

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



Институт кибернетики
Направление подготовки – 27.03.01 «Стандартизация и метрология»
Кафедра систем управления и мехатроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Метрологическое подтверждение пригодности эталонов

УДК 53.089.68:006.91

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Тютрина Анастасия Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель кафедры СУМ	Емельянова Екатерина Юрьевна			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры менеджмента	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер	Маланова Наталья Викторовна	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин Владимир Евгеньевич	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

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

Институт кибернетики
Направление подготовки – 27.03.01 «Стандартизация и метрология»
Кафедра систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись)

(Дата)

В.Е Губин
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Г31	Тютриной Анастасии Александровне

Тема работы:

Метрологическое подтверждение пригодности эталонов

Утверждена приказом директора (дата, номер)

от 10.03.2017 № 1651/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

16.06.2017 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объектами исследования являются эталоны единиц электрических величин и единицы избыточного давления; режим работы – непрерывный; требования к объектам установлены в нормативно-правовых актах в области обеспечения единства измерений.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Задачи исследования: – провести обзор нормативно-правовых документов РФ в области метрологического обеспечения средств измерений, в т.ч. эталонов; – рассмотреть классификацию эталонов; – выполнить анализ процедур метрологического подтверждения пригодности эталонов; – изучить современные требования к проведению калибровки средств измерений и оцениванию неопределенности измерений; – разработать и опробовать методики калибровки манометра цифрового «МО-05» и калибратора «Fluke 5520A» с целью дальнейшей их аттестации в качестве эталонов; – разработать комплект документов для аттестации эталонов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Результаты измерений единиц величин в виде сводной таблицы; Схемы передачи размера единиц величин.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Николаенко В. С., ассистент кафедры менеджмента
Социальная ответственность	Маланова Н. В., к.т.н., инженер
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
1 Процедуры метрологического подтверждения пригодности эталонов	
1.1 Метрологическое обеспечение единства измерений	
1.2 Эталоны единиц величин	
1.3 Метрологическая прослеживаемость	
1.4 Порядок утверждения типа средств измерений	
1.5 Поверка средств измерений	
1.6 Калибровка средств измерений	
1.7 Порядок аттестации эталонов	
2 Требования к методикам калибровки и аттестации эталонов	

2.1 Требования к разработке методик калибровки
2.2 Неопределенность измерений
2.3 Методика оценки неопределенности
2.4 Требования к документам по аттестации эталонов
3 Калибровка и аттестация манометра цифрового «МО-05»
3.1 Основные метрологические характеристики манометра образцового «МО-05»
3.2 Поверочные схемы электрических величин манометра образцового «МО-05»
3.3 Разработка методики калибровки манометра образцового «МО-05» и ее проведение
3.4 Разработка комплекта документов для аттестации манометра образцового «МО-05»
4 Калибровка и аттестация калибратора «Fluke 5520A»
4.1 Основные метрологические характеристики калибратора «Fluke 5520A»
4.2 Поверочные схемы электрических величин калибратора «Fluke 5520A»
4.3 Разработка методики калибровки калибратора «Fluke 5520A» и ее проведение
4.4 Разработка комплекта документов для аттестации калибратора «Fluke 5520A»
Приложение А Методика калибровки манометра цифрового «МО-05»
Приложение Б Документы для аттестации манометра цифрового «МО-05» в качестве эталона
Приложение В Методика калибровки калибратора многофункционального «Fluke 5520A»
Приложение Г Документы для аттестации калибратора многофункционального «Fluke 5520A» в качестве эталона

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	08.02.2017
---	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Емельянова Е.Ю.	-		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Тютрина А.А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Г31	Тютриной Анастасии Александровне

Институт	ИК	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Формирование плана работ по разработке проекта
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Расчет трудоемкости выполнения этапов НИР
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Составление бюджета внедрения инженерного решения

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Календарный план-график проведения НИР</i>
2. <i>Временные показатели проведения НИР</i>
3. <i>Расчет бюджета НИР</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.03.2017
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент кафедры менеджмента	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Тютрина Анастасия Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Г31	Тютриной Анастасии Александровне

Институт	ИК	Кафедра	СУМ
Уровень образования	бакалавриат	Направление/специальность	Стандартизация и метрология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения: – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)	Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером и экспериментальной установкой с электрооборудованием. Объектами исследования являются калибратор многофункциональный «Fluke 5520A», манометр цифровой «МО-05». Оборудование: экспериментальная установка, компьютер, мебель (шкаф, стул, стол). В данной рабочей зоне возможно возникновение: – вредных проявлений факторов производственной среды (электромагнитные излучения, динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений, монотонность труда, наличие электромагнитных полей промышленных частот, сенсорные нагрузки); – опасных факторов (условия окружающей среды, электрический ток).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	Трудовой кодекс РФ; ГОСТ 12.1.030-81; ГОСТ 12.1.045-84; ГОСТ 12.2.007.3-75; ГОСТ 12.0.005-2014; ГОСТ 12.1.030-81; ГОСТ 12.1.038-82; ГОСТ Р 12.1.019-2009; Р 2.2.2006-05; СанПиН 2.2.4.1191-03; СанПиН 2.2.4.548-96; СанПиН 2971-84.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как: - электромагнитные излучения; - динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений; - монотонность труда;
--	---

	- сенсорные нагрузки; - наличие электромагнитных полей промышленных частот. Проводится анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: - условия окружающей среды; - электробезопасность; - электрический ток. Источниками данных опасных факторов являются: персональный компьютер, калибратора многофункциональный «Fluke 5520A», манометр цифровой «МО-05».
2. Экологическая безопасность:	Охрана окружающей среды: - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - анализ воздействия объекта на атмосферу.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Защита в чрезвычайных ситуациях: - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка мер по предупреждению ЧС.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - компоновка рабочей зоны.
Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
инженер	Маланова Наталья Викторовна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Тютрина Анастасия Александровна		

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

Институт – Кибернетики

Направление подготовки (специальность) – 27.03.01 «Стандартизация и метрология»

Уровень образования – Бакалавриат

Кафедра – Систем управления и мехатроники

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы	20.06.2017 г.
---	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
21.11.2016	Обзор литературы	
15.12.2016	Выбор объектов исследования	
20.02.2017	Разработка методики калибровки калибратора «Fluke 5520A»	
10.03.2017	Разработка методики калибровки манометра «МО-05»	
06.04.2017	Разработка комплектов документов для аттестации калибратора «Fluke 5520A»	
20.04.2017	Разработка комплектов документов для аттестации манометра «МО-05»	
31.04.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность	
06.05.2017	Калибровка объектов исследования	
15.05.2017	Обработка результатов измерений	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель каф. СУМ	Е.Ю. Емельянова			

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. СУМ	В.Е. Губин	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 254 страницы, 30 рисунков, 31 таблиц, 51 источник, 4 приложения.

Ключевые слова: метрологическое подтверждение пригодности, эталоны, метрологическое обеспечение, утверждение типа, поверка, калибровка, неопределенность, аттестация эталонов, методика калибровки.

Объектами исследования являются манометр цифровой «МО-05», калибратор многофункциональный «Fluke 5520A».

Цель работы – разработка комплекта документов для осуществления процедур метрологического подтверждения пригодности эталона единицы давления филиала «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация» и эталона единиц электрических величин Томского политехнического университета.

В процессе исследования выполнены: обзор нормативно-правовых документов в области метрологического обеспечения средств измерений, рассмотрение классификации эталонов, анализ процедур метрологического подтверждения пригодности, изучение современных требований к проведению калибровки средств измерений и оцениванию неопределенности, разработка и опробование методик калибровки на калибратор многофункциональный «Fluke 5520A» и манометр цифровой «МО-05», разработка комплектов документов для аттестации эталонов.

В результате исследования разработаны методики калибровки многофункционального калибратора «Fluke 5520A» и манометра цифрового «МО-05», комплекты документов для аттестации эталонов.

Область применения разработанных методик калибровки средств измерений и комплектов документов для аттестации эталонов – обеспечение единства измерений при калибровке средств измерений давления в филиале «Гусиноозерская ГРЭС» и метрологическое обеспечение научных исследований в Томском политехническом университете.

Содержание

	С.
Введение	13
1 Процедуры метрологического подтверждения пригодности эталонов	16
1.1 Метрологическое обеспечение единства измерений	18
1.2 Эталоны единиц величин	24
1.2.1 Основные термины и определения	24
1.2.2 Классификация эталонов единиц величин	25
1.2.3 Требования к эталонам единиц величин	29
1.3 Метрологическая прослеживаемость	30
1.3.1 Виды поверочных схем	33
1.3.2 Требования к построению и содержанию поверочных схем	34
1.4 Порядок утверждения типа средств измерений	37
1.5 Поверка средств измерений	41
1.5.1 Виды поверки	42
1.5.2 Требования к лабораториям	43
1.5.3 Требования к проведению поверки средств измерений	45
1.6 Калибровка средств измерений	49
1.6.1 Российская система калибровки	51
1.6.2 Требования к персоналу и калибровочным лабораториям	53
1.6.3 Требования	55
1.7 Порядок аттестации эталонов	60
2 Требования к методикам калибровки и аттестации эталонов	66
2.1 Требования к разработке методик калибровки	69
2.2 Неопределенность измерений	75
2.3 Методика оценивания неопределенности	81
2.4 Требования к документам по аттестации эталонов	93
2.4.1 Требования к содержанию паспорта эталона	93
2.4.2 Требования к правилам содержания и применения эталона	94
2.4.3 Требования к содержанию характеристик эталона	96

3 Калибровка и аттестация цифрового манометра «МО-05»	100
3.1 Основные метрологические характеристики манометра «МО-05»	100
3.2 Схема передачи размера единицы избыточного давления	102
3.3 Разработка методики калибровки манометра «МО-05»	104
3.4 Разработка комплектов документов для аттестации манометра «МО-05»	104
3.3.1 Структура методики калибровки	104
3.3.2 Результаты калибровки	109
4 Калибровка и аттестация калибратора «Fluke 5520A»	117
4.1 Основные метрологические характеристики калибратора «Fluke 5520A»	118
4.2 Схемы передачи размера единиц электрических величин	120
4.3 Разработка методики калибровки калибратора «Fluke 5520A»	126
4.4 Разработка комплекта документов для аттестации калибратора «Fluke 5520A»	148
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	149
5.1 Планирование исследования	149
5.2 Определение трудоемкости выполнения работ	150
5.3 Разработка графика проведения научного исследования	151
5.4 Расчет бюджета научно-технического исследования	154
5.4.1 Расчет материальных затрат	155
5.4.2 Расчет основной заработной платы	156
5.4.3 Расчет дополнительной заработной платы	158
5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды	158
5.4.5 Накладные расходы	158
5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы	159
5.5 Оценка экономической эффективности исследования	160
6 Социальная ответственность	161

6.1 Производственная безопасность	161
6.1.1 Условия окружающей среды	161
6.1.2 Электробезопасность	164
6.1.3 Динамические нагрузки	167
6.1.4 Монотонность труда	168
6.1.5 Сенсорные нагрузки	169
6.2 Экологическая безопасность	170
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	172
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	175
6.4.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности	175
6.4.2 Организационные вопросы обеспечения безопасности	176
Заключение	178
Список использованных источников	179
Приложение А Методика калибровки манометра цифрового «МО-05»	186
Приложение Б Документы для аттестации манометра цифрового «МО-05» в качестве эталона	200
Приложение В Методика калибровки калибратора многофункционального «Fluke 5520A»	217
Приложение Г Документы для аттестации калибратора многофункционального «Fluke 5520A» в качестве эталона	235
CD Диск «ВКР. Метрологическое подтверждение пригодности эталонов. Тютрина А.А. Кафедра СУМ. Направление подготовки 27.03.01 «Стандартизация и метрология»	

Введение

С развитием науки, техники, изобретений необходимость в повышении точности измерений непрерывно растет. В то же время конкретизируются и ужесточаются требования к качеству проектируемой, выпускаемой, эксплуатируемой продукции, а также к качеству измерительной информации об объекте. В свою очередь, качество измерительной информации определяется уровнем метрологического обеспечения объекта в зависимости от его классификации.

Достижение высокого уровня метрологического обеспечения, совершенствование технологических процессов невозможны без производства и эксплуатации точных, надежных и долговечных средств измерений утвержденного типа, аттестованных эталонов, используемых в организациях при передаче единицы величины от наивысшего по разрядности эталона рабочим средствам измерений, стоящих ниже по разрядности согласно государственной поверочной схеме. В связи с этим такой процесс, как метрологическое подтверждение пригодности эталонов является важным этапом в обеспечении единства измерений в филиале «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация», а также в подразделениях Томского политехнического университета.

Актуальность работы обусловлена необходимостью выполнения процедур метрологического подтверждения пригодности таких эталонов как:

- манометра цифрового «МО-05» с целью обеспечения метрологической прослеживаемости при передаче размера единицы измерений давления в филиале «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация» (при проведении поверки и калибровки манометров);

- калибратора многофункционального «Fluke 5520A» с целью метрологического обеспечения измерений, проводимых при научных и лабораторных исследованиях в подразделениях Томского политехнического университета.

Предмет исследования – метрологическое подтверждение пригодности эталонов.

Объектом исследования являются калибратор многофункциональный «Fluke 5520A», манометр цифровой «МО-05».

Таким образом, **целью работы** является разработка комплекта документов для осуществления процедур метрологического подтверждения пригодности (калибровка и аттестация) эталона единицы избыточного давления филиала филиале «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация», и эталона единиц электрических величин Томского политехнического университета.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи исследования:

1 Провести обзор нормативно-правовых документов в области метрологического обеспечения средств измерений.

2 Рассмотреть классификацию эталонов применительно к объектам исследования.

3 Выполнить анализ процедур метрологического подтверждения пригодности.

4 Изучить современные требования к проведению калибровки средств измерений и оцениванию неопределенности измерений.

5 Разработать и опробовать методику калибровки на калибратор многофункциональный «Fluke 5520A» и манометр цифровой «МО-05» с целью дальнейшей их аттестации в качестве эталонов.

6 Разработать комплект документов для аттестации вышеуказанных эталонов.

Практическая значимость. Полученные в данной работе результаты, разработанные типовые методики калибровки успешно апробированы, разработаны комплекты документов для аттестации эталонов на кафедре систем управления и мехатроники Томского политехнического университета, а также в цехе АСУТП филиала «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-

Электрогенерация», и в дальнейшем могут быть использованы в целях обеспечения единства измерений данных организаций.

Аттестованные в качестве рабочих эталонов объекты исследования могут быть использованы при поверке (калибровке) рабочих средств измерений, а также использоваться в коммерческих целях указанных организаций посредством предоставления данных эталонов на поверку (калибровку) сторонним организациям.

1 Процедуры метрологического подтверждения пригодности эталонов

Получение недостоверной информации об объекте может негативно отразиться на безопасности человека и окружающей среды. Особое внимание к качеству продукции и функционированию технологического процесса уделяется на таких крупных объектах, как атомные электростанции, машиностроительные заводы, авиазаводы, агропромышленные комплексы и др. Все вышеприведенные объекты были перечислены с целью проведения аналогии между объектом и последствиями в результате его деятельности по отношению к обществу, потребителю и окружающей среде. Именно учет опыта негативных последствий от неправильной эксплуатации объектов, недостоверной измерительной информации определяет необходимость контроля качества продукции на всех этапах жизненного цикла, а также соответствия автоматизации процессов испытаний и контроля современным техническим, в т.ч. метрологическим требованиям.

Стоит отметить, что достижение высокого качества выпускаемой продукции, совершенствование технологических процессов невозможны без применения на производстве точных, надежных и долговечных средств измерений (СИ), а информация об измерениях используется при принятии управленческих решений в определении качества продукции, научных экспериментах, при автоматизации процессов измерений, испытаний и контроля [1].

Качество измерительной информации определяется уровнем метрологического обеспечения технологических процессов. Метрологическое обеспечение осуществляется в соответствии с требованиями, установленными стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) [2], целями которой согласно [3] являются:

- установление правовых основ обеспечения единства измерений в Российской Федерации;

- защита прав и законных интересов граждан, общества и государства от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений;
- обеспечение потребности граждан, общества и государства в получении объективных, достоверных и сопоставимых результатов измерений, используемых в сфере государственного регулирования в области обеспечения единства измерений (ГР ОЕИ).

Проводя сравнение между двумя понятиями: «обеспечение единства измерений» [4] и «метрологическое обеспечение» [5], можно отметить общую направленность данных процедур:

- обеспечение качественной информации об объекте;
- обеспечение единства измерений (ОЕИ).

Обеспечить единство измерений при производстве продукции на конкретном предприятии или в стране в целом невозможно без применения эталонов, метрологическая пригодность которых подтверждена при утверждении типа СИ, поверки и калибровки, аттестации эталонов. Эталоны являются одним из важнейших элементов метрологического обеспечения измерений.

Как уже было отмечено в статье [1], основной проблемой метрологического обеспечения (МО) в стране является отсутствие нормативно-технической базы. Решение этой проблемы можно найти, проведя анализ технологий и изобретений, а также выявить перечень критических технологий, нуждающихся в развитии. Если в основе технологических укладов лежат инновационные технологии и изобретения, то ни одно изобретение и тем более технология не мыслимы без метрологии.

Так, в одних случаях, новые возможности в измерениях приводят к новым открытиям, возможностям в производстве, в других – новые технологии способствуют появлению новых измерений, повышению точности измерений. Одним из показателей реагирования метрологии на повышение её востребованности является рост числа введенных государственных первичных эталонов, а также увеличение числа и видов используемых в экономике СИ [6].

Так, за счет применения поверенных СИ, являющихся гарантами достоверности информации и эталонов, обеспечивается единство измерений в стране. С помощью эталонов осуществляется передача размера единицы измерений величины средства измерений, по результатам которой принимается решение о возможности применения СИ в конкретной области государственного регулирования. Применение поверенных СИ необходимо не только при производстве продукции, контроле качества, обеспечении безопасных условий труда, но и вне сферы государственного регулирования. Именно поэтому обеспечение метрологического подтверждения пригодности эталонов является важным этапом при осуществлении любого вида деятельности на предприятии.

Со дня вступления в силу Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» появилось очень много новых нормативно-правовых документов в области обеспечения единства измерений (ОЕИ), в т.ч. по утверждению типа СИ, аттестации эталонов, поверки СИ и др. Ввиду отсутствия ранее особых требований к эталонам возникает необходимость более детального рассмотрения и анализа вопроса метрологического обеспечения эталонов.

Первая глава посвящена анализу основных элементов и процессов метрологического обеспечения измерений (МОИ), установлению требований к эталонам и их классификации, а также описанию таких процедур, как утверждение типа СИ, поверка и калибровка эталонов.

1.1 Метрологическое обеспечение единства измерений

Метрологическое обеспечение измерений основано на получении измерительной информации об объекте с помощью различных средств и методов измерений. Измерительная информация должна быть актуальной и представлена в достаточно полной мере в целях принятия решений по приведению объекта в требуемое состояние.

Согласно [5] предметом МО являются измерения, выполняемые при производстве и эксплуатации продукции, проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проведении экспериментов и испытаний продукции, контроле условий труда и безопасности, учете материальных ресурсов и др. А целью МОИ является создание условий для получения измерительной информации.

Достоверность и полнота, как свойство измерительной информации, зависят от конкретной решаемой задачи и обеспечиваются сферой государственного регулирования обеспечения единства измерений (ГР ОЕИ) в соответствии с [4]. Анализируя основной закон можно заметить, что данный документ не содержит формулировок, поддерживающих существование и деятельность метрологических служб предприятий и организаций [7]. Однако, в [8] автором статьи, сфера ГР ОЕИ рассматривается как фундамент МО. В связи с неоднозначно трактуемым национальным стандартом ГОСТ Р 8.820-2013 необходимо добиться однозначного понимания термина «метрологическое обеспечение» как процесса по обеспечению качества. Необходимо разъяснить, что из себя представляет система МО.

Под элементами МОИ понимаются материальные объекты, к которым согласно [5] относятся следующие элементы:

- эталоны, единицы величин и шкалы измерений;
- поверочные и калибровочные установки;
- средства измерений, стандартные образцы;
- вспомогательное оборудование;
- методики (измерений, поверки, калибровки, испытаний, контроля, аттестации, метрологической экспертизы);
- операторы (специалисты, выполняющие измерения, поверители, калибровщики, испытатели и др.);
- условия измерений (испытаний, поверки, калибровки и др.).

Таким образом, вышеперечисленные элементы – это те элементы МО, к которым устанавливаются метрологические требования, изложенные в [4]

применительно к данным элементам. Для того, чтобы обеспечить соблюдение изложенных требований в рамках закона, необходимо определить, какими процессами (методами) достигается соответствие требованиям. Под процессами МОИ подразумеваются действия, связанные с подтверждением соответствия элементов МОИ. К данным процессам относят:

- *проектирование МОИ*, включая установление требований к показателям точности и полноте, достоверности, своевременности и актуальности измерительной информации; выбор принципов, методов и методик измерений; выбор элементов МОИ;

- *метрологическое подтверждение пригодности* элементов МОИ установленным требованиям, в т.ч. испытания в целях утверждения типа СИ, поверку и калибровку СИ, аттестацию методик измерений, метрологическую экспертизу технической документации и др.);

- *подготовительные и вспомогательные работы* (действия), связанные с проектированием МОИ, метрологическим подтверждением пригодности элементов МОИ и поддержанием функционирования системы МОИ.

Процессы установления требований к элементам МОИ на сегодняшний день актуальны для всех организаций, предприятий, научно-производственных объединений, корпораций и др. Для таких объектов весь процесс МО в совокупности представляет собой функциональную структуру метрологической службы предприятия от разработки до выпуска продукции, также включающую также организацию контроля в процессе эксплуатации продукции, направленного на производство качественной продукции. Содержание работ по МО на предприятии обусловлено особенностями производственного процесса. Процессы МО на предприятиях несут в себе важную функцию оптимизации технологических решений на этапах жизненного цикла продукции, о чем упоминается в [8].

