволяет достичь высокой точности измерений.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках магистерской диссертации рассматривается математическая модель процедуры коррекции систематической погрешности средства измерений, предлагаются пути совершенствования тестового метода, 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.

### 4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы определить потенциальных потребителей научной разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка методов повышения точности измерений приведено на рисунке 18:

		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		

▨ - Фирма А, ▤ - Фирма Б, ▩ - Фирма В.

Рисунок 18 - Карта сегментирования рынка по методам повышения точности измерений:



По итогам сегментирования определены основные сегменты данного рынка. Методы повышения точности необходимо внедрять в мелкие компании. Тестовый метод, реализуемый в рамках данной ВКР необходимо внедрить в мелкие компании, поскольку количество мелких компаний постоянно растет, и качество продукции выпускаемой мелкими компаниями должен быть конкурентоспособным. Внедрение данного метода на рынок возможно путем публикаций научных статей в журналах.

## **4.2 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 обратного преобразования, а в качестве  $K_2$  рассматриваем метод образцовых мер. Способы реализации данных методов описаны в главе 1 данной диссертации. Оценочная карта приведена в таблице 2.

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 15:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (15)$$

где  $K$  - конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$B_i$  - вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  - балл  $i$ -го показателя.

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.

Таблица 2 – 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
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
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
<b>Итого</b>	1	17	14	15	4,40	2,55	3,95

В таблице 2 представлены следующие обозначения:  $B_p$  – 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. 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.

### 4.3 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 3. Проанализировав данную таблицу можно сказать, что научный руководитель имеет загруженность в работе на 33 %, а студент на 98 %. По данным таблицы 3 в следующих разделах будет построен линейный график реализации проекта.

Таблица 3– Перечень работ, этапов и распределение исполнителей

Основные этапы	Номер работы	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Состояние 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

### 4.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Определение трудоемкости выполнения работ для каждого исполнителя является важным моментом, так как трудовые затраты чаще всего являются

основной частью стоимости проведенного исследования.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости  $t_{ожі}$  рассчитывали по формуле 16:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (16)$$

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 17:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (17)$$

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.

#### 4.5 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 18:

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (18)$$

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

Коэффициент календарности в свою очередь рассчитывается по формуле

(19):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (19)$$

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 2019 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 4.

Таблица 4 - Временные показатели проведения НТИ

Номер работы	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{pi}}$ , раб. дн.	Длительность работ в календарных днях $T_{\text{ки}}$ кал. дн.
		$t_{\text{min}} \geq 5$ чел.-дн.	$t_{\text{max}} \geq 9$ чел.-дн.	$t_{\text{ожг}} \geq 5$ 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 4 был построен календарный план-график, представленный на рисунке 19

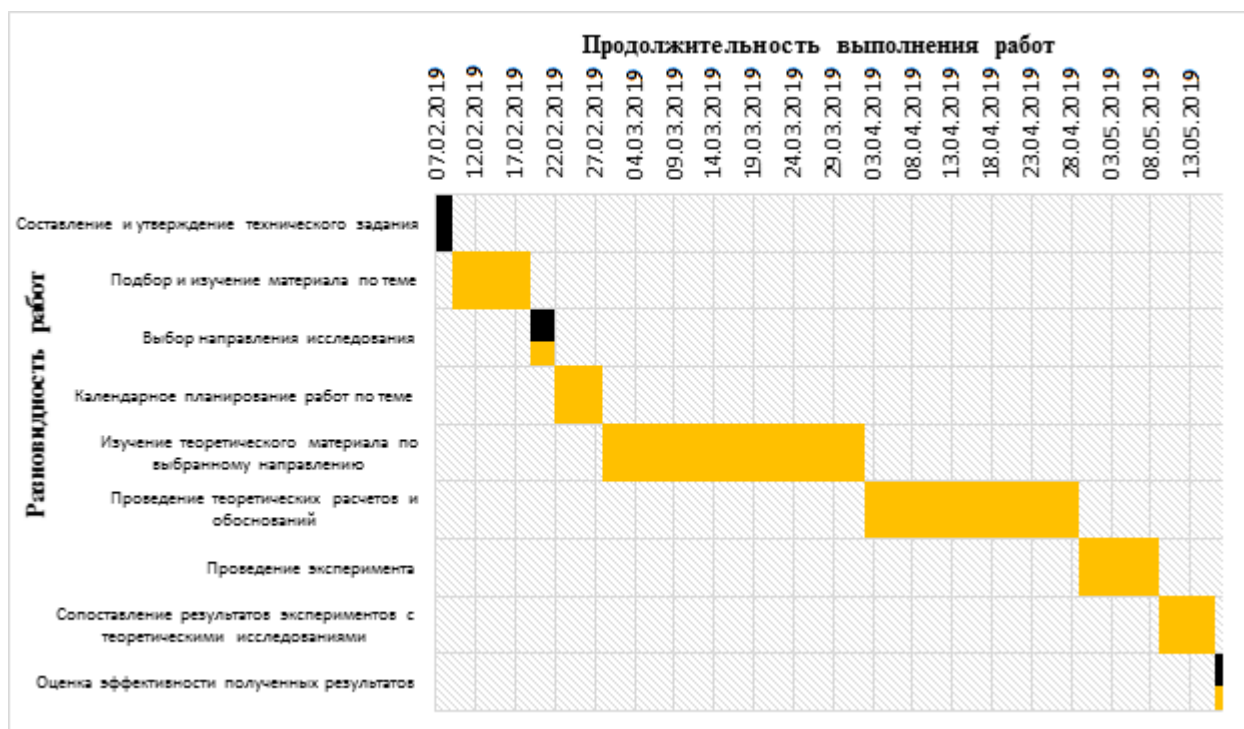


Рисунок 19 – Календарный план-график

Данный график строится для наибольшего по длительности исполнения работ в рамках исследовательской работы на основании таблицы 4. Данный календарный план-график или диаграмма Ганта необходима для визуализации графика работ по реализации разработки, рассматриваемой в рамках ВКР.

#### 4.6 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.

#### 4.6.1 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.

Так как исследование в рамках выполнения ВКР включает в себя аналитический тестового метода, а также экспериментальную проверку усовершенствованного 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 20:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{расxi}), \quad (20)$$

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.

Таблица 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.

#### 4.6.2 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 НТИ складывается из основной заработной платы и дополнительной и рассчитывается по формуле 21:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} , \quad (21)$$

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 22:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p , \quad (22)$$

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

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

Среднедневная заработная плата  $Z_{дн}$  определяется по формуле 23:



$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (23)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – 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;

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

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 6.

Таблица 6 – 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 24:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (24)$$

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

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

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

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

Среднедневная тарифная заработная плата ( $Z_{\text{Пдн-т}}$ ) вычисляется по формуле 25, учитывающей, что в 2019 году 247 рабочих дней и, соответственно, в месяце в среднем 20,58 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе):

$$ЗП_{\text{дн-т}} = \frac{МО}{20,58}, \quad (25)$$

где МО – месячный оклад исполнителя работ.

В таблице 7 приведены расчеты затрат на полную заработную плату  $C_{ЗП}$ .

Таблица 7 – 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 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.

#### 4.6.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов определяется затратами на электроэнергию, потраченную на работу используемого оборудования при выполнении проекта. Эти затраты рассчитываются по формуле 26:

$$C_{\text{эл.об}} = P_{\text{об}} \cdot t_{\text{об}} \cdot Ц_{э}, \quad (26)$$

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  $C_9 = 5,782$  руб./ кВт·час с учетом НДС. Время работы оборудования определяется на основе итоговых данных таблицы 3 ( $T_{рд}$ ) для исполнителя С из расчета восьмичасового рабочего дня по следующей формуле 27:

$$t_{об} = P_{рд} \cdot K_t, \quad (27)$$

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

Мощность, потребляемая оборудованием, вычисляется по формуле 28:

$$P_{ном} = P_{об} \cdot K_C, \quad (28)$$

где  $P_{ном}$  – 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 8 представлен расчет затрат на электроэнергию для технологических целей.

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

Таблица 8 – Затраты на технологическую электроэнергию

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

#### 4.6.4 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:

$$C_{накл} = (C_{зп} + C_{эл} + C_{мат}) \cdot 0,1 \quad (29)$$

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

#### **4.6.5 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 9.

Таблица 9 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Номер пункта
Материальные затраты НТИ	560,00	4.6.1
Затраты по заработной плате исполнителей темы	99331,24	4.6.2
Затраты на электроэнергию	1314,13	4.6.3
Накладные расходы	10120,54	4.6.4
Бюджет затрат НТИ	111325,91	Сумма статей 4.6.1 - 4.6.4

#### **4.8 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 тестового метода. Исполнение метода подразумевает под собой компьютерную программу, реализованную в графической среде программирования LabVIEW.

Основным преимуществом 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 10.

Таблица 10 – Сравнительная характеристика двух исполнений метода обратного преобразования.