Результатом автоматизации процессов измерений, испытаний и контроля, как правило, является создание и применение уникальных технических средств, созданных для решения конкретных производственных

задач. Деятельность, связанная с использованием таких средств в сфере ГР ОЕИ, регламентируется действующими нормативно-правовыми документами.

Разработка и использование на производстве уникальных технических средств требует от метрологов предприятия применения нестандартных подходов при решении задач метрологического обеспечения, в т.ч. при поиске, выборе и создании эталонов, используемых для подтверждения соответствия СИ метрологическим требованиям.

Различные методы измерений и испытаний с использованием соответствующих технических средств и оборудования способствуют обеспечению качества выпускаемой продукции. На рисунке 1 рассмотрена структура измерений как часть локальной системы ОЕИ [1].

В самом общем виде МО включает в себя «доставку» размера величины в систему конкретного измерения, реализацию в процессе измерения единицы, которая должна быть близка с требуемой точностью к эталону, создание и реализацию алгоритмов оценивания показателей точности измерений.

Конкретный фактор определяет объекты, условия, виды и категории измерений, системную цель и требуемую точность их результатов. При этом необходимо подчеркнуть, что измерение как системный объект МО выступает в зависимости от стадии производственного процесса (разработка, испытания, производство, эксплуатация и т.п.).

В процессе сравнения результатов наблюдений объекта исследований с некоторой моделью (так называемой, эталонной), необходимо стремиться достигать минимального различия от цели (модели, эталона) за счет эффективного функционирования системы МО. Это, в основном, и является общей целью в структуре различных видов измерений.

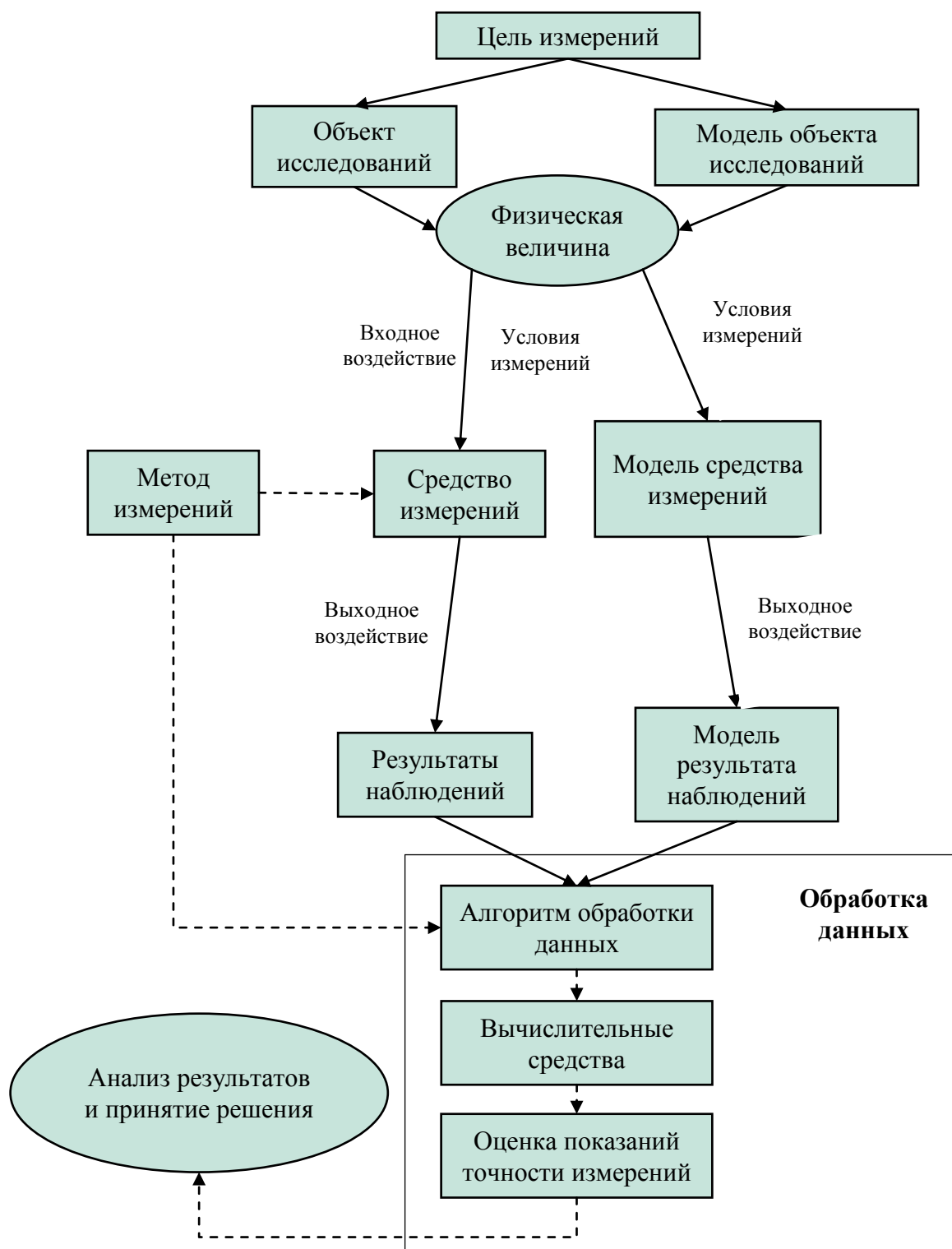


Рисунок 1 – Структура измерений как часть метрологического обеспечения

При решении конкретной задачи элементы МОИ должны быть пригодны к применению и соответствовать заявленным требованиям. Процессы подтверждения пригодности элементов МОИ включают в себя:

- 1) утверждение типа, поверка (калибровка СИ);

- 2) утверждение типа и поверку или калибровку СИ в составе эталона, аттестация эталона;
- 3) оценку соответствия вспомогательного оборудования установленным требованиям;
- 4) аттестацию методик измерений (испытаний, контроля);
- 5) метрологическую экспертизу документов по планированию и разработке процессов измерений (контроля, испытаний);
- 6) оценку квалификации и необходимого опыта работы операторов;
- 7) контроль условий выполнения измерений.

Эталоны играют важную роль в сфере ГР ОЕИ, обеспечивая воспроизведение, хранение и передачу единицы измерений величины. Для создания и поддержания функционирования системы МОИ для эталонов осуществляются следующие виды деятельности, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Виды деятельности по метрологическому обеспечению измерений

Элемент МОИ	Виды деятельности МОИ	Нормативные документы
Эталон	Утверждение типа	ФЗ № 102 [4], Приказ № 1081 [9], Приказ № 970 [11] ФЗ, МИ 3290 [11]
	Поверка	ФЗ № 102 [4], ФЗ № 184 [12]
	Калибровка	ФЗ № 102 [4], Постановление № 734 [13], ГОСТ ИСО/МЭК 17025 [14], РМГ 120 [14], ГОСТ Р 8.879 [16], Р РСК 002 [17]
	Аттестация эталона	ФЗ № 102 [4], Приказ № 36 [18]

В таблице 1 систематизированы виды деятельности, касающиеся эталона, в соответствии с классификацией процессов и элементов МОИ по ГОСТ 8.820-2013 с указанием нормативно-правовых документов, которые регламентируют деятельность по ОЕИ.

В следующем разделе рассмотрены основные требования и классификация эталонов единиц величин.

1.2 Эталоны единиц величин

1.2.1 Основные термины и определения

К средствам измерительной техники относят: средства измерений, эталоны, измерительные системы, измерительные установки, измерительные принадлежности, средства сравнения, стандартные образцы и др. Эталоном может быть СИ, материальная мера или стандартный образец. Вследствие этого необходимо также исчерпывающее определение термина «эталон». В таблице 2 представлены определения термина «эталон».

Таблица 2 – Определения термина «эталон»

Документ	Определение
Международный словарь VIM3[19]	<i>Эталон</i> – реализация определения данной величины с установленным значением величины и связанной с ним неопределенностью измерений, используемая в качестве основы для сравнения
ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [4]	<i>Эталон единицы величины</i> – техническое средство, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины
РМГ 29-2013 [20]	<i>Эталон</i> – средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений

Эталон часто используется как основа для сравнения. Из определения в [19] следует, что основой для сравнения при установлении измеренных значений величины является неопределенность. Остальные определения уточняют назначение эталона: во-первых, эталон предназначен для воспроизведения единицы величины (далее – ЕВ), т.е. установления фиксированного значения величины в соответствии с принятой для данной величины единицы; во-вторых, для хранения ЕВ, т.е. неизменность во времени размера ЕВ; в-третьих, для передачи величины или шкалы измерений, т.е. приведение величины, хранимой средством измерений, к единице величины, воспроизводимой эталоном данной величины.

Из анализа рассмотренных определений можно сделать вывод о том, что в настоящее время нет единой терминологии в области средств измерительной техники. Также из примечаний в РМГ 29, касающихся определения эталона, следует, что средство измерений может являться эталоном.

Для того, чтобы применять эталоны ЕВ как элемент МО на предприятиях для различных целей, в том числе в целях обеспечения качества производственных подпроцессов, необходимо установить соподчинение эталонов, рассмотреть их классификацию, а также определить место рабочего эталона в классификации эталонов, составляющих эталонную базу Российской Федерации.

1.2.2 Классификация эталонов единиц величин

Классификация эталонов ЕВ позволяет рассмотреть длинную цепочку их соподчинения и понять, какие из эталонов признаны быть наиболее значащими в иерархии, и наоборот. Классифицируя эталоны по признаку, можно остановиться подробнее на каждом из них. На рисунке 2 представлена классификация эталонов по принадлежности к странам.

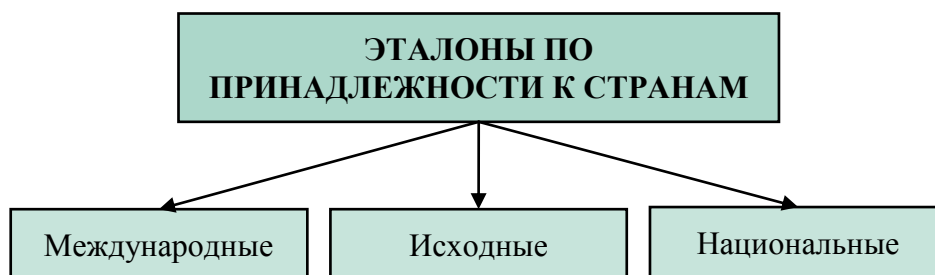


Рисунок 2 – Классификации эталонов по принадлежности к странам

Международный эталон – это эталон, который признан всеми государствами, подписавшими международное соглашение, и предназначен для всего мира. Данный эталон служит для согласования с ним шкал и размеров ЕВ, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Исходный эталон – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в стране или группе стран, в регионе,

министерстве (ведомстве), организации, предприятии или лаборатории), передающий единицу величины или шкалу измерений подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений.

Эталоны, стоящие в поверочной схеме (калибровочной иерархии) ниже исходного эталона, обычно называют подчиненными эталонами.

Национальный эталон – эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны. В некоторых странах СНГ в качестве национального эталона используют вторичный или рабочий эталон [20].

Эталонную базу Российской Федерации составляет совокупность первичных государственных, вторичных и рабочих эталонов и являющихся основой обеспечения единства измерений в стране. В настоящее время различают следующую классификацию, определяющую эталонную базу РФ: государственный первичный, вторичный, рабочий. Классификация эталонов РФ представлена на рисунке 3.

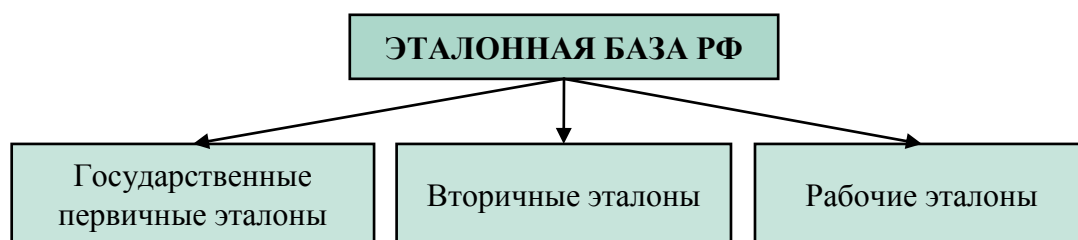


Рисунок 3 – Классификации эталонов РФ

Государственный первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. Следует отметить, что термин «национальный эталон» применяется тогда, когда хотят подчеркнуть соподчиненность международному эталону, который принимается по соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами. Также существует так называемый специальный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющий для этих условий первичный эталон. Единица, воспроизводимая с помощью специального эталона, по размеру должна быть

согласована с единицей, воспроизводимой с помощью соответствующего первичного эталона.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы. В зависимости от метрологического назначения вторичные эталоны подразделяются на: эталон-свидетель, эталон-копию и эталон сравнения. Эталон-свидетель – это эталон, служащий для проверки сохранности и неизменности государственного первичного эталона и его замены в случае порчи или утраты. Эталон-копия – вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам (эталон-копия не всегда является физической копией государственного эталона, он копирует лишь метрологические свойства государственного эталона). Эталон сравнения – вторичный эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам измерений. Рабочий эталон воспринимает размер единицы от вторичных эталонов и, в свою очередь, служит для передачи размера менее точному рабочему эталону (низшего разряда) или рабочим средствам измерений. Термин «рабочий эталон» заменил используемый ранее термин «образцовое средство измерений».

При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., n -й). Разрядный эталон – эталон, обеспечивающий передачу размера единицы величины через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов (при этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке размер единицы передается рабочему СИ, число разрядов для каждого вида СИ устанавливается согласно государственной поверочной схеме).

Также эталон может быть транспортируемым. Транспортируемый эталон – эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам поверки (калибровки) средств измерений или сличений эталонов.

В зависимости от назначения и исполнения эталоны подразделяются следующим образом:

- одиночный эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и хранения единицы;
- групповой эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения (за результат измерений обычно принимается среднее арифметическое значение из результатов измерений однотипными средствами измерений или эталонными установками);
- эталонный набор, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств (эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений физической величины, например, набор эталонных гирь).

Классификация эталонов по составу и назначению представлена на рисунке 4.

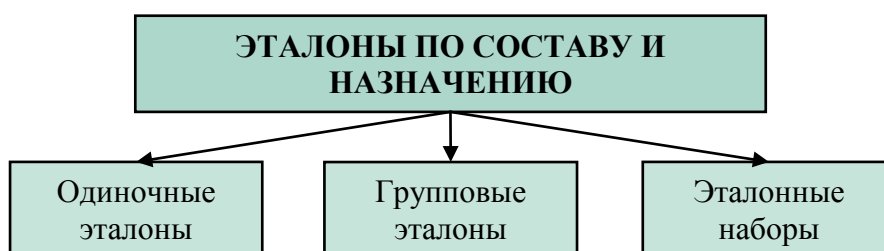


Рисунок 4 – Классификации эталонов по составу и назначению

Такое многообразие признаков классификации эталонов обусловлено структурой и реализацией системы ОЕИ отдельных величин. Очевидно, что достижению этой цели, прежде всего, будет способствовать применение одинаковых, с точки зрения их определения, единиц. Также для реализации системы ОЕИ Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений», являющийся основополагающим для данной системы, устанавливает

требования к эталонам ЕВ, которым необходимо следовать. Некоторые из требований нормативно-правовых актов (НПА), касающиеся требований к эталонам, будут рассмотрены в следующем подразделе.

1.2.3 Требования к эталонам единиц величин

В состав эталонов ЕВ могут входить основные технические средства, в том числе СИ неутвержденного типа, которые применяются при воспроизведении, хранении и передаче ЕВ [18].

Обязательные требования к эталонам ЕВ применяются в процессе их содержания и применения, а также при их сличении. Установление обязательных требований осуществляется по результатам первичной аттестации. Первичная аттестация – оценка соответствия эталона ЕВ заданным обязательным требованиям, проводимая до ввода в эксплуатацию эталона ЕВ. Также существует периодическая аттестация, которая проводится в процессе эксплуатации эталона не реже одного раза в два года.

При проведении аттестации утверждается наименование эталона ЕВ, присваивается номер, определяется его состав, устанавливаются обязательные метрологические, технические требования (характеристики) и правила содержания и применения эталона ЕВ, а также межаттестационный интервал (как правило, его устанавливают равным минимальному межповерочному интервалу СИ, используемых в составе эталона) [13].

Конструкция эталонов ЕВ должна быть устроена таким образом, чтобы исключить вмешательство, которое может привести к искажению воспроизведения, хранения и передачи ЕВ, шкалы измерений.

Вторичные и рабочие эталоны, применяемые в РФ, должны быть прослеживаемыми к государственным первичным эталонам [4].

Для оценки пригодности эталона ЕВ необходимо определять его место в поверочной схеме. Данную процедуру обеспечивает метрологическая прослеживаемость, которая будет рассмотрена в следующем разделе.

1.3 Метрологическая прослеживаемость

Метрологическая прослеживаемость – свойство результата измерений, в соответствии с которым результат может быть соотнесен с основой для сравнения через документированную непрерывную цепь калибровок, каждая из которых вносит вклад в неопределенность измерений [20].

Эталон напрямую связан с метрологической прослеживаемостью, так как сам является основой для сравнения результатов измерений, полученных при калибровке (поверке) СИ. По результатам измерений обычно определяют место калибруемого (поверяемого) СИ в поверочной схеме.

Воспользовавшись схемой, приведенной на рисунке 5, отметим, что результат измерений, помимо значения измеряемой величины, характеризуется двумя свойствами: метрологической сопоставимостью и метрологической совместимостью. Первое из этих свойств опирается на существование основы для сравнения и метрологической прослеживаемости, а относительно второго, с некоторым упрощением, можно сказать, что оно предполагает конечную величину неопределенности измерений [21].

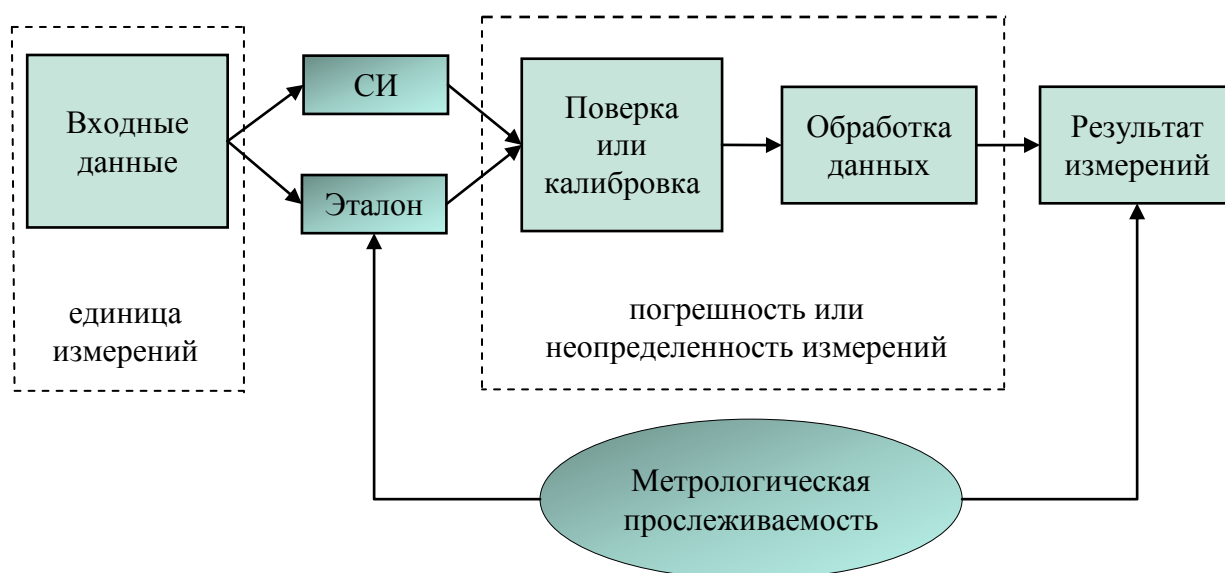


Рисунок 5 – Место эталона в схеме метрологической прослеживаемости

Метрологическая прослеживаемость также направлена на обеспечение единства измерений и тесно связана с термином «передача единицы величины».

Передача единицы величины – это приведение размера величины, хранимой средством измерений, к единице величины, воспроизводимой или хранимой эталоном данной единицы величины или стандартным образцом [20].

Передача ЕВ является признаком метрологической прослеживаемости, так как именно эта операция реализует метрологическую прослеживаемость от эталона к СИ через процедуру поверки (калибровки) и обработки данных.

Документ, в котором описана эта операция, называется государственной поверочной схемой. Поверочные схемы являются нормативно-правовыми документами, устанавливающими номенклатуру и соподчиненность СИ данной величины, обеспечивающих рациональную систему передачи размера единицы от первичного эталона всем имеющимся в стране эталонам и СИ данной величины. При наличии большого парка рабочих СИ различной точности возникает необходимость в создании системы эталонов различной степени точности, и, тем самым - к иерархической соподчиненности эталонов единицы в такой системе. Именно по такому иерархическому принципу в нашей стране разрабатываются государственные поверочные схемы для СИ отдельных величин, которые будут рассмотрены в следующем подразделе.

Поверочная схема может быть использована для установления метрологической прослеживаемости результатов измерений (рисунок 6).

На рисунке 6 можно проследить цепочку из набора методов и средств ОЕИ, в частности, обеспечения метрологической прослеживаемости. С помощью эталона определенной вида, осуществляется передача единицы величины другим эталонам, или рабочим СИ, имеющим класс точности ниже вышестоящих эталонов. Передача величины осуществляется с помощью операций поверки или калибровки, позволяющие определить погрешность или неопределенность измерений конкретного эталона или типа СИ.

В результате сравнения результатов измерений двух эталонов (или эталона и рабочего СИ) определяется их место в поверочной схеме. Именно поверочная схема является заключительным этапом при осуществлении метрологической прослеживаемости и документально оформляется.

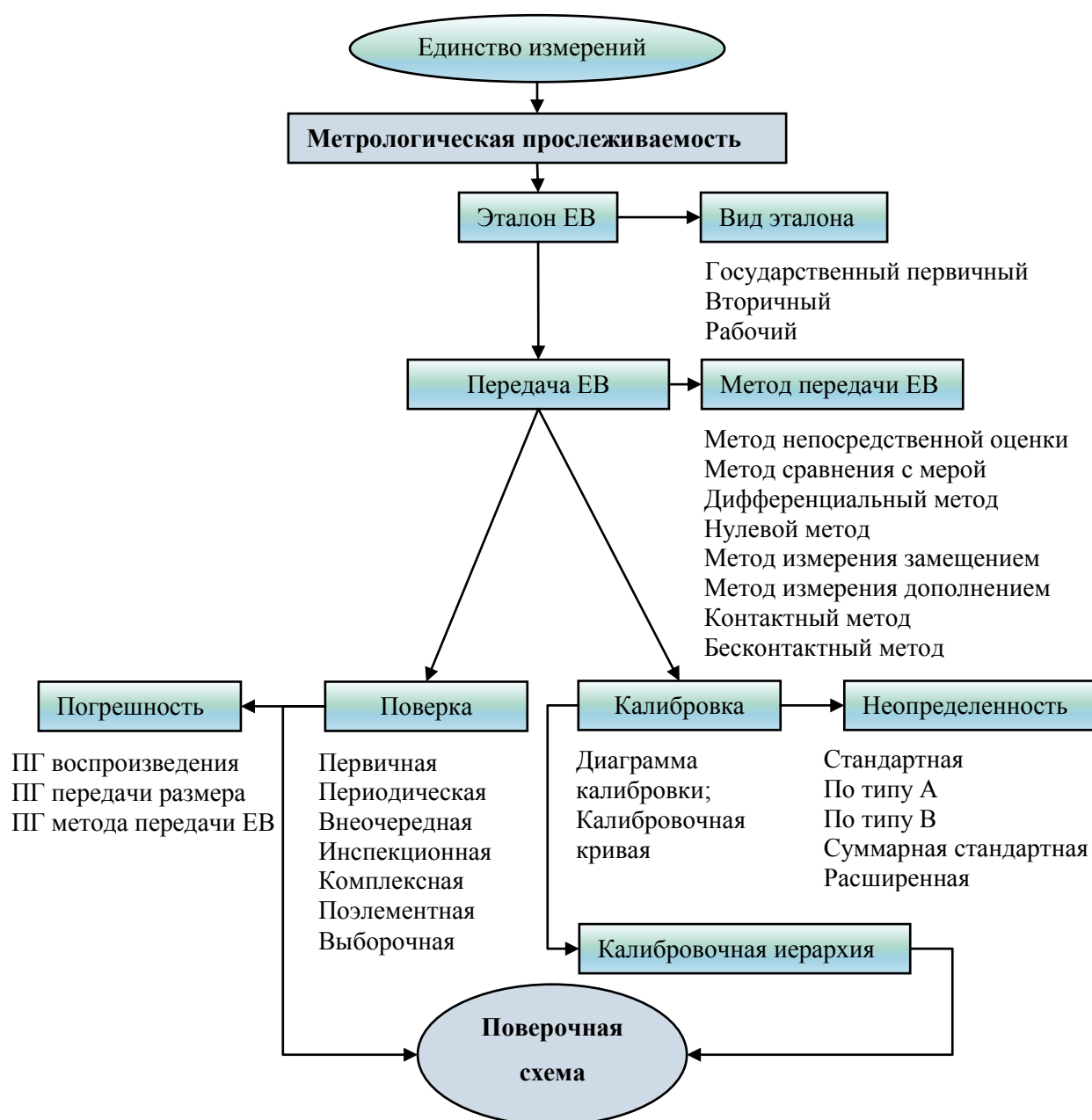


Рисунок 6 –Структура, устанавливающая связь между терминами «метрологическая прослеживаемость» и «поверочная схема»

В документе «поверочная схема» указывают методы передачи единицы величины, средства поверки (калибровки), их погрешности, а эталонам присваивается разряд. Более подробно о видах поверочных схем, а также о требованиях к содержанию и построению будут приведены в следующих подразделах.

1.3.1 Виды поверочных схем

Обеспечение правильной передачи размера единицы ФВ осуществляется посредством применения поверочных схем.

Поверочные схемы представляют собой утвержденные в установленном порядке документы, которые регламентируют средства, методы и точность передачи размера единицы величины от государственного (национального, первичного, исходного) эталона к рабочим СИ. В настоящее время данные документы составляют на основе ГОСТ 8.061-80 [22].

В зависимости от области распространения поверочные схемы подразделяются на следующие виды:

- государственные поверочные схемы;
- локальные поверочные схемы.

Государственная поверочная схема – документ, определяющий порядок передачи единицы величин эталонам единиц величин и (или) СИ от эталонов единиц величин, имеющих более высокие показатели точности [13]. Например, «государственная поверочная схема для СИ постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы».

Государственная ПС распространяется на все СИ данной величины, применяемые в стране и разрабатывается хранителем государственного эталона единицы этой величины.

Во главе любой из действующих государственных поверочных схем стоит государственный первичный эталон единицы величины, обеспечивающий воспроизведение и хранение единицы на территории РФ для передачи ее размера эталонам, соподчиненным с первичным, и СИ в соответствии с утвержденной поверочной схемой.

Локальная поверочная схема – поверочная схема, распространяющаяся на эталоны и СИ данной величины, применяемые в регионе, отрасли, ведомстве или на отдельном предприятии (в организации) и утверждаемая в качестве

нормативного документа организацией (учреждением, подразделением - для отдельного предприятия), отвечающей за обеспечение единства измерений [20].

Обычно локальная поверочная схема разрабатывается в том случае, если отсутствует государственная поверочная схема, а также если она разрабатывается для вторичных, рабочих эталонов и рабочих СИ, которые подлежат аттестации, поверке (калибровке) в данной организации, имеющей ряд особенностей, от которых зависит необходимость в разработке.

Также от ряда особенностей и уникальности как предприятия, так и применяемого эталона зависит возможность разработки локальной поверочной схемы при уже имеющейся государственной поверочной схеме. В таких случаях в локальных поверочных схемах допускается указывать конкретные типы (экземпляры) СИ. Допускается локальную поверочную схему разрабатывать в виде стандарта организации. Данные схемы определяются тем, какое образцовое СИ имеется на предприятии, какова точность СИ и т.д. Локальные поверочные схемы не должны противоречить государственным поверочным схемам для СИ тех же единиц величин.

1.3.2 Требования к построению и содержанию поверочных схем

К поверочным схемам предъявляют следующие общие требования:

- поверочные схемы распространяются на передачу одной единицы величины (или нескольких взаимосвязанных величин)
- документ на поверочную схему (стандарт организации, государственный стандарт) должен включать в себя чертеж поверочной схемы и текстовую часть, содержащую пояснения к чертежу.

На схеме должны быть указаны:

- 1) наименования СИ и методов поверки (калибровки);
- 2) номинальные значения или диапазоны значений величины;
- 3) допускаемые значения погрешностей СИ;
- 4) допускаемые значения погрешностей методов поверки (калибровки).

Поля должны иметь наименования:

- 1) «Государственный первичный эталон» (если вторичные эталоны отсутствуют);
- 2) «Рабочий эталон n -го разряда» (для каждого разряда – отдельное поле);
- 3) «Рабочие средства измерений».

Поверочная схема должна включать в себя не менее двух ступеней передачи размера единицы величины.

Наименования полей указывают в левой части чертежа. Сверху вниз, в порядке соподчинения, указывают наименования эталонов и рабочих СИ. Под наименованиями указывают номинальные значения или диапазоны значений величин и значения их погрешностей. Погрешности эталонов должны быть выражены в соответствии с ГОСТ 8.057-80 [23].

Погрешности рабочих СИ следует характеризовать пределом допускаемой погрешности СИ (Δ – для абсолютной, Δ_0 – для относительной формы), либо границами доверительной погрешности СИ (δ – для абсолютной, δ_0 – для относительной формы) при соответствующей доверительной вероятности. Для каждой поверочной схемы доверительную вероятность принимают единой и выбирают из ряда: 0,90; 0,95; 0,99.

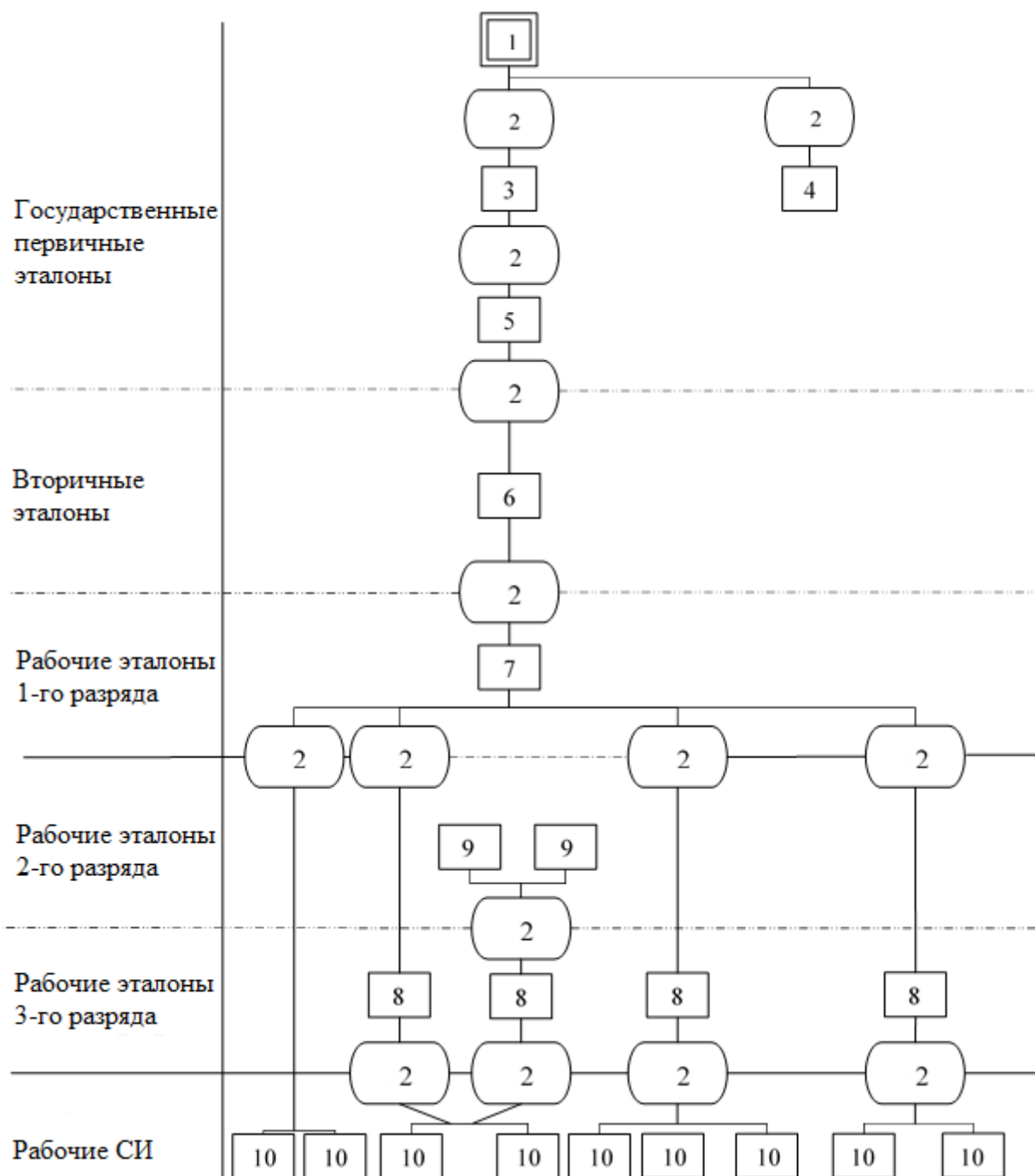
Метрологические характеристики рабочих СИ должны соответствовать требованиям ГОСТ 8.009-84 [24]. Погрешность рабочих СИ следует характеризовать пределом допускаемой погрешности СИ. Форма выражения погрешности рабочих СИ в поверочной схеме по возможности должна быть одинаковой.

Методы поверки (калибровки) СИ, указываемые в поверочной схеме, с целью унификации должны соответствовать одному из следующих общих методов:

- 1) непосредственное сличение (т.е. без средств сравнения);
- 2) сличение при помощи компаратора или других СИ;
- 3) метод прямых измерений;

4) метод косвенных измерений.

Один из общих способов графического изображения ступени передачи размера единицы величины приведен на рисунке 7.



1 – государственный первичный эталон, 2 – метод передачи размера единицы величины, 3 – эталон-копия, 4 – эталон сравнения, 5 – рабочий эталон, 6-9 – рабочие эталоны n -го разряда, 10 – рабочие средства измерений

Рисунок 6 – Пример компоновки элементов государственной поверочной схемы

Из приведенного выше рисунка следует, что чертеж поверочной схемы – это некая иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, которые участвуют в передаче единицы величины. Эталоны же, в свою очередь, являются основополагающими при передаче единицы измерений.

В качестве государственных эталонов могут быть аттестованы СИ неутвержденного типа. Таким образом, это дает некоторое преимущество предприятиям и организациям, осуществляющим свою деятельность вне сферы ГР ОЕИ, которые теперь имеют возможность подачи заявки на утверждение конкретного СИ в качестве рабочего эталона.

В следующих разделах будут рассмотрены основные процедуры метрологического подтверждения пригодности эталонов: утверждение типа СИ, поверка и калибровка СИ, аттестация эталонов.

1.4 Порядок утверждения типа средств измерений

Утверждение типа СИ является одной из основных форм государственного регулирования в области ОЕИ и представляет собой документально оформленное решение о признании соответствия типа СИ метрологическим и техническим требованиям (характеристикам) на основании результатов испытаний в целях утверждения типа.

Утверждение типа носит как обязательный, так и добровольный характер. Это зависит от области применения и целей использования данного СИ, т.е. от того, применяется ли оно в сфере ГР ОЕИ. Тип СИ, применяемого в сфере, подлежит обязательному утверждению. Юридические лица и индивидуальные предприниматели, средства измерений которых не предназначены для применения в данной сфере, могут в добровольном порядке представлять их на утверждение типа [1 ФЗ].

Сферой государственного регулирования ОЕИ в обобщенном виде считаются: область здравоохранения, охраны окружающей среды, гражданской

обороны, безопасных условий и охраны труда, торговли, энергетики, банковских операций и др.

На рисунке 7 представлен небольшой алгоритм, который позволяет определить необходимость утверждения типа СИ.

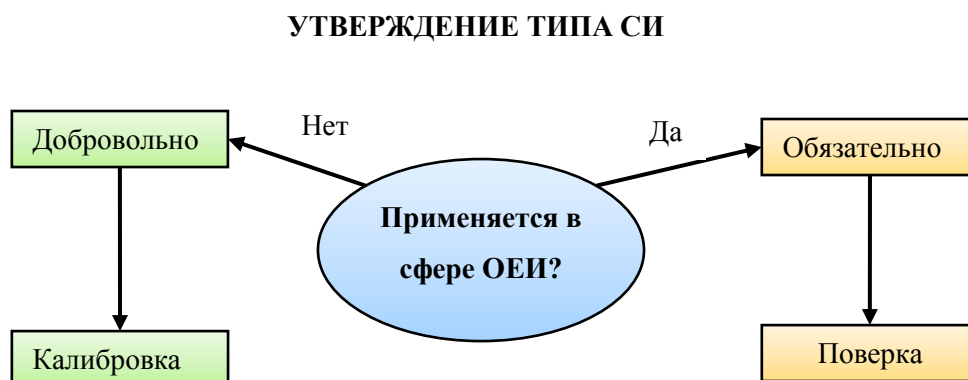


Рисунок 7 – Алгоритм определения необходимости утверждения типа СИ

Испытания СИ являются одной из основополагающих процедур, проводимых при утверждении типа, которая основана на последовательном наборе операций, установленных в нормативно-правовых актах (НПА) [9 и 11]. Согласно [26] испытания – это экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него, при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий.

Порядок проведения испытаний в целях утверждения типа средств измерений представлен на рисунке 8.

Испытания в целях утверждения типа СИ проводятся юридическими лицами, аккредитованными на право проведения испытаний СИ в соответствии с областью аккредитации.

Основанием для проведения испытаний является подача Заявителем заявки. Информация по содержанию заявки указана в [9]. Заявитель представляет с заявкой эксплуатационные документы на СИ (руководство по эксплуатации, формуляр, паспорт), а также фотографии общего вида.



Рисунок 8 – Порядок проведения испытаний СИ в целях утверждения типа

После подачи заявки Испытатель рассматривает заявку и принимает решение о возможности проведения испытаний. В случае положительного решения Испытатель направляет Заявителю проект договора, в котором определяются сроки и место проведения испытаний. После подписания договора Испытатель разрабатывает и согласовывает с Заявителем программу испытаний. Программа испытаний предусматривает:

- определение метрологических и технических характеристик СИ;
- идентификацию программного обеспечения, оценку его влияния на метрологические характеристики СИ;
- разработку и выбор методики поверки (калибровки), и ее опробование;

- определение интервала между поверками (калибровками);
- анализ конструкции испытываемого СИ на наличие ограничений доступа к определенным частям СИ.

После утверждения программы испытаний Заявитель представляет на испытания образцы СИ. Испытатель проводит испытания и по результатам испытаний, оформленными протоколами, разрабатывает описание типа СИ, утверждает методику поверки (калибровки) и оформляет акт испытаний в двух экземплярах. Один акт испытаний СИ с приложениями направляется Заявителю. После окончания испытаний комплект документов с результатами направляется в Единый центр проверки (ФГУП «ВНИИМС»).

Утверждение типа удостоверяется свидетельством об утверждении типа СИ (далее – свидетельство), а также знаком утверждения типа в том случае, если СИ предназначено для применения в сфере ГР ОЕИ. Свидетельство оформляется Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (далее – Росстандарт) на основании принятого им решения об утверждении типа СИ.

Свидетельство должно иметь обязательное приложение, содержащее описание типа СИ, в котором указываются:

- наименование, назначение, принцип действия СИ;
- метрологические и технические характеристики СИ, включая идентификационные данные программного обеспечения (при наличии);
- место и способ нанесения знака утверждения типа на СИ и (или) сопроводительные документы;
- комплектность СИ;
- наименование и обозначение методики поверки (калибровки), перечень эталонов, применяемых при поверке (калибровке);
- сведения о методиках (методах) измерений;
- нормативные документы, устанавливающие требования к СИ;
- рекомендация по области применения (при наличии);
- сведения об изготовителе СИ.

Сведения о выданных свидетельствах заносятся в Федеральный информационный фонд ОЕИ. Срок действия свидетельств для серийного производства СИ – пять лет, для единичного – без ограничения срока.

Процедура утверждения типа СИ необходима перед тем, как подготовить СИ к аттестации в качестве эталона. Но, в соответствии с [18], в качестве государственных эталонов могут быть аттестованы СИ неутвержденного типа. В таком случае необходимо определить вид эталона в соответствии с принятой классификацией. Эталон по составу и назначению (рисунок 4) может быть групповым, одиночным или эталонным набором. Если эталон является одиночным и используется при проверке нижестоящих в поверочной схеме эталонов или рабочих СИ, то такая процедура, как утверждение типа для него обязательна. Если же эталон является групповым (т.е. используется в совокупности с другими СИ того же типа), то такой эталон может не подвергаться обязательному утверждению типа СИ (кроме случаев принадлежности СИ к сфере ГР ОЕИ). Также в составе группового эталона может быть только одно СИ неутвержденного типа.

После процедуры утверждения типа СИ подвергается первичной поверке (калибровке) до ввода в эксплуатацию и периодической поверке (калибровке) в процессе эксплуатации [12]. В следующем разделе будет рассмотрен порядок проведения поверки СИ, требования к испытательным лабораториям, свидетельству о поверке, а также требования к знаку поверки.

1.5 Поверка средств измерений

Поверка средств измерений – установление официально уполномоченным органом пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям [20].

Основная цель поверки – установление соответствия СИ обязательным

требований, установленным в НПА, а также осуществление передачи единицы величины от эталона к рабочим СИ (рисунок 6).

1.5.1 Виды поверки

В зависимости от назначения различают следующие виды поверки, представленные на рисунке 9.

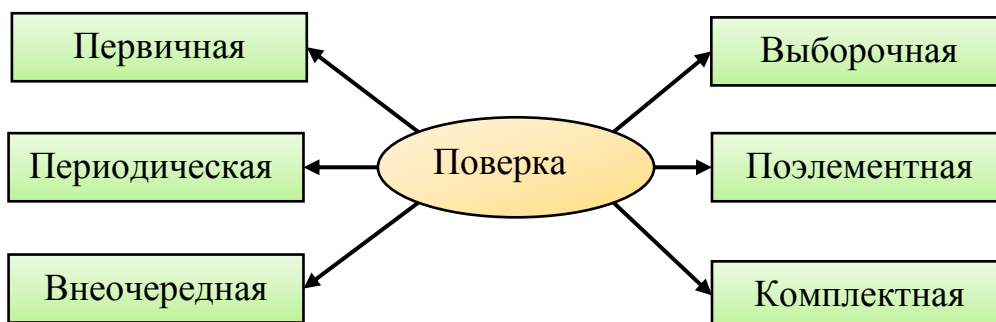


Рисунок 9 – Виды поверки

Первичная поверка выполняется при выпуске СИ утвержденного типа из производства или после ремонта, а также при ввозе СИ из-за границы.