Критерии	Исп.1	Исп.2	Эффективность
Точность РИ	$10^{-32}$ у.е.	$10^{-4}$ у.е.	В 28 раз точнее
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.

## **5 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. Тема работы является актуальной, так как минимизация систематической погрешности средств измерений является необходимым этапом любой практической измерительной процедуры.

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

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Эргономические требования к рабочему месту**

В соответствии с ГОСТ 12.2.032-78 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 высота рабочей поверхности в среднем устанавливается на уровне нерегулируемой высоты в 0,725 м. Схема рабочего места представлена на 20.

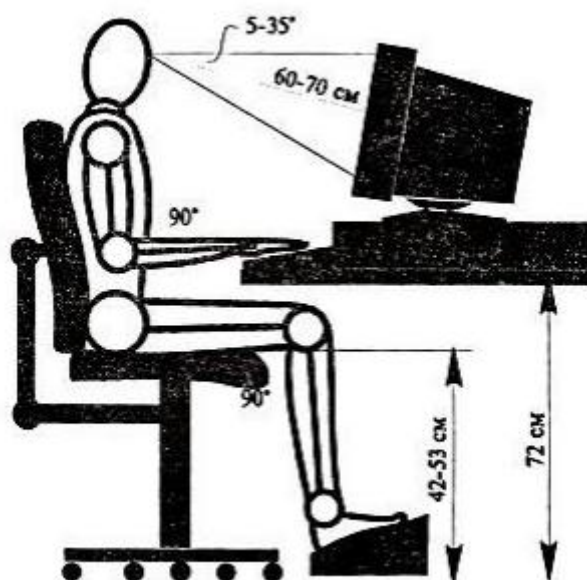


Рисунок 20 – Схема рабочего места при работе с ПЭВМ

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.

### 5.1.2 Режим труда и отдыха

В санитарных нормах СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 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.

## 5.2 Производственная безопасность

### 5.2.1 Опасные и вредные факторы

Опасные и вредные факторы, возникающие при выполнении работ приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Опасные и вредные факторы при выполнении работ автоматической коррекции систематической погрешности средств измерений

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СП 2.2.4.548-96 [4]
2.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 [5]
3. Повышенный уровень электромагнитных излучений				СП 2.2.4.3359-16 [6]
4. Психофизиологические факторы	+	+	+	СП 2.2.4.3359-16 [7]
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 [8]



## 5.2.2 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 Ia. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно СанПиН 2.2.4.548-96, предоставлены в таблице 5.1, а допустимые величины показателей приведены в таблице 12.

Таблица 12 - 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

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.

### 5.2.3 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 источник 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 21. В соответствии с СП 52.13330.2016 работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 % относится к разряду II, подразряду Б.

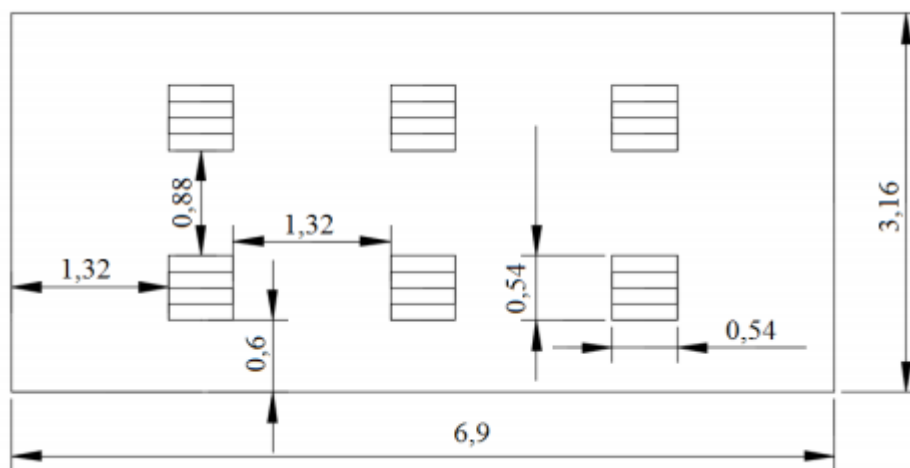


Рисунок 21 – Схема расположения светильников в аудитории

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 и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Расчет искусственного освещения для учебной аудитории.

Данные для расчета:

- размеры помещения:  $A = 3,16$  м;  $B = 6,9$  м;  $H = 2,9$  м;  $S = 21,9$  м;
- 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  $K_3 = 1,5$ ;
- 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 30:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} . \quad (30)$$

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 31:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%}{N \cdot \eta} . \quad (31)$$

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 32:

$$E_{\text{фактич}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100\%} . \quad (32)$$

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.

#### 5.2.4 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 13.

Таблица 13 – 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.

### **5.2.5 Психофизиологические факторы**

При выполнении работ на персональном компьютере согласно ГОСТ 12.0.003-2015 могут иметь место следующие психофизиологические 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.

### **5.2.6 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека**

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 нетоковедущим 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.

### **5.3 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 отделения. При появлении неисправностей компьютерная техника списывается также специальным персоналом кафедры, а затем подвергается утилизации специализированными организациями

Утилизация ПК осуществляется следующим образом:

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

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;

- 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.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 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 12.1.004–91 и ГОСТ 12.1.010–76.

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.

#### **5.4.2 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.

### **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:

- отклонение показателей микроклимата;
- психофизиологические факторы;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- повышенный уровень электромагнитных излучений.

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 приведены в соответствии с требованиями к охране окружающей среды.

## Заключение

В ходе выполнения работы:

- проведено усовершенствование тестового метода повышения точности измерительного канала для исключения влияния параметров аддитивного и мультипликативного тестов на результат измерения.
- разработано аналитическое описание и структурная схема измерительного канала для реализации усовершенствованного тестового метода.
- разработана компьютерная модель, реализующая исходный тестовый метод и его усовершенствованную версию в среде LabVIEW.
- проведены исследования поведения разработанной компьютерной модели и сравнительный анализ исходного и усовершенствованного тестовых методов.
- работоспособность предложенного усовершенствованного тестового метода доказана аналитически и экспериментально.

## Список использованных источников

1. РМГ 64-2003. ГСИ. Обеспечение эффективности 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. 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.
4. Т.М. Алиев, А.А. Тер-Хачатуров, А.М. Шекиханов. Итерационные метода повышения точности измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 186 с.
5. Muravyov S.V. Model of measurement result error correction. Proceedings of the XVI IMEKO World Congress, (September 25-28, 2000, Vienna, Austria), vol, 135-139.
6. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения, 2019. – 19 с.
7. Muravyov S. V., Zlygosteva G.V., Vorikov V.N. Multiplicative method for reduction of bias in indirect digital measurement result // Metrology and Measurement System. – 2011/–Vol. 18.–№3.–Р.481-490.
8. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. М.: Минздрав России, 1997.– 20с.
9. 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.
10. Свод правил: СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. М.: Минрегион России, 2011.–74 с.

11. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы. М.: Минздрав России, 2000.-56 с.

12. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 67 с.

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

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

15 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)**

**The state of the problem of developing methods for correcting systematic error**

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Горенинский Иван Васильевич		

Консультант проф. кафедры:

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

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Диденко Анастасия Владимировна	к.ф.н.		

## **Introduction**

Reducing the systematic error of measuring instruments (MI) is an important stage of the practical measurement procedure, which allows increasing the accuracy of measurements. This paper presents a method of eliminating the influence of the parameters of additive and multiplicative tests on the measurement result using the test method.

The relevance of the work is to develop a test method in which the parameters of the additive and multiplicative tests will not affect the measurement result.

The aim of the work is to improve the test method, which advances the accuracy of MI. To achieve this goal it is necessary to solve the following:

- to study the existing methods of correction of measurement results;
- to develop a block diagram of the installation to create an improved test method;
- to create a computer model of the advanced parameter;
- to explore the computer model.

## **1. The state of the problem of developing methods for correcting systematic error**

Increasing requirements for product quality tightens the requirements for tolerances on the controlled parameters of raw materials and products. Thus, this will lead to stricter requirements for measurement accuracy.

One of the main tasks of the metrological service of the enterprise is to ensure the required accuracy of measurements at various stages of production. In the conditions of competition for market leadership, the requirements for the quality of products and measurement accuracy are increasing.

### **1.1 Measurement errors and accuracy**

Improving the accuracy of measurements contribute to the development of the national economy, world scientific and technological progress and the overall improvement of people's lives. Fundamental scientific discoveries repeatedly are preceded by a significant increase in measurement accuracy. The main practical methods for improving the accuracy of measurements are described in CIS 64-2003 "NMAS. Ensuring efficiency in process control. Methods and ways to improve measurement accuracy» [1].