Периодической поверке подвергаются СИ, находящиеся в эксплуатации или на хранении, выполняемой через установленные интервалы времени между поверками (межповерочные интервалы). Межповерочный интервал – это период, на протяжении которого показания СИ считаются достоверными на основании данных, полученных в ходе предыдущей поверки. Определение межповерочного интервала (МПИ) зависит от метрологической надежности СИ и от времени (наработки), прошедшего с момента последней поверки. Методы определения МПИ установлены в РМГ 74-2004 [27].

Внеочередная поверка проводится до наступления срока очередной периодической поверки СИ. Зачастую основанием для ее проведения возникает вследствие разных причин: ухудшение метрологических свойств СИ или подозрение в этом, нарушение условий эксплуатации, нарушение поверительного клейма и др.

При комплектной поверке определяют метрологические характеристики (МХ) в целом для СИ. При поэлементной поверке значения МХ СИ устанавливаются по МХ его элементов или частей. Обычно поэлементную поверку проводят для измерительных систем и установок.

При выборочной поверке из партии случайным образом отбирают несколько СИ, и по результатам их поверки делают заключение и пригодности партии. Такая поверка подходит для серийного производства СИ [20].

Порядок проведения поверки СИ регламентируется в НПА, в которых также установлены требования к поверителям, лабораториям, знаку поверки, являющимся доказательством того, что СИ было официально поверено и его можно использовать. Так как процедура поверки является важным звеном в передаче размера единицы величины, от которой зависит функционирование различных систем и их качество, данная процедура требует более полного анализа.

1.5.2 Требования к лабораториям

При проведении процедуры поверки зачастую возникает необходимость в привлечении испытательной лаборатории, предназначенной для измерений и испытаний продукции в целом. В соответствии с [4] право проведения поверки СИ имеют только аккредитованные юридические лица и индивидуальные предприниматели (ИП) в целях признания результатов поверки достоверными.

Испытательная лаборатория (ИЛ) должна быть аккредитована в соответствии с областью аккредитации (видом деятельности). Например, по виду деятельности ИЛ могут быть разделены на измерения массы, геометрические измерения, измерения температуры и влажности, электрические измерения и др.

При оценке компетентности ИЛ используются критерии, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Критерии оценки компетентности испытательной лаборатории

Наименование критерия	Пояснения
Система менеджмента качества (СМК)	Внедрение СМК в соответствии с областью аккредитации, политика в области качества
Документация	Управление документами: регламенты, стандарты, методики испытаний, чертежи, программное обеспечение, технические условия, инструкции и руководства
Персонал	Руководство лаборатории должно гарантировать компетентность ¹⁾ всех, кто работает со специальным оборудованием, проводит испытания, оценивает результаты и подписывает протоколы испытаний и свидетельства о поверке. За стажерами должен быть обеспечен соответствующий надзор
Помещения и условия окружающей среды	Помещение ²⁾ (лаборатория) должна обеспечить, чтобы условия окружающей среды не приводили к недостоверным результатам или не оказывали неблагоприятное воздействие на требуемое качество любого измерения
Оборудование	Лаборатория должна располагать оборудованием ³⁾ всех видов для отбора образцов, измерений и испытаний, требуемым для правильного проведения испытаний (включая отбор проб, подготовку объектов испытаний, обработку и анализ данных испытаний)
Отбор образцов	Лаборатория должна иметь как план, так и процедуры отбора образцов, если лаборатория проводит отбор образцов веществ, материалов или продукции для последующего испытания или калибровки. План и процедура отбора образцов должны быть в наличии на месте проведения отбора образцов
Примечания 1) Под компетентностью персонала понимается следующее: наличие высшего образования (либо среднего профессионального или дополнительного в соответствии с областью аккредитации; опыт работы (не менее трех лет); допуск к проведению испытаний (измерений); 2) В некоторых случаях испытания (измерения) могут быть проведены на предприятии-заказчике.	

Таким образом, при наличии критериев оценки компетентности ИЛ, орган по аттестации принимает решение о возможности аккредитации по заявленным видам деятельности.

1.5.3 Требования к проведению поверки средств измерений

К первичной поверке допускаются однотипные СИ на основании выборки, установленной методикой поверки. Однако периодической поверке подвергается каждый экземпляр СИ, находящийся в эксплуатации.

Поверка СИ проводится с целью подтверждения соответствия фактических значений МХ СИ установленным в описании типа пределам единиц величин, вызванных, как правило, различными факторами. Важно учитывать влияние всех факторов вследствие того, что именно МХ является доказательством того, что СИ, прошедшее поверку, подлежит/не подлежит дальнейшей эксплуатации.

Основные этапы проведения поверки СИ приведен на рисунке 10.

ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ ПОВЕРКИ СИ

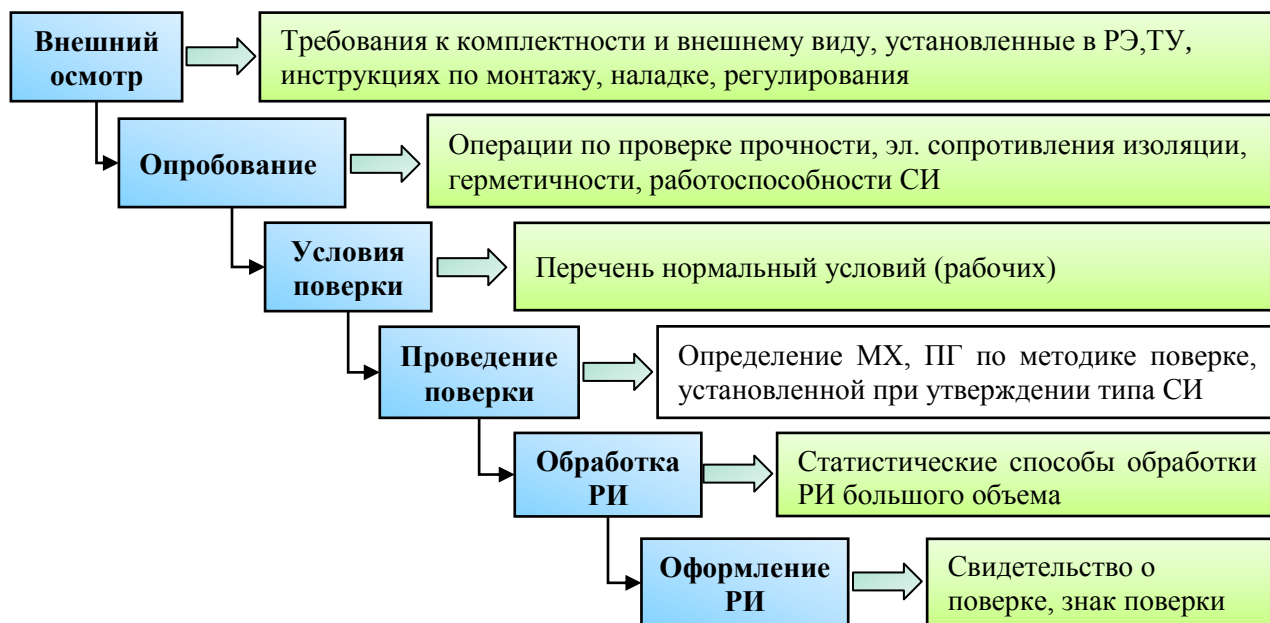


Рисунок 10 – Основные этапы проведения поверки средств измерений

Перед началом проведения поверки СИ необходимо произвести внешний осмотр, опробование, зафиксировать показания условий поверки. При фиксировании климатических условий обычно определяют: температуру окружающей среды, относительную влажность и атмосферное давление. Внешний осмотр заключается в проверке на наличие/отсутствие маркировки,

внешних дефектов на корпусе СИ (царапин, трещин, коррозии и других дефектов, которые могут повлиять на метрологические характеристики СИ). При опробовании проверяют работоспособность СИ в соответствии с эксплуатационной документацией.

Вместе со средством измерений на поверку предоставляются следующие документы:

- эксплуатационные документы;
- руководство по эксплуатации;
- паспорт;
- методика поверки;
- свидетельство о последней поверке.

В [12] отмечается, что при утверждении типа СИ устанавливаются: показатели точности, МПИ, а также методика поверки конкретного типа СИ.

Методика поверки – это документ, содержащий совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых позволяет подтвердить соответствие СИ метрологическим требованиям, установленным при утверждении типа СИ. Основные требования к построению, изложению, оформлению по содержанию документа по поверке приведены в РМГ 51-2002.

Эталоны единиц величин, используемые при поверке СИ, должны быть аттестованы в соответствии с [13].

В процессе поверки СИ вычисляются различного рода погрешности. Результаты поверки СИ удостоверяются знаком поверки и (или) свидетельством о поверке, и (или) записью в паспорте (формуляре) СИ, заверяемой подписью поверителя и знаком поверки. Конструкция СИ должна обеспечивать возможность нанесения знака поверки в месте, доступном для просмотра. Если особенности конструкции или условия эксплуатации СИ не позволяют нанести знак поверки на СИ, он наносится на свидетельство о поверке или в паспорт (формуляр).

Требования к оформлению результатов поверки СИ указываются в соответствующем разделе методики поверки «Оформление результатов

поверки».

Если СИ по результатам поверки, проведенной аккредитованными юридическими лицами или ИП, признано ими непригодными к применению, свидетельство о поверке аннулируется и выписывается извещение о непригодности к применению.

Сроки действия результатов поверки установлены в [12].

1.5.4 Требования к знаку и свидетельству о поверке

Знак поверки – это знак, наносимый различными способами на СИ и/или техническую документацию и удостоверяющий, что результаты поверки СИ являются положительными, а также предназначенный для защиты СИ от несанкционированного доступа [28].

Знак поверки представляет собой условные изображения, наносимые на СИ, свидетельство о поверке, паспорт. Право нанесения знака поверки имеют аккредитованные юридические лица или ИП в соответствии с областью аккредитации.

С помощью знака поверки можно узнать, какой организацией была проведена поверка, кто проводил поверку, а также дату поверки. Поэтому для правильной интерпретации, наносимой на знак поверки информации, установлены некоторые требования к ним. В соответствии с [7 ФЗ] знак поверки должен содержать следующую информацию:

- знак Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии;
- условный шифр государственного научного метрологического института, государственного регионального центра метрологии, аккредитованного юридического лица или ИП;
- две последние цифры года нанесения знака поверки;
- индивидуальный шифр поверителя, присваиваемый конкретному лицу.

Также при указании года нанесения знака поверки допускается размещать информацию о квартале или месяце (если это установлено методикой поверки). Если МПИ не превышает трех лет, то допускается указывать месяц поверки. Если длительность МПИ превышает три года, но не более десяти лет, допускается указывать квартал. Если длительность МПИ более десяти лет, месяц и квартал не указывают.

Месяц года обозначают арабскими цифрами (например, 1, 2, 3), а квартал года обозначают римскими цифрами (например, I, II, III, IV).

При нанесении знака поверки используют следующие способы:

- ударный;
- давление на пломбу или специальную мастику;
- наклеивание;
- электрографический;
- электрохимический;
- другие способы (пескоструйный, методом выжигания и др.).

При нанесении знака поверки в виде оттиска клейма применяются следующие формы и условные шифры, приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Формы и обозначения условного шифра знака поверки

Поверитель	Формы знака поверки	Обозначения условного шифра
Государственные региональные центры метрологии	Круглая	Двумя прописными буквами основного шрифта русского алфавита (АБ, АВ, АГ)
Государственные научные метрологические институты	Круглая	Одной буквой того же алфавита (А, Б, В)
Юридические лица и ИП по СИ, выпускаемым из производства	Прямоугольная	Тремя буквами того же алфавита (ААБ, ААВ, ААГ)
Юридические лица и ИП по СИ, находящимся в эксплуатации и после ремонта	Квадратная	

За поверителем могут закрепляться индивидуальные поверительные клейма. Индивидуальный знак поверителя обозначается одной из строчных букв, взятых из русского, латинского или греческого алфавитов. Если этого

количества символов недостаточно, то символы наносятся с углом наклона.

Кроме знака, результаты поверки также удостоверяются свидетельством.

Свидетельство о поверке – это документ, выдаваемый юридическим лицом или ИП, аккредитованным на право проведения поверки в соответствии с областью аккредитации, и удостоверяющий, что СИ прошло поверку и соответствует установленным требованиям. Можно сказать, что свидетельство о поверке является удостоверением результатов проведенных измерений в ходе поверки. Свидетельство о поверке (свидетельство) выдается в случае положительных результатов измерений. Если результаты измерений отрицательные, то выписывается извещение о непригодности.

Требования к содержанию и форме свидетельства установлены в [12]. Следует отметить, что на оборотной стороне свидетельства обычно указывают МХ поверяемого СИ, а также протокол поверки, в котором отражаются результаты измерений.

Формы свидетельств для рабочего СИ и СИ, используемого в качестве эталона отличаются. Во-первых, при оформлении свидетельства на СИ, используемого в качестве эталона, присваивается разряд, которому соответствует данный эталон согласно государственной поверочной схеме. Во-вторых, наличие протокола поверки эталона является обязательным пунктом.

Свидетельство не может быть выдано на нерегламентированный срок действия. Свидетельство считается недействительным по истечению срока, который в свою очередь, устанавливается исходя из МПИ.

Из [29] следует, что поверка СИ может быть произведена на основании признания результатов калибровки. Функция передачи размера единицы величины от эталона к СИ осуществляется также через калибровку. Данная процедура не устанавливает обязательных требований (в случае поверки), так как калибровке могут в добровольном порядке подвергаться СИ, используемые вне сферы ГР ОЕИ. Следующий раздел посвящен процедуре калибровки СИ, а именно анализу российской системы калибровки, требований к калибровочным клеймам, лабораториям, оформлению результатов калибровки.

1.6 Калибровка средств измерений

Калибровка СИ – совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного СИ и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона с целью определения метрологических характеристик этого средства измерений [17].

Основное отличие поверки от калибровки в том, что при калибровке не подтверждается соответствие МХ СИ установленным требованиям, а устанавливаются действительные значения МХ. В результате проведения калибровки мы не можем определить годность СИ, а можем на основании ее результатов оценить погрешности, вызванные влиянием различных факторов. Также при калибровке можно определять и другие МХ. Примерами таких МХ могут быть диаграмма калибровки, различного рода неопределенности измерений и другие. При калибровке возможно определение МХ СИ в условиях, отличных от нормальных, что принципиально отличает ее от поверки. Отклонение от нормальных условий окружающей среды компенсируется введением соответствующих поправок.

Как уже было отмечено, СИ подлежит калибровке в том случае, если оно не предназначено для применения в сфере ГР ОЕИ. Возникает вопрос о целесообразности проведения калибровки СИ, применяемого вне этой сферы. Необходимость в калибровке может возникать по трем основным причинам:

- в случае невозможности определения МХ при поверке (таких как, например, неопределенность измерений);
- если при сличении эталона низшего разряда с государственным первичным эталоном у последнего МХ выражены в неопределенностях измерений, необходима калибровка для установления соотношения между результатами их измерений;
- по требованию заказчика.

Исходя из сравнения процедур поверки и калибровки, можно сказать,

что они отличаются по техническому и организационному содержанию. Калибровка по своему содержанию может быть шире или уже, чем поверка, в зависимости от конкретных требований заказчика. Вследствие такого различия в содержании данный раздел посвящен анализу Российской системы калибровки в целом, требований, устанавливаемых к калибровщикам, лабораториям, калибровочным клеймам, методикам калибровки, сертификату калибровки.

1.6.1 Российская система калибровки

Если за состоянием и использованием поверяемых СИ призваны следить органы Государственной метрологической службы, то контроль за состоянием калибруемых СИ ложится на метрологическую службу предприятия.

Именно поэтому единство измерений должно быть обеспечено независимо от области применения СИ, иначе не будет обеспечена достаточная степень доверия к результатам калибровки. Для решения этих задач требуется соответствующая организация калибровочной деятельности в стране.

Росстандарт обеспечил создание такой национальной службы, которая называется Российской системой калибровки (РСК). Данная служба обеспечивает реализацию положений Федерального закона «Об обеспечении единства измерений»: аккредитацию метрологических служб (МС) на право проведения калибровочных работ в добровольном порядке, калибровку СИ, соблюдение установленных требований к выполнению калибровочных работ, а также создание необходимых условий для правового, методического и информационного обслуживания аккредитованных МС [40 НД].

Еще одной из целей создания РСК является вступление в Европейское сотрудничество по аккредитации лабораторий.

Структура РСК схематично представлена на рисунке 11.

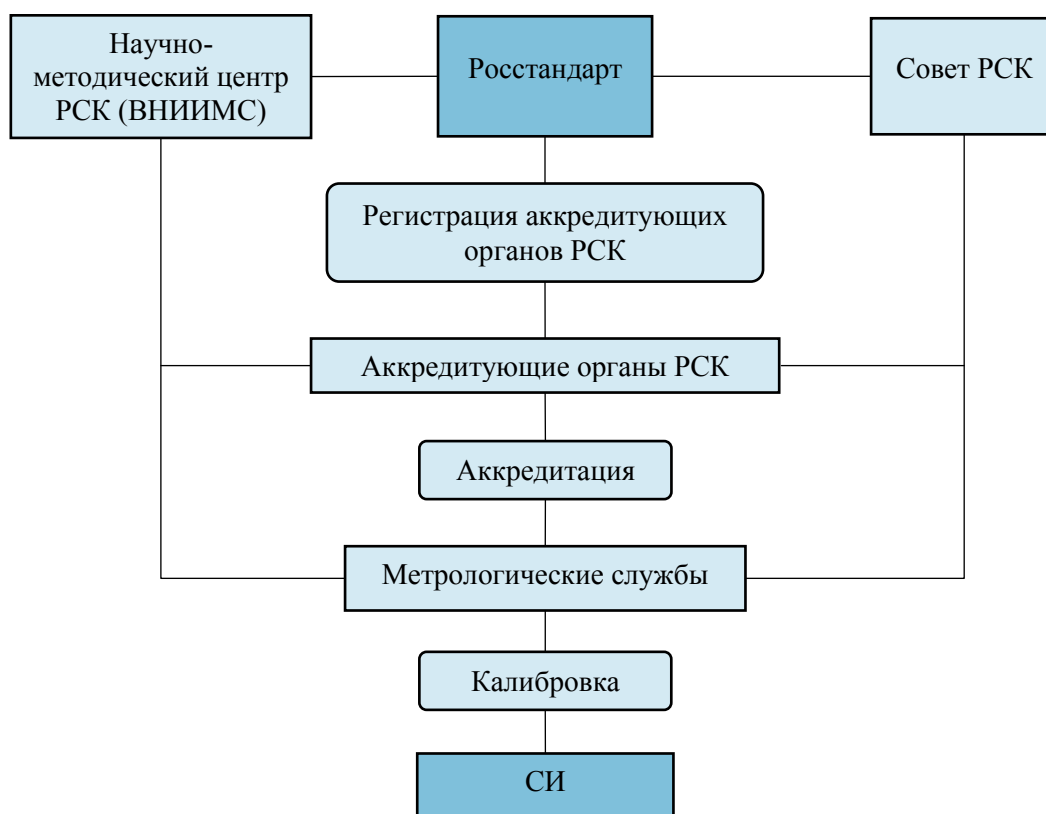


Рисунок 11 – Структура Российской системы калибровки

Важно отметить, что РСК функционирует только на добровольной основе.

Обязательность наличия Руководства по качеству, содержащего полную информацию об эталонах, используемых при калибровке СИ, обеспечивает достаточность информации, указанной в области аккредитации.

МС предприятия и аккредитующий ее орган должны непрерывно взаимодействовать друг с другом с целью повышения конкурентоспособности продукции, ее качества и безопасности. Так, основными необходимыми процедурами на начальном этапе функционирования МС предприятия в РСК являются аккредитация в соответствии с областью аккредитации, а также аттестация персонала (калибровщиков) на право проведения калибровочных работ.

После аккредитации в РСК МС предприятия может приступать к калибровочной деятельности, к которой также установлены требования, изложенные в НПА. Требования устанавливаются на такую процедуру, как калибровка СИ, а также требования к калибровочным лабораториям,

содержанию сертификата калибровки и калибровочным клеймам, которые будут рассмотрены в следующих разделах.

1.6.2 Требования к персоналу и калибровочным лабораториям

Калибровочные лаборатории считаются компетентными, если они соответствуют требованиям, установленным в ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 [14]. Для органов по аккредитации, признающих компетентность калибровочных лабораторий, настоящий стандарт является основополагающим.

Стандарт [14] устанавливает общие требования к компетентности лабораторий в проведении испытаний и/или калибровок, включая отбор образцов, испытания и калибровки, проводимые по различным методам, разработанными лабораторией.

Все больше возрастающее использование систем качества в целом усилило необходимость удостовериться в том, что лаборатории, входящие в состав крупных организаций, соответствуют установленным требованиям. Требования к технической компетенции калибровочных лабораторий основываются на информации, получаемой в ходе реализации процедуры калибровки, в свою очередь, базирующейся на ее правильности и надежности.

Правильность и надежность калибровок определяют следующие факторы:

- человеческий фактор;
- помещения и окружающая среда;
- методы калибровок и оценка метода;
- оборудование;
- прослеживаемость измерений;
- обращение с оборудованием.

Помещения и окружающая среда – базовые факторы, определяющие условия проведения калибровки. Лаборатория должна обеспечить, чтобы влияние условий окружающей среды было сведено к минимуму в соответствии

с методикой калибровки и иным документам, а также вести их учет. Надлежащее внимание должно уделяться, например, биологической стерильности, пыли, электромагнитных помехам, радиации, влажности, электроснабжению, температуре, уровню шума и вибрации.

Лаборатория должна установить и поддерживать процедуры управления всеми документами, являющимися частью системы качества, такими как: регламенты, стандарты, методики калибровок, чертежи, программное обеспечение, технические условия, инструкции и руководства и др. Документы могут быть следующих видов, представленные в таблице 5.

Таблица 5 – Виды документов, являющиеся частью системы качества

Название документа	Вид документа
Описание системы обеспечения качества	Руководство по качеству; Должностные инструкции
Установление требований	Стандарты на продукцию; Регламенты (гигиенические нормативы, перечни ПДК, ОБУВ и т.п.)
Содержание рекомендаций (стандарты, методические указания, рекомендации и т.п.)	Общетехнические стандарты; Методики; Справочные или расчетные таблицы
Содержание информации о том, как следует выполнять действия (инструкции)	Рабочие инструкции; Инструкции по эксплуатации оборудования; Инструкции по ТБ
Содержание свидетельств выполненных действий или достигнутых результатов (данные или записи)	Журналы; Сертификаты калибровки; Паспорт лаборатории; Паспорта оборудования; Градуировочные графики; Протоколы (калибровок)

Калибровочная лаборатория должна иметь и применять процедуру оценки неопределенности измерений. В случаях, когда метод калибровки может помешать расчету неопределенности, лаборатория должна идентифицировать все составляющие неопределенности и провести объективную оценку, а также предпринять меры для того, чтобы протокол калибровки не создавал ложного представления о неопределенности.

В целях обеспечения прослеживаемости измерений в лаборатории

должны быть установлены программа и процедура проведения калибровки СИ. Программа включает в себя систему выбора эталонов для калибровки.

Лаборатория должна располагать оборудованием всех типов, применяющихся при процедуре калибровки. Оборудование должно быть идентифицировано (нанесена маркировка, дата последней калибровки и т.п.).

В лаборатории должны быть предусмотрены процедуры, позволяющие избежать ухудшения характеристик, потери или повреждений объектов калибровки во время хранения, обращения и подготовки.

Руководство лаборатории должно гарантировать компетентность всех, кто работает со специальным оборудованием, проводит калибровку, оценивает результаты и подписывает протоколы и сертификаты калибровок.

1.6.3 Требования к проведению калибровки средств измерений

Калибровка СИ не является обязательной процедурой, поэтому в НПА требования к порядку ее проведения не регламентированы, в отличие от поверки. Бесспорно, можно сказать, что обе процедуры схожи между собой, но отличия все же есть. Отличие порядка проведения калибровки от поверки состоит в том, что при калибровке могут быть проведены дополнительные процедуры по подготовке к калибровке, ее проведению, а также обработке результатов измерений. Добавление данных процедур связано с тем, что зачастую калибровке подвергаются уникальные СИ, применяемые вне сферы ГР ОЕИ, для которых не подходит стандартный порядок проведения калибровки. В связи с отличием процедур поверки и калибровки необходимо рассмотреть порядок последней. Процедуры проведения калибровки СИ представлены на рисунке 12.



Рисунок 12 – Порядок проведения калибровки средств измерений

В соответствии с [14] при калибровке следует использовать методику калибровки (МК). Документ, регламентирующий МК, может быть представлен в виде стандарта, раздела технических условий, эксплуатационной документации СИ, рекомендаций [16].

Методика калибровки – это документ, регламентирующий процедуру калибровки СИ. Основные требования к построению, изложению, оформлению по содержанию документа по калибровке приведены в ГОСТ Р 8.879-2014.

Перед началом проведения калибровки СИ необходимо выполнить внешний осмотр, опробование, зафиксировать условия калибровки: температуру окружающей среды, относительную влажность и атмосферное давление.

Одной из основных задач при разработке МК является составление

уравнения измерений, которое устанавливает связь между входными и выходными величинами. Если количество измеряемых величин не больше одной, то никакой зависимости не возникает. Но в таком случае уравнение измерений также немаловажно, поскольку позволяет исключить влияние внешних факторов (например, условий окружающей среды) на результат измерений с помощью введения поправок. Также уравнение измерений помогает при оценивании неопределенности измерений, поскольку именно при составлении уравнения измерений определяют источники неопределенности.

Процесс обработки РИ заключается в разработке метода оценивания результатов калибровки с указанием формул для расчета и источников неопределенности.

Подтверждение соответствия программного обеспечения (ПО) проводится с целью его идентификации. Идентификация ПО необходима для предотвращения появления рисков, связанных с возможностью внешнего воздействия на них, а также несанкционированного доступа.

Сам процесс калибровки заключается в определении действительных значений МХ СИ. Обработка результатов при поверке и калибровке значительно отличаются. Оформление записи оценок измеряемых величин при калибровке приводят в соответствии с требованиями ПМГ 96-2009. Если при поверке результат измерений записывают в виде действительного значения величины и погрешности в единицах измерений данной величины, то при калибровке результат измерений содержит: оценку измеряемой величины в единицах измерения данной величины, расширенную неопределенность, выраженную в процентах, коэффициент чувствительности при заданном уровне вероятности.

Результаты калибровки удостоверяются несением калибровочного клейма и сертификатом калибровки.

В приложении к сертификату калибровки обычно оформляют: протокол калибровки, пример расчета бюджета неопределенности единицы величины. При оформлении протокола калибровки особое внимание следует уделить

указанию сведений о применяемых средствах калибровки, об условиях проведения калибровки, особенностях калибруемого СИ, которые бы могли повлиять на РИ, а также порядку обработки РИ.

Форма протокола должна иметь произвольную форму (если иное не указано в МК) и предусматривать подпись калибровщика, и, в случае необходимости, подпись представителя заказчика калибровки.

Калибровочный знак (клеймо) наносят на СИ в случае, если калибровка проводилась в полном соответствии с методикой калибровки и СИ соответствует установленным в описании типа требованиям. По договоренности с заявителем в этом случае сертификат калибровки может не выдаваться.

Калибровочный знак должен обеспечивать возможность идентификации проведенной процедуры и содержать следующую информацию согласно РМГ 120-2013:

- знак должен содержать букву «К» для понимания того, что СИ подвергалось калибровке;
- кем была проведена калибровка (юридическое лицо или ИП);
- шифр калибровочного клейма, присвоенный юридическому лицу или ИП;
- дата проведения калибровки (год, квартал);
- идентификационный знак калибровщика.

Пример оформления калибровочного клейма приведен на рисунке 13.

П		Т
1	2	3
1	К	7
4	5	6
А	В	С
7	8	9

Рисунок 13 – Пример оформления калибровочного клейма

На данном рисунке в ячейках, согласно нумерации, указана следующая

информация:

- «1» - квартал года проведения калибровки;
- «2» - дополнительная информация;
- «3» - идентификационный знак калибровщика;
- «4» и «6» - последние цифры года проведения калибровки;
- «7», «8», «9» - шифр калибровочного клейма, присвоенный при регистрации в Реестре национальной калибровочной службы.

Сертификат калибровки должен содержать пункты, установленные в [29], а его рекомендуемая форма – в РМГ 120-2013.

Сертификат калибровки не должен содержать рекомендаций о периодичности проведения калибровок (если иное не предусмотрено договором или включено в техническое задание).

Во многих случаях для упорядочения и предотвращения подделок целесообразно вводить специальную идентификацию в виде нумерации сертификатов калибровки, содержащую следующую информацию:

- краткое наименование СИ;
- шифр калибровочного клейма, присвоенный юридическому лицу или ИП при регистрации в национальной калибровочной службе;
- идентификационный знак калибровщика;
- порядковый номер сертификата калибровки в соответствии с журналом приема СИ на калибровку;
- последние цифры года выдачи сертификата о калибровке.

Рекомендуемая форма записи номера: № К.АВС.Т-010-17.

Из анализа разделов 1.5 и 1.6, касающиеся таких процессов МОИ, как поверка и калибровка, можно отметить, что данные процедуры являются неотъемлемой частью обеспечения единства измерений, контроля качества на всех этапах ЖЦ продукции, начиная от разработки и заканчивая эксплуатацией и хранением. На начальной стадии при разработке СИ подвергается первичной поверке, а уже в процессе эксплуатации (хранения) – периодической и другим видам поверки. Таким образом, с помощью такой системы МОИ, любая

организация имеет возможность контроля работоспособности парка СИ, ее качества, надежности, а также конкурентоспособность на экономическом рынке.

Последним этапом метрологического подтверждения пригодности эталонов является аттестация, порядок проведения которой рассмотрен в следующем разделе.

1.7 Порядок аттестации эталонов

Оценка соответствия эталонов единиц измерений величин обязательным требованиям к этим эталонам осуществляется в формах первичной и периодической аттестации.

Для СИ утвержденного типа, применяемых в качестве эталонов единиц величин, вместо процедуры поверки СИ применяются процедуры первичной и периодической аттестации.

Первичная аттестация – оценка соответствия эталона единицы величины заданным обязательным требованиям, проводимая до ввода в эксплуатацию эталона единицы величины.

Периодическая аттестация – оценка соответствия эталона единицы величины установленным обязательным требованиям и передача единицы величины от эталона единицы величины в соответствии с государственной поверочной схемой, проводимые в процессе эксплуатации эталона единицы величины [18].

При аттестации эталонов дополнительно к документам, разрабатываемым при утверждении типа СИ, разрабатываются следующие документы:

- 1) паспорт эталона;
- 2) правила содержания и применения эталона, включающие раздел «Методика периодической аттестации эталона»;
- 3) методика калибровки (при необходимости).

Документ «Правила содержания и применения эталона» устанавливает обязательные требования и включает в себя:

- требования к помещениям и условиям содержания и применения эталона единицы величины;
- требования по установке, регулировке и подготовке эталона единицы величины к его содержанию и применению;
- процедуры контроля технического состояния эталона единицы величины и условий его содержания и применения;
- процедуры технического обслуживания эталона единицы величины и его технической инфраструктуры;
- методику периодической аттестации эталона единицы величины.

Таким образом, при аттестации эталонов также, как и при утверждении типа СИ, устанавливаются требования, обязательные к выполнению, на основе которых производится оценка соответствия эталонов этим требованиям.

Как правило, первичная аттестация осуществляется в соответствии с государственной поверочной схемой комиссиями, формируемыми федеральными органами исполнительной власти, а периодическая аттестация – государственными научными метрологическими институтами посредством сличения государственного первичного эталона и эталона, предоставляемого на аттестацию.

Важно отметить, что аттестация эталонов является одним из процессов, обеспечивающих МОИ в организациях, и, следовательно, требует тщательного анализа. Порядок проведения первичной аттестации эталонов единиц величин представлен на рисунке 14.

На начальном этапе для аттестации эталона держатель разрабатывает комплект документов, представленный на данном рисунке. Методика периодической аттестации эталона содержит информацию и процедурах, выполняемых при аттестации, о методах и средствах поверки (калибровки) эталона, правилах определения МХ и оценки их соответствия установленным требованиям, условиям содержания и применения.



Рисунок 14 – Порядок проведения первичной аттестации эталонов

После подготовки документации для первичной аттестации держатель эталона организует проведение его поверки (калибровки) государственным научным метрологическим институтом (ГНМИ), государственным региональным центром метрологии (ЦСМ), юридическим лицом или ИП, аккредитованным на право поверки в соответствии с областью аккредитации. После проведения поверки аккредитованное лицо выдает свидетельство о поверке с указанием присвоенного разряда. После проведения калибровки выдается сертификат калибровки, а указание присвоенного разряда и межкалибровочного интервала оформляется отдельно заключением.

На третьем этапе держатель эталона оценивает соответствие эталона обязательным требованиям, установленным в комплекте документов, разрабатываемых на начальном этапе. При положительных результатах оценки соответствия держатель оформляет Свидетельство об аттестации эталона (свидетельство). Свидетельством предусмотрен регистрационный номер эталона, который также оформляется держателем эталона.

Далее держателем эталона оформляется заявка на утверждение эталона, которое направляется в Управление метрологии Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. На следующем этапе заявка должна быть зарегистрирована в электронном журнале заявок системы электронного документооборота (ЭДО), а также прикрепленные характеристики эталонов единиц величин.

На шестом этапе держатель передает комплект подтверждающих документов согласно рисунку 14.

Оператор по экспертизе документов рассматривает комплект подтверждающих документов, проводит экспертизу комплекта документов и на основании экспертного заключения принимает решение о возможности или невозможности утверждения эталона с заявленными характеристиками.

Заключительным этапом в порядке проведения аттестации эталона является издание Приказа об утверждении эталона по результатам экспертизы. Право на решение об издании Приказа имеет Управление метрологии

Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Данные об утвержденных эталонах регистрируются оператором системы электронного документооборота (ЭДО) в Федеральном информационном фонде ОЕИ, который непрерывно актуализируется.

В дальнейшем в процессе эксплуатации эталон подлежит периодической аттестации, которая проводится в соответствии с Методикой периодической аттестации эталона посредством проведения его поверки (калибровки). Также при периодической аттестации производится оценка соответствия эталона государственной поверочной схеме.

По результатам периодической аттестации аккредитованным лицом, осуществляющим поверку (калибровку), оформляется свидетельство о периодической аттестации эталонов единиц величин. Результаты периодической аттестации, как и первичной, заносят в эксплуатационную документацию.

Выводы в главе 1

1 Выполнение анализ национальных нормативно-правовых документов и международных рекомендаций в области обеспечения единства измерений и метрологического обеспечения измерений, рассмотрена классификация эталонов единиц величин, проведен анализ элементов и процессов метрологического обеспечения измерений, таких как утверждение типа средств измерений, поверка и калибровка, аттестация эталонов, обеспечивающие качество, безопасность, точность средств измерений на масштабных предприятиях и организациях в стране.

2 Рассмотрены виды государственных поверочных схем и требования к ним, как к элементу метрологической прослеживаемости, являющейся неотъемлемой частью при присвоении разряда эталону, а также при проведении его аттестации.

3 На основании изложения теоретической и основополагающей части в первой главе с учетом всех требований следующая глава посвящена анализу требований к методике калибровки средств измерений, разрабатываемой при процедуре утверждения типа и являющаяся детерминирующей структурой в определении метрологических характеристик и передачи единицы величины от государственного первичного эталона эталону низшего разряда, а также процедуре аттестации эталонов, предусматривающая подготовку комплектов подтверждающих документов держателем эталона, подготавливаемого к аттестации.

2 Требования к методикам калибровки и аттестации эталонов

Зачастую в повседневной жизни все мы сталкиваемся с таким процессом, как измерение. Так, при строительстве жилых домов необходимо знать, какое количество кирпичей понадобится для закладывания стены, чтобы знать прогноз погоды, необходимо проводить измерения температуры, влажности окружающей среды, при конструировании автомобиля все размеры сборочных единиц контролируются и измеряются на различных стадиях жизненного цикла продукции. Таким образом, процесс измерения играет важную роль в различных областях деятельности, и, чтобы, убедиться в проявлениях свойств объекта, необходимо его измерить, так как без измерений у нас нет оснований истолковывать проявление свойств материальных объектов в виде чисел [31].

Как известно, ни один процесс измерений не может обойтись без применения средств измерений – технических средств, предназначенных для измерений. При использовании СИ принципиально важно знать степень соответствия информации об объекте (измеряемой величине), содержащейся в его истинном (действительном) значении.

С этой целью для каждого СИ вводят и нормируют определенные метрологические характеристики, значения которых регламентируются соответствующими нормативно-правовыми актами и документами по стандартизации, в которых также прописывают требования к процедуре поверки (калибровки), с помощью которых и определяют метрологические характеристики СИ. В соответствии с Федеральным законом [4] СИ, используемые в сфере ГР ОЕИ, подлежат обязательной поверке. Если СИ применяется вне сферы, то такие СИ подлежат калибровке в добровольном порядке. Но это не значит, что процесс калибровки не применим для СИ, используемых в сфере.

Необходимость гармонизации с международными правилами для устранения технических барьеров в торговле и выпуска конкурентоспособной продукции требует в некоторых случаях проведения калибровки СИ с расчетом неопределенности измерений. А это, в свою очередь, приводит к необходимости разработки соответствующих методик калибровки.

Еще одна необходимость в разработке методик калибровки СИ вызвана процессом аккредитации калибровочных лабораторий предприятий и организаций Федеральной службой по аккредитации (Росаккредитацией) на соответствие требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009. Данный стандарт устанавливает требования по наличию в лаборатории методик калибровки, которые отвечают требованиям заказчиков и пригодны для проводимых процедур калибровки.

Существуют и другие причины, по которым калибровка СИ может быть использована, которые представлены на рисунке 16. Все чаще возникает необходимость в данной процедуре на предприятиях, которые применяют в своей деятельности уникальные СИ, нетипичные для существующей недостающей нормативно-технической базы в стране. Также калибровка СИ необходима для собственных нужд предприятия в целях контроля метрологических характеристик, и, следовательно, качества продукции. Все чаще тема оценки неопределенности измерений стала активно рассматриваться и применяться на практике. Это обусловлено, прежде всего, установлением сотрудничества с международными организациями, требующие наличие оценки неопределенности. Еще одними из наиболее часто встречающихся причин в необходимости разработки методики калибровки являются те случаи, когда СИ является неутвержденного типа, и, в соответствии с [4], подлежит утверждению в обязательном порядке, но если СИ не применяется в сфере ГР ОЕИ, то порядок утверждения имеет добровольный характер.

Таким образом, калибровка СИ становится неотъемлемой частью в обеспечении единства измерений в стране.



Рисунок 16 – Причины необходимости в разработке методик калибровки

Как известно, калибровка СИ выполняется с использованием эталонов единиц величин, прослеживаемых к государственным первичным или рабочим эталонам соответствующих единиц величин. Применение при калибровке эталона можно назвать процедурой передачи единицы величины с высшей по сравнению с калибруемым СИ точностью. В результате определения МХ СИ с помощью эталона определяется возможность (невозможность) использования данного СИ. Но для того, чтобы убедиться в заявленной точности измерений, которую может обеспечить эталон, к ним также установлены требования по аттестации. Именно поэтому такой элемент метрологического обеспечения измерений, как эталон, также требует глубокого анализа.

В связи с вышеизложенными причинами применения процедуры калибровки средств измерений с использованием аттестованных эталонов единиц величин вторая глава посвящена анализу требований к разработке методик калибровки, их содержанию, требованиям к документам по аттестации

эталонов. Также немаловажно уделить внимание такому понятию, как неопределенность измерений и методике ее оценивания.

2.1 Требования к разработке методик калибровки

За последние годы наметилась тенденция роста числа разрабатываемых методик калибровки в различных сферах деятельности. Это связано с вышеизложенными на рисунке 16 причинами. МК востребованы и необходимы, так как калибровку СИ проводят в соответствии с разработанной МК. Требования к содержанию и изложению МК устанавливает стандарт ГОСТ Р 8.879-2014.

По назначению методики калибровки (методики) можно подразделить на:

- методики калибровки, предназначенные для калибровки СИ, относящихся к одной или нескольким группам СИ;
- методики калибровки, предназначенные для калибровки СИ одного или нескольких типов СИ;
- методики калибровки, предназначенные для калибровки единичных экземпляров СИ.

При разработке методик необходимо также учитывать дополнительные критерии аккредитации, установленные в [32], где указаны требования для калибровочных работ, предусматривающие:

- определение метрологических и технических характеристик СИ, включая показатели точности, выраженные в единицах величин, допущенных к применению в РФ;
- идентификацию программного обеспечения (при наличии);
- разработку или выбор методики и ее опробование;
- установление интервала между калибровками;
- проверку соблюдения ограничений доступа к определенным частям СИ (включая программное обеспечение) с целью предотвращения

несанкционированной настройки и вмешательства, которые могут привести к искажению результатов измерений;

- разработку процедуры оценки неопределенности результатов калибровки.

Разработчиками методики могут быть государственные научные метрологические институты, метрологические центры, изготовители или пользователи СИ, а также калибровочные лаборатории.

В соответствии с [14] при калибровке должны использоваться методики, которые отвечают потребностям клиентов. Преимущественно должны использоваться методики, приведенные в международных, региональных или государственных стандартах.

Рекомендуемые названия и последовательность разделов методики калибровки представлены на рисунке 15.

На титульном листе указывают идентификацию СИ в виде его наименования, типа, сведений о разработчике, издательстве, а также код методики, указываемый под строкой «наименование калибруемых средств измерений». Форма титульного листа методики приведена в [16].

Во вводной части указывают назначение методики, степень соответствия документам, стандартам, а также, при необходимости, рекомендации по определению срока последующей калибровки.

В разделе «Нормативные ссылки» при необходимости перечисляют нормативно-правовые документы, на основе которых разрабатывают методику, с указанием наименования и регистрационного номера.

В разделе «Определения» приводят пояснения к терминологии, используемой в методике, если она вызывает трудности в понимании и требует разъяснения.

	Титульный лист
	Вводная часть
1	Нормативные ссылки
2	Определения
3	Технические требования
3.1	Требования к неопределенностям измерений
3.2	Требования к средствам калибровки и вспомогательному оборудованию
3.3	Требования к условиям проведения калибровки
4	Требования к квалификации калибровщиков
5	Требования по обеспечению безопасности
6	Подготовка к процедуре калибровки
7	Процедура калибровки
8	Обработка результатов измерений
9	Оформление результатов калибровки
	Приложения

Рисунок 15 – Рекомендации по построению и содержанию методики калибровки

Раздел «Технические требования» состоит, как правило, из трех подразделов. В подразделе «Требования к неопределенностям измерений» указывают значения целевой неопределенности измерений, а также сведения о метрологических характеристиках СИ, подлежащие определению в процессе калибровки. Подраздел «Требования к средствам калибровки и вспомогательному оборудованию» содержит перечень основных и вспомогательных средств калибровки, оборудования и материалов с указанием метрологических и основных технических характеристик данных средств и/или нормативных документов, регламентирующих данные требования. Особое

внимание должно быть уделено наличию требований, обеспечивающих прослеживаемость измерений, которые выполняются откалиброванными СИ, и способны обеспечить прослеживаемость до государственных первичных эталонов единиц величин. Подраздел «Требования к условиям проведения калибровки» содержит перечень величин, влияющих на МХ калибруемых СИ или средств калибровки, с указанием их нормируемых номинальных значений и допускаемых отклонений, в пределах которых характеристики, приписываемые данной методике, остаются неизменными.