Accuracy is the characteristic of measurement quality, which reflects the proximity of measurement error to zero. Each method of improving the accuracy of measurements reduces (or eliminates) one or another component of the error. As is known, the concepts of measurement accuracy and measurement error are closely related to each other, the smaller the error, the higher the measurement accuracy. The error is the most important metrological characteristic of measuring instruments, which shows the deviation of the measurement result from the actual value of the measured quantity. There are various types of errors, the classification of which is shown in Figure 1.



### **1.1.1 Random and systematic measurement errors.**

The measurement process is inevitably accompanied by errors that are caused by the instability of the conditions of measurement and the imperfection of the measuring means. The same errors occur due to imperfections of the measurement technique and the measurement method itself, insufficient experience of the operator performing the measurements, and other factors.

Random measurement error is the error that occurs when it changes during repeated measurements. This error is not constant in magnitude and it is impossible to predict the specific value of the random error. A complex of factors influences the appearance of this error, among which there are no dominant ones. Random errors are completely impossible to remove. However, it is possible to reduce their values by taking measures to stabilize the factors affecting this error.

The systematic measurement error remains constant or changes regularly with repeated measurements of the same value. These errors can be identified, reduced or eliminated. There are various methods for reducing the MI systematic error, but with the development of science and technology, it is required to increase the accuracy of these methods. Next, we consider in more detail the existing methods for improving the measurement accuracy.

### **1.2 Methods to improve measurement accuracy**

One of the most effective ways to improve the accuracy of measurements is the use of high-precision measuring instruments. In accordance with CIS 64, there are the following methods for improving the accuracy of measuring instruments (Figure 1).

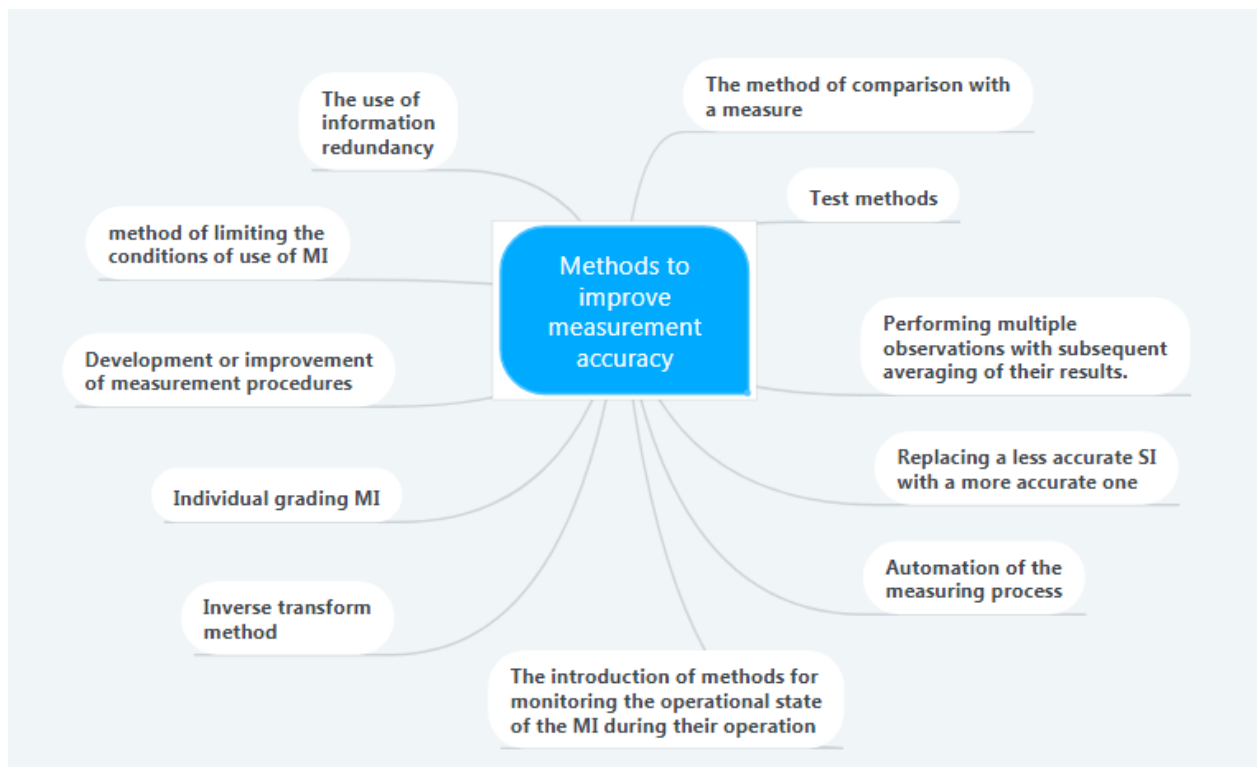


Figure 1 - Methods to improve measurement accuracy

The method of replacing a less accurate measuring instrument with a more accurate one is more efficient with the dominant instrumental component of the measurement error. In the case of information-measuring systems (IMS) and measuring channels, more accurate measuring instruments are used, in which the errors dominate when calculating the total error of the IMS or channel. Often, due to the impossibility of choosing more accurate measuring instruments, this method of improving accuracy is not always available. This is due to the operating conditions of the measuring instruments. This method is resource-intensive since with an increase in the accuracy of a measuring instrument, their cost increases.