Раздел «Требования к квалификации калибровщиков» добавляется после раздела «Технические требования» в том случае, если к ним предъявляются особые квалификационные требования, и содержит требования к уровню квалификации лиц, выполняющих калибровочные работы: профессия, образование, специальная подготовка, практический опыт работы и др.

Раздел «Требования по обеспечению безопасности» должен содержать требования, обеспечивающие при проведении калибровок безопасность труда, соблюдение норм производственной санитарии, охрану окружающей среды. Данные требования могут быть указаны в нормативно-правовых актах и стандартах. В таком случае приводят их наименование.

В разделе «Подготовка к процедуре калибровки» указывают способы выполнения работ, которые необходимо провести передпроцедурой калибровки, включая проверку комплектности и внешнего вида СИ, подлежащего калибровке, работоспособности и взаимодействия его отдельных частей и элементов, в т.ч. прочности и электрического сопротивления изоляции, герметичности, если это установлено эксплуатационной документацией.

Раздел «Процедура калибровки» содержит перечень наименований и описание операций по определению действительных значений МХ калибруемого СИ. Описание каждой операции выделяют в отдельный пункт, в котором указывают наименование определяемой МХ калибруемого СИ, используемый метод калибровки, схемы подключения, чертежи, указания о

порядке проведения операций, формулы, графики, таблицы с пояснением входящих в них обозначений, рекомендации по числу значащих цифр, фиксируемых в протоколе, и т.д.

Если при проведении операции калибровки необходимо вести протокол записи результатов измерений по определенной форме, это следует указать, а в приложении привести форму протокола с указанием объема сведений, изложенных в нем.

Раздел «Обработка результатов измерений» следует включать в методику в том случае, если присутствуют сложные способы обработки результатов измерений. Обычно в данном разделе приводят формулы для расчета неопределенностей измерений, со всеми необходимыми пояснениями. При оценке неопределенности измерений все ее составляющие, являющиеся существенными в данной методике, должны быть приняты во внимание при помощи соответствующих методов.

Если обработка результатов измерений осуществляется с использованием программного обеспечения (ПО), в данном разделе необходимо указать разработчика ПО, и, при необходимости, алгоритмы расчета и их блок-схемы, а в приложении к методике привести все данные, необходимые для идентификации данного ПО. Перечень документов, сопровождающих ПО, можно корректировать, исходя из технической целесообразности и требований заказчика калибровочных работ. По требованию заказчика ПО может быть подвергнуто оценке соответствия установленным требованиям.

Раздел «Оформление результатов калибровки» содержит требования к оформлению результатов калибровки, где указывают способ или сочетание способов оформления результатов калибровки:

- сертификат калибровки;
- место и способ нанесения оттиска калибровочного клейма;
- внесение записи в паспорт или другой эксплуатационный документ

СИ.

Также следует отметить, что в данном разделе допускается ссылаться на документы, устанавливающие требования к оформлению результатов калибровки.

В качестве Приложений к методике могут быть оформлены:

- ПО обработки результатов измерений;
- методика расчета неопределенности оценки исследуемых при калибровке параметров;
- форма протокола записи результатов измерений при калибровке (протокола калибровки);
- примеры расчетов при обработке результатов измерений, таблицы расчетных величин, графики зависимости величин и другие расчетные данные;
- научно-техническое обоснование требований к элементам методики (целевой неопределенности измерений, числу точек, в которых проводят калибровку, числу измерений в каждой точке и т.д.);
- технические описания вспомогательных устройств и приспособлений;
- дополнительные сведения о калибруемых СИ, основных и вспомогательных средствах калибровки;
- дополнительные особые указания о способах нанесения оттисков калибровочных клейм;
- другие требования, способствующие исключению ошибок при калибровке и повышению производительности калибровочных работ, например, указания по применению вычислительной техники.

Таким образом, методика калибровки разрабатывается в зависимости ее назначения и способа применения. Например, в соответствии с [14] калибровочная лаборатория должна иметь и применять процедуру оценки неопределенности измерений при проведении калибровки СИ. Для многих калибровочных лабораторий проведение этой процедуры будет представлять определенную трудность из-за отсутствия методической базы, регламентирующей оценку неопределенности для конкретных типов и групп СИ. Поэтому анализ требований к данной процедуре является актуальным.

2.2 Неопределенность измерений

Неопределенность измерений – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации [19].

Параметром, характеризующим рассеяние значений величины, может быть стандартное отклонение, называемое стандартной неопределенностью измерений.

Неопределенность измерений отражает отсутствие точного знания (истинного) значения измеряемой величины и включает составляющие, обусловленные систематическими эффектами, в т.ч. составляющие, связанные с поправками. Иногда поправки на оцененные систематические эффекты не вводят, а вместо этого последние рассматривают как составляющие неопределенности измерений. В целом, неопределенность измерений можно рассматривать как некоторое значение, которое приводит к изменению связываемой с ним величины, и, следовательно, неопределенности.

Приведенное определение лучше всего иллюстрируется стандартной формой записи результата измерения:

$$Y = y \pm U, p = 0,95. \quad (1)$$

Из выражения видно, что вероятный разброс значений Y находится в диапазоне $\pm U$ относительно результата измерений y , а степень обоснованности нахождения значений Y в этом интервале определяется уровнем доверительной вероятности $p = 0,95$. На рисунке 16 представлено пояснение к форме записи результата измерения при оценке неопределенности.

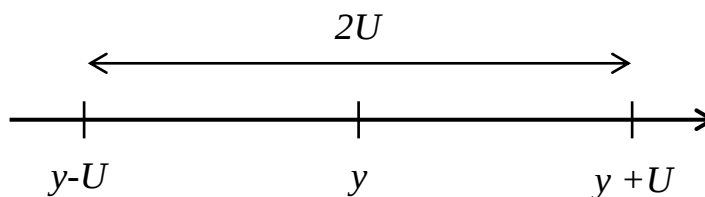


Рисунок 16 – Пояснение к форме записи результата измерения при оценке неопределенности

Стоит отметить, что в Международном словаре по метрологии [19] калибровка рассматривается как операция, в ходе которой при заданных условиях на первом этапе устанавливают соотношение между значениями величин с неопределенностями измерений, которые обеспечивают эталоны, и соответствующими показаниями с присущими им неопределенностями, а на втором этапе на основе этой информации устанавливают соотношение, позволяющее получать результат измерения исходя из показания.

Классификация СИ, участвующих в калибровках, представлена на рисунке 17.

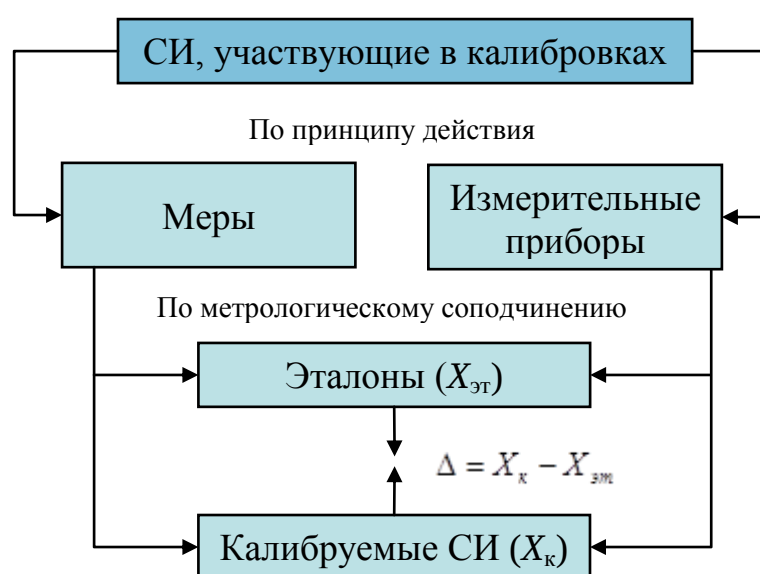


Рисунок 17 – Классификация средств измерений, участвующих в калибровках

При проведении калибровок значение $X_{эт}$, воспроизводимое эталонной мерой (и измеряемое эталоном), сравнивается со значением X_k , воспроизводимым калибруемой мерой (и измеренным калибруемым СИ). Как правило, в процессе реализации калибровок определяется разность между этими величинами: $\Delta = X_k - X_{эт}$, оценивающая систематическую погрешность калибруемого СИ. В дальнейшем эта разность используется для внесения поправки в результат измерения. В этом случае оценивание неопределенности калибровки заключается в оценивании неопределенности величины Δ .

Конкретная процедура оценивания неопределенности зависит от применяемого для передачи размера единицы величины метода измерений.

Вследствие этого в следующем подразделе будут рассмотрены методы измерений, используемые в метрологии при передаче единицы величины.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений [20].

Методы измерений подразделяются на следующие:

- метод прямых измерений;
- метод косвенных измерений;
- метод непосредственной оценки;
- методы сравнения с мерой (дифференциальный метод; нулевой метод; метод измерений замещением; метод измерений дополнением).

Метод прямых измерений – это измерения, при которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измерения можно выразить с помощью формулы:

$$Q = X, \quad (2)$$

где Q – искомое значение измеряемой величины;

X – значение, непосредственно получаемое из опытных данных.

Примерами такого метода являются измерение диаметра подшипника штангенциркулем, измерение массы при помощи весов, измерение температуры термометром, измерение напряжения вольтметром.

Метод косвенных измерений – это измерения, при которых искомую величину определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, т.е. измеряют не искомую величину, а другие, функционально с ней связанные. Значение измеряемой величины находят путем вычисления по формуле (3):

$$Q = F(X_1, X_2, \dots, X_N), \quad (3)$$

Примеры косвенных измерений: определение объема цилиндра по прямым измерениям его геометрических размеров (высота, диаметр), нахождение сопротивления резистора посредством прямых измерений электрического тока и напряжения в цепи.

Метод сравнения с мерой – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Данный метод можно описать с помощью формулы (4):

$$Q = X + X_m, \quad (4)$$

где Q – измеряемая величина;

X – значение, измеренное средством измерения;

X_m – величина, воспроизводимая мерой.

Примерами метода сравнения с мерой могут быть: измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями (мерами массы с известными значениями), измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с известной ЭДС нормального элемента.

Дифференциальный метод – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Примером такого метода является измерение линейного размера отрезка детали. Искомый размер детали определяется по формуле (5):

$$l_x = l_m \pm l_{cc}, \quad (5)$$

где l_x – искомая разница между эталонным метром и длиной линейки;

l_m – размер эталонного метра;

l_{cc} – длина, считываемая со средства сравнения (линейки).

Нулевой метод – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на средство сравнения доводят до нуля. Уравнение измерений аналогично формуле (4), так как данный метод является разновидностью метода сравнения с мерой. Пример: измерение массы на рычажных весах. Уравнение равновесия крутящих моментов имеет вид:

$$P_x \cdot l_1 = P_m \cdot l_2, \quad (6)$$

где P_x – точка подвеса искомого значения массы в точке x ;

P_m – точка подвеса эталонной массы в точке m ;

l_1, l_2 – длины плеч крутящих моментов.

Тогда уравнение измерений примет вид:

$$P_x = \frac{P_m \cdot l_2}{l_1}. \quad (7)$$

Преимущества нулевого метода в том, что данный метод позволяет проводить измерения величин разных значений с помощью образцовых мер величин большего или меньшего размера.

Метод измерений замещением – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины. Метод реализуют в два этапа. На первом этапе измеряют значение величины в измерительной установке и фиксируют это значение по показаниям измерительного прибора. На втором этапе измеряемую величину замещают эталонной величиной и добиваются изменением этой величины того же показания. Примером такого метода является взвешивание с поочередным замещением на одной и той же чашке весов измеряемой массы гирями, суммарная масса которых равна измеряемой массе.

Метод измерений дополнением – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению. Примером такого метода может послужить измерение массы, представленное в виде уравнения измерений:

$$M_x = M_z - M_d, \quad (8)$$

где M_x – искомое значение массы;

M_z – масса однозначной меры – гири;

M_d – масса дополнительной меры (набора мелких гирь).

Таким образом, в зависимости от применяемого при калибровке метода измерений составляют модельные уравнения и на их основе определяют источники неопределенности.

Неопределенность результата измерения отражает неполное знание о значении измеряемой величины. Полное значение требует бесконечного

количества информации. Факторы, способствующие неопределенности, и, следовательно, тому факту, что результат измерения не может обозначаться одним значением, называются источниками неопределенности, которые включают в себя следующее:

- неполное определение измеряемой величины;
- неполную реализацию определения измеряемой величины;
- нерепрезентативную выборку – измеренный образец может не представлять определяемую измеряемую величину;
- неполное знание влияния условий окружающей среды;
- субъективная систематическая погрешность оператора при снятии показаний с измерительных приборов;
- конечная разрешающая способность прибора или порог чувствительности;
- неточные знания, приписанные эталону, используемого для измерения;
- неточные значения констант и других параметров, полученных из внешних источников и используемых в алгоритме обработки данных;
- аппроксимации и предположения, используемые в методе измерения;
- разброс значений повторных наблюдений измеряемой величины при явно одинаковых условиях.

Таким образом, метод измерений зависит от применяемого в конкретной задаче метода передачи размера единицы величины при калибровке. Источники неопределенности СИ могут быть только индивидуальными, присущими конкретному типу СИ. Поэтому не существует общего подхода к их определению и вычислению. При разработке методики калибровки разработчик самостоятельно принимает решение об учете определенных источников неопределенности, при этом обосновывая свой выбор. При разработке методики калибровки оценивание результата измерений и неопределенности производится в определенном порядке, который будет рассмотрен в следующем разделе.

2.3 Методика оценивания неопределенности измерений

Оценивание результата измерений и его неопределенности проводится в следующем порядке:

- составление уравнения измерений;
- оценивание входных величин и их неопределенностей;
- оценивание выходных величин и их неопределенностей;
- составление бюджета неопределенности;
- представление результатов калибровки.

Составление уравнения измерений заключается в модельном подходе к данному вопросу. При его составлении необходимо определить, какие величины являются входными, какая величина получится на выходе, а также учесть факторы, оказывающие влияние на данные величины.

При составлении уравнений измерений оценки неопределенности необходимо учитывать влияющие величины, действия которых не могут быть учтены на основе экспериментальных исследований, но они существенны для получения достоверных результатов калибровки. Например, влияющие величины, связанные с нестабильностью воспроизводимого значения, отклонения от условий эксплуатации (условия окружающей среды, напряжение питания, вибрация и др.), погрешностями квантования СИ, взаимным влиянием эталонного и калибруемого средств. Включение в уравнение измерений влияющих величин должно быть обоснованно на основании поставленной задачи калибровки и нормированной погрешности СИ.

Некоторые из влияющих величин, которые входят в уравнение измерений, могут зависеть от одних и тех же факторов, при этом, при расчете суммарной стандартной неопределенности учитываются коэффициенты корреляции.

На рисунке 18 представлен модельный подход к оцениванию неопределенности измерений.

В качестве выходной величины в уравнении измерений при калибровке может быть:

- значение калибруемой меры или отклонение от номинального значения;
- систематическая погрешность СИ в определенной точке шкалы (диапазона) измерений;
- отклонение показания СИ от номинальной калибровочной характеристики;
- калибровочные коэффициенты;
- другие метрологические характеристики СИ.

После составления уравнения измерений и внесения всех известных поправок на источники неопределенности переходят к вычислению стандартных неопределенностей входных величин $u(x_i)$.

Различают два типа вычисления стандартной неопределенности:

- вычисление по типу А – методом статистического анализа результатов многократных измерений, $u_A(x_i)$;
- вычисление по типу В – с использованием других способов, $u_B(x_i)$.

Согласно [20] *оценивание неопределенности измерений по типу А*–оценивание составляющей неопределенности измерений путем статистического анализа измеренных значений величины, получаемых при определенных условиях измерений.

Оценивание неопределенности измерений по типу В–оценивание составляющей неопределенности измерений способами, отличными от оценивания неопределенности измерений по типу А. К оцениванию по типу В может относиться информация, связанная со значениями аттестованного СИ, классом точности поверенного СИ, полученная из сертификатов калибровки, о дрейфе, а также информация, установленная на основе опыта.

Значения входных величин находят посредством их измерения с однократными или многократными наблюдениями. За значение i -ой входной величины x_i при многократных измерениях принимают ее наилучшую оценку,

равную среднему квадратическому значению $\bar{x}_i$ результатов наблюдений, проведенных в одинаковых условиях, по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m x_{ij}, \quad (11)$$

где i – порядковый номер точки измерений входной величины, $i = 1, \dots, n$;

j – порядковый номер результата измерений в каждой i -ой точке измерений входной величины, $j = 1, \dots, m$;

m – число независимых измерений в каждой i -ой точке измерений входной величины, $m = 1, \dots, 10$.

В полученные значения $x_1, \dots, x_n$ вносят поправки на известные систематические влияющие факторы. Данные поправки вносят в модельное уравнение в качестве входных величин и сами являются источниками неопределенности.

Стандартную неопределенность измерений по типу A_i -ой входной величины выражают в виде стандартного отклонения и находят по формуле (12):

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{m \cdot (m - 1)} \cdot \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}, \quad (12)$$

где i – порядковый номер значений входных величин в точках измерений, $i = 1, \dots, n$;

j – порядковый номер результата m -го измерения в каждой точке входной величины;

m – число независимых измерений в каждой точке входной величины, $m = 1, \dots, k$;

x_{ij} – j -ое значение входной величины в i -ой точке измерений;

$\bar{x}_i$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в каждой точке.

В том случае, когда число независимых измерений m входной величины мало (менее десяти), и процесс измерения находится под статистическим контролем, то оценка дисперсии s_i , которая была получена в ходе предыдущих

измерений большого массива и их обработки, будет являться более надежной. В таком случае вместо формулы (12) рекомендуется оценивание по типу В по следующей формуле:

$$u_A(x_i) = \frac{s_i}{\sqrt{m}}, \quad (13)$$

где s_i – оценка дисперсии, полученная в ходе предыдущих измерений, которая определяется по формуле:

$$s_i = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i^2 - \bar{x}^2)}{n-1},$$

где i – порядковый номер значений входных величин в точках измерений, $i = 1, \dots, n$;

n – число независимых измерений в i -ой точке входной величины, $n = 1, \dots, k$;

x_i – i -ое значение входной величины в i -ой точке измерений;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в каждой точке;

m – число независимых измерений в i -ой точке входной величины, $m = 1, \dots, k$.

Стандартное оценивание неопределенности измерений по типу В i -ой входной величины находят в зависимости от априорной информации об изменчивости входной величины. Если i -ая входная величины является неисключенной систематической погрешностью (НСП) с верхней и нижней границами, то ее неопределенность вычисляют по формуле:

$$u_B(x_i) = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{\alpha_i}, \quad (14)$$

где b_{i+} – верхняя граница i -ой входной величины;

b_{i-} – нижняя граница i -ой входной величины;

α_i – коэффициент, соответствующий принимаемому закону распределения внутри границ НСП:

- для равномерного закона распределения $\alpha = \sqrt{3}$;

- для нормального закона распределения $\alpha = 1,96$;
- для треугольного закона распределения $\alpha = \sqrt{6}$;
- для закона арксинуса $\alpha = \sqrt{2}$.

Чаще всего, вследствие неполного знания о значении измеряемой величины, используют равномерный закон распределения возможных значений этой величины в верхней и нижней границах.

Таким образом, вместо верхних и нижних границ входной величины используют те источники неопределенности, которые были выявлены при составлении уравнения измерений. Такими источниками могут быть:

- абсолютная погрешность;
- дополнительная погрешность;
- дискретность (разрешение);
- погрешность, вызванная отклонением температуры от нормальной;
- температурный коэффициент;
- неопределенность квантования;
- дрейф величины (смещение) во времени;
- поправка, вводимая из-за изменения напряжения в сети, разрешающей способности, контактных эффектов между измерительными приборами, рассеяния сигнала, нелинейности.

Результаты измерения входных величин могут быть попарно *коррелированы* (статистически зависимы). Степень их корреляции выражается с помощью коэффициента корреляции r , значение которого лежит в пределах от минус единицы до единицы. При $r = 0$ корреляция отсутствует.

Корреляция возникает при одновременном наблюдении обеих входных величин в одном измерительном эксперименте. В этом случае коэффициент корреляции вычисляется по типу А по формуле:

$$r_{i,k} = \frac{\frac{1}{m \cdot (m-1)} \cdot \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i) \cdot (x_{kj} - \bar{x}_k)}{u(x_i) \cdot u(x_k)}, \quad (15)$$

где m —число независимых измерений в i -ой и k -ой точках входных величин, m

$= 1, \dots, p;$

j – порядковый номер результата m -го измерения в каждой точке входных величин;

x_{ij} – j -ое значение входной величины в i -ой точке измерений;

x_{kj} – k -ое значение входной величины в j -ой точке измерений;

$\overline{x_i}$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в i -ой точке входных величин;

$\overline{x_k}$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в k -ой точке входных величин;

$u(x_i)$ – стандартная неопределенность измерений i -ой входной величины;

$u(x_k)$ – стандартная неопределенность измерений k -ой входной величины.

При *отсутствии корреляций* между входными величинами суммарная стандартная неопределенность выходной величины определяется по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2(y)} = \sqrt{c_1^2 \cdot u^2(x_1) + c_2^2 \cdot u^2(x_2) + \dots + c_m^2 \cdot u^2(x_m)}, \quad (16)$$

где m – число значений входных величин, $i = 1, \dots, m$;

c_m^2 – коэффициент чувствительности при отсутствующих корреляций,

$$c_m^2 = \frac{\partial F}{\partial x_i} \big|_{(x_1, \dots, x_m)};$$

$u_m^2(x_m)$ – m -ое значение стандартной неопределенности измерений i -ой входной величины.