The method of limiting the conditions of use of measuring instruments is advisable if additional errors dominate in the SI, which is caused by a significant deviation of external influencing factors from those adopted by the relevant regulatory documents. In addition, this method can reduce some methodological errors in measurements.

The method of individual MI calibration is effective when the systematic component of the error dominates. This error can be reduced by introducing an amendment to the measurement result. These amendments are obtained with an

individual grading of MI. Individual grading MI is actively used to in automated process control system (APCS) and IMS. When using this method, it is necessary to monitor the change in the systematic components of the MI error for a short period of time.

With the dominance of the random component of the error in the MI, it is necessary to perform the procedure of repeated observations and further averaging of the results. It should also be borne in mind that the random component of measuring means for current values is much larger than the random component of SI. It is necessary to avoid smoothing information about the process of changing the measured value in order to achieve an increase in the accuracy of measurements of current values. This method works, if during averaging, there is no change in the current values of the measured value, simultaneously with the change in the error of the current values. Consequently, the frequency spectrum of the random component of the measurement error of the current values is much larger than the frequency spectrum of the process of changing the measured value.

Automation of measurement procedures is implemented to reduce the complexity of measurements. This contributes to the exclusion of subjective errors arising in the calculation of intermediate and final results, in the processing of diagrams and in other operations performed by people.

When using methods to monitor the operational status of measuring instruments during their operation, exceptions can be detected or metrological failures can be reduced. In some cases, the system for monitoring the operability of MI during operation is quite effective without any restrictions on the components of the MI errors and their systematic or random errors.

With the dominance of the methodological components of measurement error, measurement techniques are developed or improved. In APCS and IMS, the components of the methodological measurement error, determined by the difference of the function from the computation algorithm, are reduced by using a more advanced algorithm. Improving the algorithm for processing the measurement results can also advance the measurement technique.

An equally effective method of increasing accuracy is using it in measuring information redundancy. The method of comparison with a measure is a comparison of the measured value with the size of a value that is reproduced by the measure, using a comparator. The required experimental value is calculated from the obtained values of the comparator and the nominal value of the measure. This method is the most effective to eliminate systematic measurement errors. If the comparator reading is zero, this method is called zero, and for other indicators it is called differential. An important condition for the application of the zero method is the use of adjustable or multivalued measures with low discreteness of reproduction of the size of a quantity. This condition limits the use of the null method since these measures are less accurate than unambiguous measures.

The method of the inverse transform is used in the automatic correction of the error of the MI. When using this method, an inverse transducer is used, the actual static conversion function (SCF) of which coincides with the function inverse to the nominal conversion characteristic of the MI. This method is iterative and effective if the inverter is more accurate than a direct converter. It has the following features:

- the accuracy of the correction of measurement results depends on the accuracy of the reference inverter;
- during measurement, the correction is carried out continuously;
- all types of instrumental errors are subject to correction.

Test methods for improving the accuracy of measurements are used in various IMS for measuring electrical and non-electrical quantities. These methods are the determination of the parameters of SCF using additional test transformations. Each of these tests is functionally related to the measured value.

### **1.2.1 Method of exemplary measures**

The method of exemplary measures is to compare the measured value with the size of the value that is reproduced by the measure, using a comparator. Then, the measured value is calculated from the obtained values of the comparator and the nominal value of the measure. Using this method is the most effective way to reduce

systematic measurement error. The structural diagram of the method is presented in Figure 2.

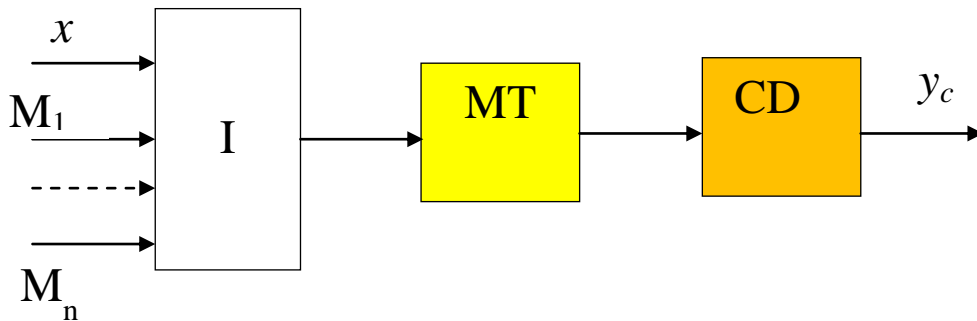


Figure 2 - The structural diagram of the method of exemplary measures

The adjusted measurement result is calculated by solving the equation system

(1)

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= a_1 + a_2x + \dots + a_nx^{n-1} \\ y_1 &= a_1 + a_2M_1 + \dots + a_nM_1^{n-1} \\ &\dots \\ y_n &= a_1 + a_2M_n + \dots + a_nM_n^{n-1} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

### 1.2.2 Inverse transform method (iterative method)

The inverse transform method has many modifications, the efficiency of use of which depends on the nature of the corrected error, on the required performance, on the availability of hardware, accuracy, etc. Figure 3 shows the structural diagram of the method for reducing the systematic measurement error.

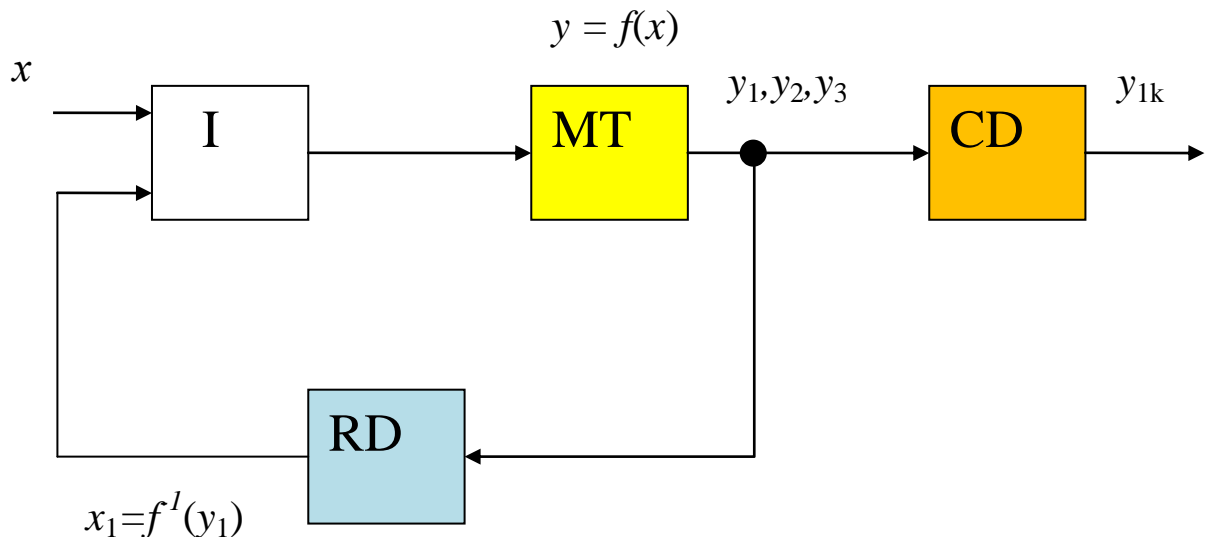


Figure 3 - The structural diagram of the method of inverse transform

Baseline data for the corrected measurement result is obtained during the execution of two iterations. The measured value of  $x$  is fed to the input of the measuring transducer (MT). Next, the computing device (CD) records the digital result code. Then CD gives it to the input of the inverter, the output of which produces an analog signal corresponding to the measurement result  $y_1$ . Next, the value obtained at the output of the inverter is fed to the input of the measuring transducer (MT). After measuring the analog signal  $y_2$ , the computing device (CD) determines the value of the corrected measurement result  $y_c$ . The inverse transform method reduces the additive and multiplicative components of the measurement error.