При *наличии корреляций* между входными величинами суммарная стандартная неопределенность выходной величины определяется по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m c_i^2 \cdot u_i^2(y) + 2 \cdot r_{ij} \cdot c_i \cdot c_j \cdot u(x_i) \cdot u(x_j)}, \quad (17)$$

где c_k^2 – коэффициент чувствительности при наличии корреляций,

$$c_k^2 = \frac{\partial F(x_1, \dots, x_k)}{\partial x_i \partial x_j} \big|_{(x_1, \dots, x_k)};$$

$u_k^2(y)$ – значение стандартной неопределенности измерений k -ой входной

величины;

r_{ij} – коэффициент корреляции;

c_i^2 – коэффициент чувствительности i -ой входной величины,

$$c_i^2 = \frac{\partial F(x_i)}{\partial x_i} \Big|_{(x_1, \dots, x_i)};$$

c_j^2 – коэффициент чувствительности j -ой входной величины,

$$c_j^2 = \frac{\partial F(x_j)}{\partial x_j} \Big|_{(x_1, \dots, x_j)};$$

$u(x_i)$ – значение стандартной неопределенности измерений i -ой входной величины;

$u(x_j)$ – значение стандартной неопределенности измерений j -ой входной величины.

Стоит отметить, что за значения $u(x_i)$ и $u(x_j)$ обычно принимают стандартные неопределенности измерений по типу А и В различного рода.

Также за коэффициент чувствительности можно принять коэффициент, соответствующий принимаемому закону распределения внутри границ НСП.

Расширенную неопределенность получают посредством умножения суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата по формуле:

$$U = k \cdot u_c(y), \quad (18)$$

где $u_c(y)$ – значение суммарной стандартной неопределенности;

k – коэффициент охвата.

Коэффициент охвата представляет собой множитель, на который умножают стандартную суммарную оценку неопределенности измерений для получения расширенной неопределенности. Например, приближенное значение коэффициента охвата при уровне доверительной вероятности $P = 0,95$ равно двум. При наличии вкладов неопределенности по типу А рекомендуется брать в качестве коэффициента охвата коэффициент Стьюдента для уровня доверительной вероятности $P = 0,95$ и эффективного числа степеней свободы ν_{eff} , определяемого по формуле:

$$v_{eff} = \frac{u^4(y)}{\sum_{i=1}^m \frac{u_i^4(y)}{v_i}}, \quad (19)$$

где $u^4(y)$ – значение стандартной суммарной неопределенности измерений;

$u_i^4(y)$ – значение стандартной суммарной неопределенности измерений i -ой входной величины, вычисленная по типу А или В;

v_i – число степеней свободы при оценке i -ой входной величины.

Коэффициент охвата выбирают по таблицам распределения Стьюдента для уровня доверительной вероятности P и числа степеней свободы v_{eff} , округленного до ближайшего целого числа, меньшего v_{eff} .

После вычисления расширенной неопределенности U последним этапом в оценивании неопределенности измерений является *вычисление вклада неопределенности* i -ой входной величины в неопределенность измеряемой величины.

Вклад неопределенности каждой i -ой входной величины в суммарную стандартную неопределенность измеряемой величины $u_i(y)$ определяют как произведение неопределенности входной величины $u(x_i)$ на коэффициент чувствительности c_i по формуле (20):

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i), \quad (20)$$

где $u_i(y)$ – значение вклада в суммарную стандартную неопределенность измеряемой величины Y ;

c_i – коэффициент чувствительности i -ой входной величины;

$u(x_i)$ – значение неопределенности измерений i -ой входной величины.

После проведенных расчетов и оценивания неопределенности измерений можно приступать к составлению *бюджета неопределенности*, который представляет собой отчет о неопределенности измерений, составляющих неопределенности, их вычислении и суммировании. Бюджет неопределенности может включать модель измерений, оценки и неопределенности измерений, связанные с величинами, входящими в модель

измерений, ковариации, виды применяемых функций плотности вероятностей, число степеней свободы, тип оценивания неопределенности и коэффициент охвата.

Такой отчет в виде оформляют в виде таблицы 6, которая позволяет легко проверить процедуру вычисления неопределенности, сравнить ее с аналогичными вычислениями в другой лаборатории.

Таблица 6 – Бюджет неопределенности

Входная величина	Оценка входной величины	Стандартная неопределенность	Тип оценивания/закон распределения	Число степеней свободы	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
X_1	x_1	$u(x_1)$	A(B)	ν_1	c_1	$u_1(y)$
X_2	x_2	$u(x_2)$	...	ν_2	c_2	$u_2(y)$
...	...	...	...	...	...	...
X_i	x_i	$u(x_i)$	...	ν_i	c_i	$u_i(y)$
Измеряемая величина	Результат измерения	Суммарная стандартная неопределенность		Эффективное число степеней свободы	Коэффициент охвата	Расширенная неопределенность
Y	y	$u(y)$		ν_{eff}	k	U

В столбце 1 перечисляют входные величины уравнения измерений. В столбце 2 перечисляют оценки i -ой входных величин, полученные либо в результате измерений, либо на основе использования другой информации. В столбце 3 приводят значения стандартной неопределенности i -ой входной величины, рассчитанные по формулам (12) - (14). В столбце 4 указывают тип оценивания неопределенности. При необходимости приводят предполагаемый закон распределения оценки. Например, если оценка величины получена по результатам многократных измерений, то, как правило, предполагается нормальный закон распределения ее значений и тип оценивания А. При многократных измерениях необходимо также указывать число измерений n .

В столбце 5 приводят число степеней свободы для i -ой входной величины, рассчитываемые по формуле (19). В столбце 6 указывают значения коэффициентов чувствительности c_i i -ой входной величины.

В столбце 7 приводят значения вклада неопределенности входных величин в суммарную стандартную неопределенность, рассчитываемые по

формуле (20).

Стоит отметить, что все значения величин, приведенные в таблице 6, должны включать обозначения единиц этих величин.

Таким образом, процедура оценивания неопределенности измерений является универсальной структурированной схемой расчета, которая позволяет исключить допущение ошибок в оценивании и представлении результата измерений с помощью составления общего алгоритма оценивания неопределенности измерений, представленного на рисунке 19.

Таким образом, проведенный анализ оценивания неопределенности измерений, а также составление алгоритма оценивания позволяют шире рассмотреть вопрос, касающийся разработки методик калибровки и требований к ним. Данный анализ и методика оценивания оказывают некоторую помощь в разработке компетентной и обоснованной методики.

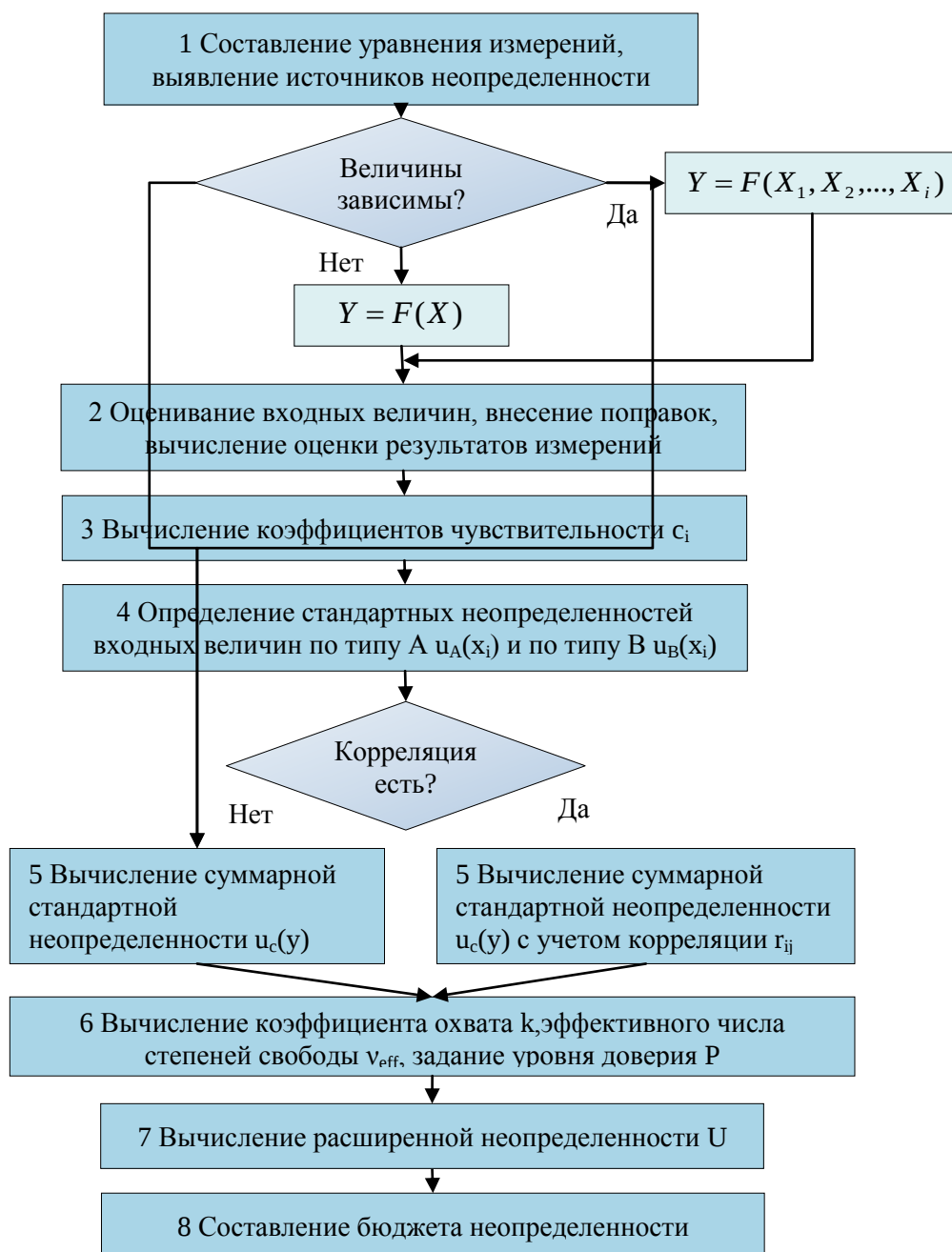


Рисунок 19 – Алгоритм оценивания неопределенности

Разработка методики калибровки на этапе подготовки СИ к первичной аттестации в качестве эталона, а также при процедуре утверждения типа СИ – это один из документов, который необходимо разработать. Полный список документов, необходимых для осуществления данной процедуры, были рассмотрены в разделе 1.7. Более подробный анализ этих документов будет рассмотрен в следующем разделе.

2.4 Требования к документам по аттестации эталонов

2.4.1 Требования к содержанию паспорта эталона

Паспорт эталона включает в себя следующие сведения, представленные на рисунке 20.

На обложке Паспорта эталона приводят полное наименование организации-держателя эталона, а также наименование величины, разряд по государственной поверочной схеме, значение (диапазон значений) величины.

Регистрационный номер эталона состоит из знаков и цифр, разделенных тире. Первые значения составляют для внутренней идентификации организации-держателя эталона, которая может содержать номер отдела, лаборатории и т.д. Последние четыре цифры имеют сквозную нумерацию от 0001 до 9999, которые присваивает держатель эталона для последующей идентификации.

В конце обложки Паспорта указывают год его разработки.

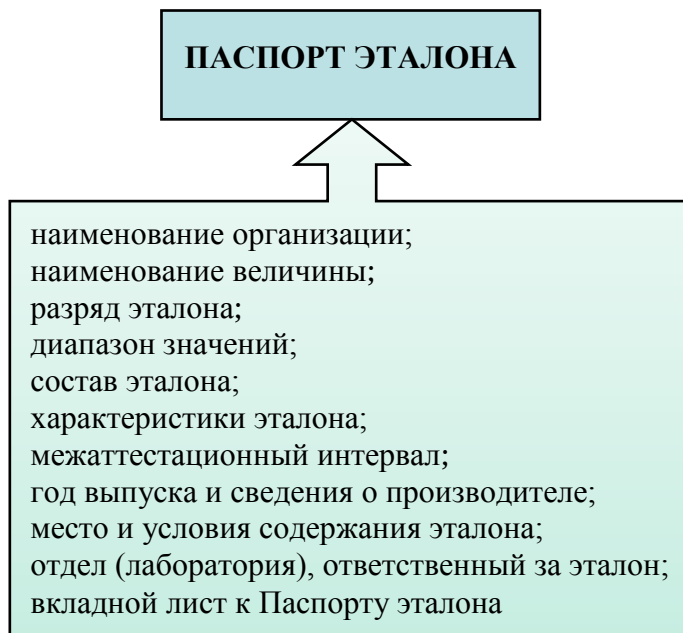


Рисунок 20 – Содержание Паспорта эталона

На первой странице Паспорта эталона указывают полное наименование организации-держателя эталона, наименование величины, разряд по государственной поверочной схеме, значение (диапазон) величины.

Также приводят состав эталона в виде таблицы, в которой указывают

наименование, тип, заводской номер эталона.

Метрологические характеристики эталона включают в себя диапазон значений, номинальное значение величины, сведения о погрешностях и неопределенностях измерений, которые приводят в соответствии с ГОСТ 8.381-2009 [30]. После МХ эталона приводят сведения о его межаттестационном интервале.

В сведениях о производителе указывают наименование организации-изготовителя эталона с указанием года его выпуска.

Место и условия содержания эталона содержат ссылку на Правила содержания и применения эталона с регистрационным номером, а также указание наименования организации-держателя эталона.

Также в Паспорте эталона на первой странице размещают информацию об отделе, который несет ответственность за эталон с указанием наименования подразделения, номера помещения, руководителя организации и должности ответственного за содержание и применение эталона.

В Паспорте эталона необходимо указать дату и номер приказа Росстандарта, которым был утвержден эталон.

К Паспорту эталона прилагается вкладной лист, в котором указывают наименование величины, регистрационный номер эталона, а также результаты периодической аттестации и исследований эталона в виде таблицы. В таблице указывают дату записи, диапазон значений, доверительные границы погрешности, расширенную неопределенность, подпись ответственного за эталон.

Следует отметить, что при оформлении результатов периодической аттестации для вторичных и групповых эталонов необходимо использовать рекомендации, приведенные в [30].

2.4.2 Требования к правилам содержания и применения эталона

Правила содержания и применения эталона (Правила) включает в себя

следующие сведения, представленные на рисунке 21.

Регистрационный номер, наименование, разряд аналогичны тем, что указаны в Паспорте эталона. Отличие в том, что в Правилах вместе разряда допускается указывать класс точности в случае его отсутствия.

В составе эталона указывают его наименование, тип и заводской номер.

Метрологические и технические характеристики, различные требования к условиям содержания и применения приводят согласно эксплуатационной документации на конкретный тип СИ.

Оценка соответствия вспомогательного оборудования заключается в проведении испытаний и установлении его соответствия установленным требованиям.

Оценка МХ эталона и вспомогательных СИ заключается в проведении поверки (калибровки) в целях определения МХ СИ. Данная процедура предназначена для установления влияния вспомогательных СИ и оборудования на результат измерений.

Аттестация эталона осуществляется организацией-держателем эталона по собственной разработанной методике периодической аттестации, а по ее результатам оформляется свидетельство об аттестации эталона по установленной форме.



Рисунок 21 – Содержание Правил содержания и применения эталона

2.4.3 Требования к содержанию характеристик эталона

Характеристики эталона единицы величины (Характеристики) включают в себя следующие сведения, представленные на рисунке 22.

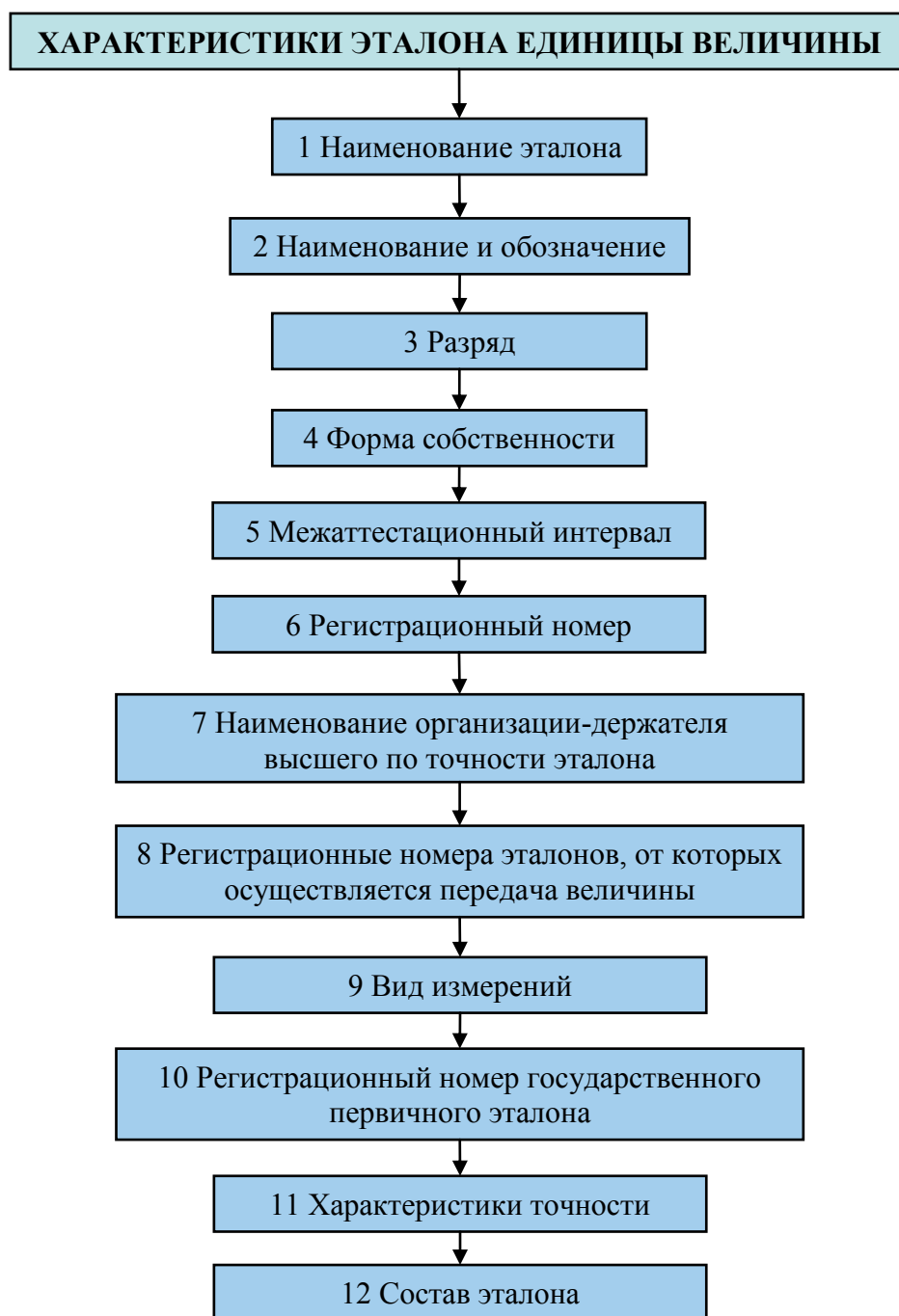


Рисунок 22 – Содержание характеристик эталона единицы величины

Наименование эталона единицы величины указывают в соответствии с Паспортом.

В наименовании и обозначении стандарта указывают документ на государственную или локальную поверочную схему, обеспечивающая метрологическую прослеживаемость к государственному первичному эталону. Также в Характеристиках указывают разряд эталона.

В форме собственности эталона указывают государственную или принадлежащую организации-держателю иную форму.

Межаттестационный интервал и регистрационный номер указывают в соответствии с Паспортом и Правилами.

В наименовании организации-держателя высшего по точности эталона указывают наименование той организации, которая имеет более высокие показатели точности и осуществляла поверку эталона. В Характеристиках также приводят регистрационные номера эталонов, с помощью которых проводилась поверка, а также регистрационные номера государственного первичного эталона, к которому осуществляют прослеживаемость эталона.

Вид измерений указывают в соответствии с МИ 2314-2006 [39].

Характеристиках точности эталона размещают в виде таблицы с указанием измеряемой величины, единицы измерения, диапазона значений величины, особые условия, а также наименование, значения величины, погрешности.

Состав эталона оформляют также в виде таблицы, где размещают следующую информацию: наименование, тип СИ, номер в реестре ФИФ ОЕИ, сведения об изготовителе, заводской номер, год выпуска, межповерочный интервал, а также сведения о поверке, включающие дату последней поверки, название организации, выполнявшей поверку, используемый эталон для поверки.

Выводы к главе 2

1 В данной главе был проведен анализ требований к содержанию и изложению методик калибровки, которая является неотъемлемой частью в обеспечении единства измерений, так как на основе разработанной методики калибровки производится калибровка СИ, которая, в свою очередь, обеспечивает метрологическую прослеживаемость измерений при передаче единицы измерений от эталона средству измерений нижестоящего по поверочной схеме. С помощью методики калибровки есть возможность узнать метрологические характеристики СИ, проверить его стабильность, работоспособность, применять методику калибровку при аттестации эталона и утверждении типа СИ.

2 Рассмотрен термин «неопределенность», являющийся нововведением в нашей стране, и поэтому требующий тщательного изучения. Охарактеризованы виды неопределенностей, а также проведен анализ методики оценивания неопределенности, который представляет собой последовательный набор действий для расчета неопределенности измерений и составления бюджета неопределенности.

3 Проведен анализ документов по аттестации эталона и требований к ним, который подтвердил необходимость в оценивании неопределенности измерений, регламентированную рассмотренными документами.

3 Калибровка и аттестация цифрового манометра «МО-05»

Данная глава посвящена разработке документов, необходимых для реализации таких процедур метрологического подтверждения пригодности, как калибровка манометра цифрового «МО-05» (манометра) и его аттестация в качестве эталона. Далее представлены разработанный проект методики калибровки манометра и результаты её опробования с расчетом неопределенности измерений, и комплект документов для аттестации.