### 1.2.3 Test method

Test methods for improving the accuracy of measurements allow excluding the influence on the result of measurements of parameters of the original measuring device. They also exclude other components of measurement errors by converting special test signals and processing the results of transformations according to a specific algorithm. These methods are highly efficient and allow creating measurement systems for measuring both electrical and non-electrical quantities on base. The essence of test methods is to improve the accuracy of measurements and to determine the parameters of the static conversion function with the help of additional test conversions. These

tests are functionally related to the measured value. When implementing test methods, the measurement process consists of  $n+1$  cycles, where  $n$  is the number of tests used. In the first cycle, the measured value is converted, then the  $n$  tests, each of which is a function of the measured value, are transformed into  $A_1(x), A_2(x), \dots, A_n(x)$  additional cycles. The results of transformations can be presented in the form:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= a_1 + a_2 A_1(x) + \dots + a_n A_1(x)^{n-1} \\ \dots \\ y_n &= a_1 + a_2 A_n(x) + \dots + a_n A_n(x)^{n-1} \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

In order to obtain a test algorithm for improving the accuracy of measurements, it is necessary to determine the parameters of the  $a_1, a_2, \dots, a_n$  static conversion function of the original measuring instrument from the system of equations (1). Next, we should find the value of the measured value, substituting the obtained values of the parameters  $a_1, a_2, \dots, a_n$ . The measuring system consists of an additive test unit (ATU), a multiplicative test block (MTB), a computing device (CD), a measuring transducer (MT) and keys (S1, S2, S3). The structure diagram of the measuring system of the algorithm of the test method for improving the accuracy of measurements is presented in Figure 4.

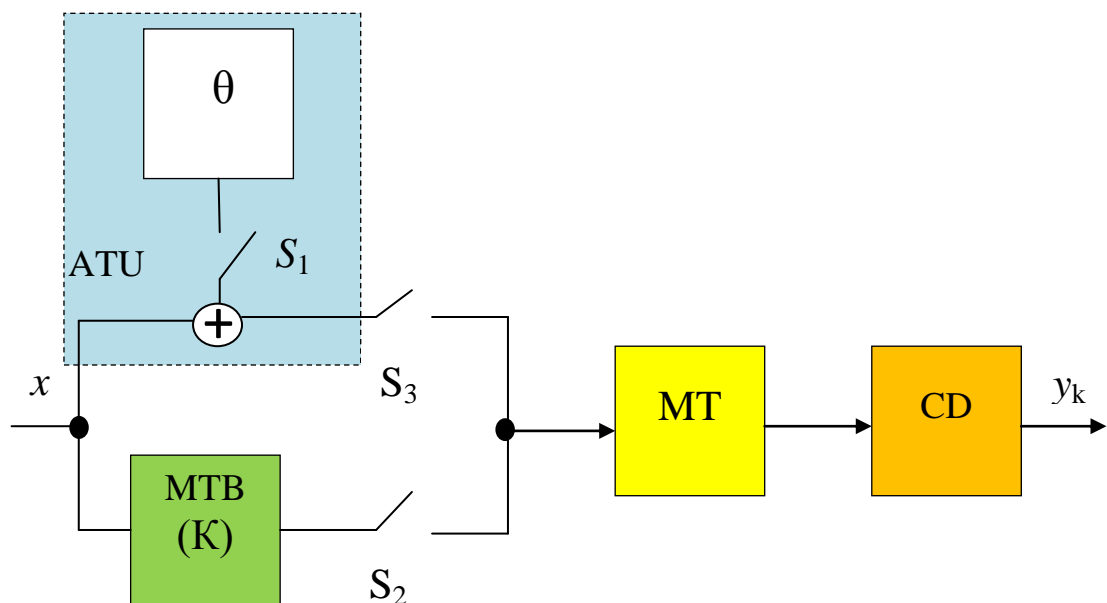


Figure 4 - Structure diagram of the measuring system.

The measurement process consists of three cycles. In the first cycle, the keys S1, S2 are open and only the measured quantity is fed to the input. In the second cycle, the key S1 closes and an additive test  $(x + \theta)$ , formed by the additive test unit (ATU), is fed to the input of the measuring transducer. In the third cycle, the key S1 is opened and the key S2 is closed, providing a connection to the input of the measuring converter of the multiplicative test of the type  $(x + Kx)$ , formed by the block of multiplicative tests. That is, in order to obtain the value of the measured value, it is necessary to solve the system of the following equation:

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= a_1 + a_2 x; \\ y_1 &= a_1 + a_2 (x + \theta); \\ y_2 &= a_1 + a_2 Kx \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

Therefore, the expression to determine the value of the measured value is as follows:

$$y_k = x = \frac{y_2 - y_0}{y_1 - y_0} \cdot \frac{\theta}{K - 1}, \quad (4)$$

As can be seen from the formula, the measurement result depends on the parameters of the additive and multiplicative tests  $\theta$  and  $K$ . Therefore, this method is imperfect and requires further research and improvement.