3.1 Основные метрологические характеристики манометра «МО-05»

Манометр предназначен для точных измерений абсолютного, избыточного давления жидкостей и газов, а также разрежения газов с индикацией текущих измеренных значений на цифровом табло.

Манометр является средством измерений утвержденного типа (номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 54009-13), имеет описание типа и утвержденную методику поверки ГКМТ 410200.012-010«Методика поверки. Манометры цифровые «МО-05».

В целях обеспечения единства измерений при проведении калибровочных работ в филиале «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация» манометр «МО-05» планируется использовать в качестве рабочего эталона единицы избыточного давления. Следовательно, на данный манометр может быть разработана методика калибровки, предназначенная для определения метрологических характеристик, и комплект документов для аттестации эталона.

Манометр представляет собой единую конструкцию, состоящую из первичного преобразователя давления со штуцером, корпуса с индикацией. В корпусе расположен микропроцессорный электронный блок с индикацией и источником питания. Внешний вид манометра приведен на рисунке 23.



Рисунок 23 – Внешний вид манометра цифрового «МО-05»

Принцип действия манометра заключается в следующем: измеряемое давление, воздействующее на мембрану измерительного блока, преобразуется в силу, передаваемую на чувствительный элемент тензопреобразователя. Под действием этой силы упругий элемент тензопреобразователя деформируется, изменяя сопротивление расположенных на нем тензорезисторов. Электронный блок преобразует это изменение сопротивления и отображает количественное значение измеренного давления на встроенном цифровом индикаторе или мониторе персонального компьютера (ПК).

Основные метрологические характеристики манометра, необходимые для проведения калибровки в целях аттестации в качестве эталона:

- 1) диапазоны измерений давления разрежения и избыточного давления:
 - от минус 0,1 до 0 МПа;
 - от 0 МПа до 0,4 МПа;
 - от 0 МПа до 0,6 МПа;
 - от 0 МПа до 1 МПа;
 - от 0 МПа до 1,6 МПа;

- от 0 МПа до 2,4 МПа;

2) пределы допускаемой приведенной погрешности измерений избыточного давления $\gamma = \pm 0,15$ % от верхнего предела измерений (ВПИ);

3) вариация не должна превышать $\pm 0,5 \cdot \gamma$.

Согласно [18] для того, чтобы подготовить эталон к аттестации, необходимо определить его место в схеме передачи размера единицы конкретной величины. Такая схема может быть разработана на основе государственной поверочной схемы средств измерений избыточного давления, рассмотренная в следующем разделе.

3.2 Схема передачи размера единицы избыточного давления

Согласно поверочной схеме для средств измерений избыточного давления ГОСТ 8.802-2012 [34] была разработана схема передачи размера единицы для манометра «МО-05», представленная на рисунке 26. Данная схема устанавливает порядок передачи единицы избыточного давления от государственного первичного эталона с помощью вторичных и рабочих эталонов рабочим средствам измерений с указанием диапазонов измерений, классов точности и методов измерений (непосредственное сличение).

сделать вывод о том, что может являться рабочим эталоном третьего разряда.

Согласно рассмотренной схеме манометр цифровой «МО-05» с верхним пределом измерений до 2,4 МПа и пределами допускаемой основной погрешностей $\pm 0,15$ % может являться рабочим эталоном третьего разряда. Рабочие эталоны 3-го разряда единицы избыточного давления по [34] применяют для поверки, калибровки и аттестации:

- деформационных вакуумметров и манометров 4-го разряда классов точности (КТ) 0,6 и 1,0;
- рабочих деформационных вакуумметров КТ 0,6; 1,0; 1,5;
- рабочих деформационных мановакуумметров КТ 0,6; 1,0 и 1,5;

- рабочих ртутных мановакуумметров, рабочих деформационных манометров КТ 0,6; 1,0 и 1,5;
- рабочих измерительных преобразователей давления КТ 0,4; 0,5; 0,6; 1,0 и 1,5 непосредственным сличением.

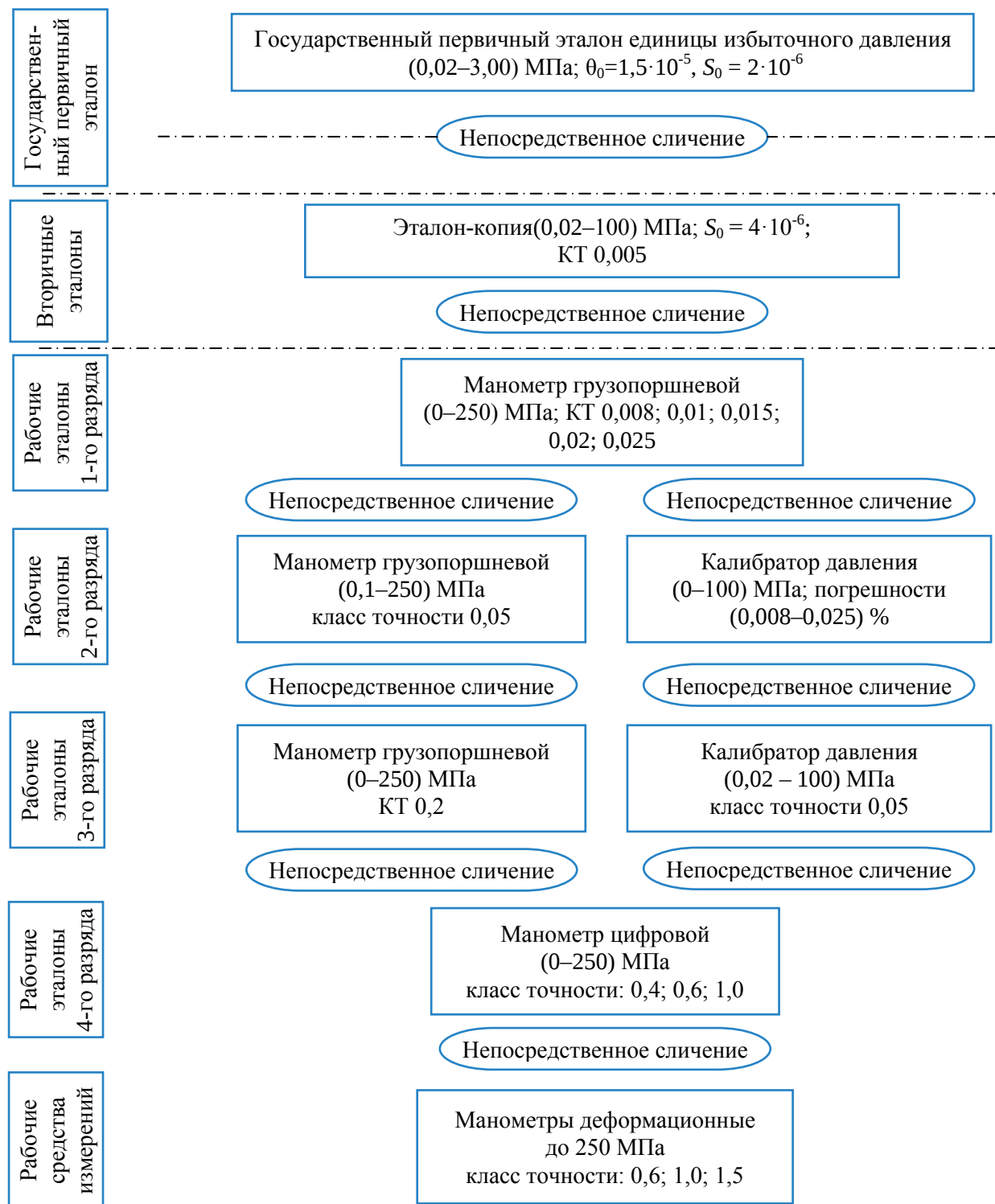


Рисунок 26 – Схема передачи размера единицы избыточного давления

Как уже было отмечено в разделе 1.3, метрологическая прослеживаемость обеспечивается посредством разработки схемы, которая отображает «путь» передачи единицы величины от наивысших по точности эталонов к рабочим средствам измерений, тем самым обеспечивая единство измерений как в масштабах страны, так и в масштабах одной организации.

Передачу размера единицы величины обеспечивают такие операции, как поверка и калибровка. Для того, чтобы осуществить передачу единицы избыточного давления необходимо провести калибровку по разработанной методике.

3.3 Разработка методики калибровки манометра «МО-05»

3.3.1 Структура методики калибровки

Проект методики калибровки манометра приведен в Приложении А. Данная методика калибровки была составлена на основе следующих нормативных документов:

- ГОСТ Р 54500.1-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-1:2009 «Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения» [35];

- ГОСТ Р 54500.3-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения [36];

- ГОСТ Р 8.879-2014 Методика калибровки средств измерений. Требования к содержанию и изложению [16];

- РМГ 115-2011 Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности [37];

- МИ 3281-2010 ГСИ. Оценка результатов измерений – Пояснения к руководству по выражению неопределенности измерений [38];

- Р РСК 002-2006 РСК. Основные требования к методикам калибровки, применяемым в Российской системе калибровки [17].

На основе вышеперечисленных документов была определена следующая структура методики калибровки манометра цифрового «МО-05»:

Вводная часть;

1 Нормативные ссылки;

2 Технические требования;

2.1 Требования к неопределенностям измерений;

2.2 Требования к средствам калибровки и вспомогательному оборудованию;

2.3 Требования к условиям проведения калибровки;

3 Требования к квалификации калибровщиков;

4 Требования по обеспечению безопасности;

5 Подготовка к процедуре калибровки;

6 Процедура проведения калибровки;

7 Обработка результатов калибровки;

8 Оформление результатов калибровки.

Далее будут рассмотрены некоторые элементы разработанной методики калибровки. Для калибровки манометра в качестве эталона был использован калибратор давления портативный Метран-517. Соотношение пределов допускаемых основных погрешностей эталонного калибратора и манометра должно быть не более 1:3 согласно [34].

Данный калибратор применяют в качестве рабочего эталона при поверке и калибровке различных средств измерений давления, в том числе преобразователей давления с унифицированными выходными электрическими сигналами или выходными цифровыми сигналами, измерительных преобразователей, вторичных показывающих и регистрирующих приборов.

Принцип действия калибратора в режиме измерений давления основан на использовании зависимости между измеряемым давлением и упругой деформацией чувствительного элемента преобразователя давления, расположенного в модуле давления эталона Метран-518, входящем в состав калибратора. Электрический сигнал, изменяющийся в преобразователе

давления под воздействием входного давления, подается на первый канал измерения аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и после преобразования в цифровой код поступает в микроконтроллер модуля. Для устранения влияния температуры на точность измерений, электрический сигнал, пропорциональный температуре чувствительного элемента преобразователя давления, подается на второй канал измерения АЦП и далее после преобразования в виде цифрового кода поступает в микроконтроллер. Микроконтроллер модуля по цифровым кодам давления и температуры непрерывно вычисляет значение измеряемого давления в соответствии с функцией преобразования. Индивидуальные коэффициенты функции преобразования, полученные при калибровке преобразователя, хранятся в энергонезависимой памяти модуля давления. Модуль давления имеет встроенный асинхронный последовательный интерфейс, по которому он передает информацию электронному блоку калибратора.

Схема подключения манометра для определения метрологических характеристик избыточного давления с помощью калибратора приведена на рисунке 24.

Важным этапом при обработке результатов измерений и оценивании неопределенности является составление уравнения измерений, в которое входят различные величины (поправки, погрешности из-за источников неопределенности и др.). Уравнение измерения избыточного давления определяется следующим выражением:

$$P_x = (\bar{P}_{изм} + \Delta_{a(эт)} + \Delta_{d(эт)}) - (P_m + \Delta_{d(м)} + \Delta_{вар}), \quad (21)$$

где P_x – оценка результата измерений избыточного давления, МПа;

$\bar{P}_{изм}$ – среднее значение избыточного давления, измеренное калибратором, МПа;

P_m – значение избыточного давления, измеренное манометром, МПа;

$\Delta_{a(эт)}$ – основная абсолютная погрешность калибратора, МПа;

$\Delta_{d(эт)}$ – погрешность, обусловленная дискретность калибратора, МПа;

$\Delta_{d(м)}$ – погрешность, обусловленная дискретность манометра, МПа;

$\Delta_{вар}$ – поправка измеренного давления из-за вариации показаний, МПа.

Таким образом, в данном уравнении учтены различные поправки и источники неопределенности, влияющие на результат измерений. После этого приведем порядок обработки при оценивании неопределенности измерений.

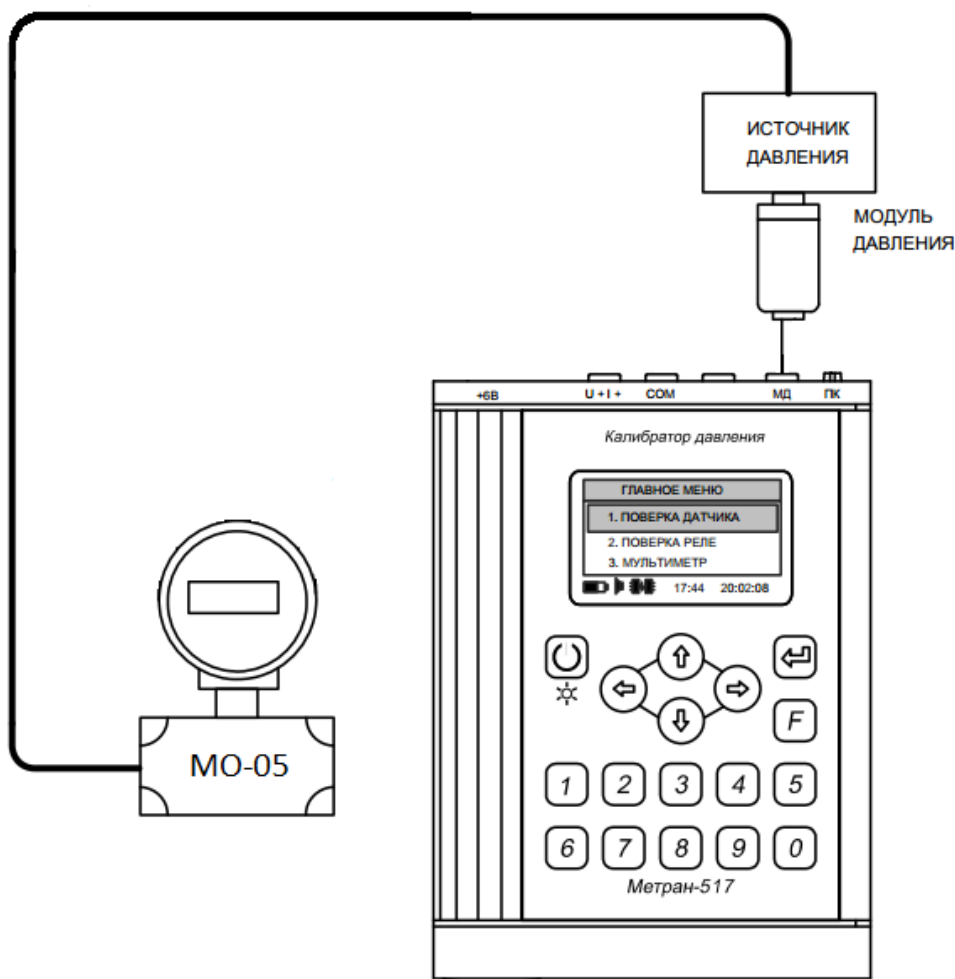


Рисунок 24 – Схема подключения манометра для определения метрологических характеристик избыточного давления

Среднее арифметическое значение избыточного давления $\bar{P}_i$, МПа, рассчитывают по формуле:

$$\bar{P}_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m P_{ij}, \quad (22)$$

где i – количество калибруемых точек в поддиапазоне измерений избыточного давления, $i = 1, \dots, n$;

j – порядковый номер измерений, выполняемых калибратором в каждой i -ой калибруемой точке, $j = 1, \dots, m$.

m – количество независимых измерений в каждой i -ой калибруемой

точке поддиапазона измерений, $m = 10$.

Оценивание стандартной неопределенности по типу А (в единицах измеряемой величины) вычисляют по формуле СКО среднего арифметического значения:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{m \cdot (m - 1)} \cdot \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}, \quad (23)$$

где i – порядковый номер значений входных величин в точках измерений, $i = 1, \dots, n$;

j – порядковый номер результата m -го измерения в каждой точке входной величины;

m – число независимых измерений в каждой точке входной величины, $m = 1, \dots, k$;

x_{ij} – j -ое значение входной величины в i -ой точке измерений;

$\bar{x}_i$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в каждой точке.

Исходными данными для оценивания стандартной неопределенности по типу В (в единицах измеряемой величины, МПа) являются:

- неопределенность u_{B1} , обусловленная погрешностью калибратора;
- неопределенность u_{B2} , обусловленная дискретностью калибратора;
- неопределенность u_{B3} , обусловленная дискретностью манометра;
- неопределенность u_{B4} , обусловленная, вариацией показаний манометра.

Стандартную неопределенность u_{B1} , МПа, рассчитывают по формуле:

$$u_{B1} = \frac{\Delta_{\text{эт}}}{\sqrt{3}}, \quad (24)$$

где $\Delta_{\text{эт}}$ – абсолютная погрешность калибратора, МПа.

Стандартную неопределенность u_{B2} , МПа, рассчитывают по формуле:

$$u_{B2} = \frac{D_k}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (25)$$

где D_k – дискретность (разрешение) калибратора.

Стандартную неопределенность u_{B3} , МПа, рассчитывают по формуле:

$$u_{B3} = \frac{D_M}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (26)$$

где D_M – дискретность (разрешение) манометра.

Стандартную неопределенность u_{B4} , МПа, рассчитывают по формуле:

$$u_{B4} = \frac{\Delta_{\text{вар}(M)}}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (27)$$

где $\Delta_{\text{вар}(M)}$ – значение вариации показаний манометра, МПа.

Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2}. \quad (28)$$

Абсолютная погрешность манометра приведена в Приложении 3, калибратора – в эксплуатационной документации. Абсолютная погрешность, обусловленная отклонением температуры от нормальной, указана в эксплуатационной документации на данный калибратор. Дискретность калибратора также находится в эксплуатационной документации.

Расширенную неопределенность U , единица измеряемой величины, рассчитывают по формуле:

$$U_x = k \cdot u_c, \quad (29)$$

где k – коэффициент охвата, принимаемый равным 2.

Расширенную относительную неопределенность U , %, рассчитывают по формуле:

$$U = \frac{U_x \cdot 100\%}{\bar{x}_i}. \quad (29)$$

На основе разработанной методики калибровки было проведено ее опробование и получены результаты измерений, которые необходимо обработать.

3.3.2 Результаты калибровки

Результаты опробования методики калибровки манометра цифрового «МО-05» приведены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – Результаты измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_i , МПа	Ход	Результаты измерений избыточного давления калибратором P_{ij} , МПа										Среднее значение $P_{i\text{ср}}$, МПа
			P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_{i4}	P_{i5}	P_{i6}	P_{i7}	P_{i8}	P_{i9}	P_{i10}	
-0,1	-0,01	прямой	-0,00988	-0,00985	-0,0098	-0,00981	-0,00986	-0,00989	-0,00984	-0,0099	-0,01	-0,0098	-0,009855
		обратный	-0,0099	-0,00987	-0,00982	-0,00982	-0,00988	-0,00984	-0,00983	-0,0098	-0,01	-0,0098	-0,009845
	-0,02	прямой	-0,01999	-0,01995	-0,01995	-0,01999	-0,01997	-0,01996	-0,01997	-0,02	-0,02	-0,02	-0,019973
		обратный	-0,01999	-0,01995	-0,01996	-0,01999	-0,01997	-0,01995	-0,01997	-0,02	-0,02	-0,02	-0,019969
	-0,03	прямой	-0,02982	-0,02984	-0,02978	-0,02976	-0,02981	-0,02987	-0,02977	-0,0298	-0,03	-0,0298	-0,029809
		обратный	-0,02983	-0,02986	-0,02985	-0,02987	-0,02983	-0,02974	-0,02976	-0,0299	-0,03	-0,0298	-0,029828
	-0,04	прямой	-0,03988	-0,03987	-0,03976	-0,03984	-0,03971	-0,03969	-0,03983	-0,0398	-0,04	-0,04	-0,03981
		обратный	-0,03997	-0,03964	-0,03967	-0,03978	-0,03983	-0,03987	-0,03986	-0,0399	-0,04	-0,0398	-0,039802
	-0,05	прямой	-0,04983	-0,04987	-0,04986	-0,04988	-0,04987	-0,04988	-0,04988	-0,0498	-0,05	-0,0499	-0,049866
		обратный	-0,04987	-0,04986	-0,04989	-0,04986	-0,04989	-0,04985	-0,04989	-0,0499	-0,05	-0,0499	-0,049874
	-0,06	прямой	-0,05969	-0,05977	-0,05979	-0,05976	-0,05972	-0,05983	-0,05967	-0,0597	-0,06	-0,0598	-0,059741
		обратный	-0,05981	-0,05978	-0,05967	-0,05977	-0,05978	-0,05973	-0,05986	-0,0598	-0,06	-0,0598	-0,059764
	-0,07	прямой	-0,06974	-0,06973	-0,06978	-0,06976	-0,06974	-0,06968	-0,06977	-0,0698	-0,07	-0,0697	-0,06974
		обратный	-0,06976	-0,06976	-0,06978	-0,06973	-0,06977	-0,06981	-0,06977	-0,0698	-0,07	-0,0698	-0,069775
	-0,08	прямой	-0,0798	-0,0798	-0,0795	-0,0797	-0,0798	-0,0796	-0,0795	-0,0797	-0,08	-0,0797	-0,07966
		обратный	-0,0795	-0,0796	-0,0796	-0,0796	-0,0797	-0,0796	-0,0798	-0,0798	-0,08	-0,0797	-0,07967
	-0,09	прямой	-0,08988	-0,08981	-0,08987	-0,08984	-0,08984	-0,08991	-0,08978	-0,0898	-0,09	-0,0899	-0,089854
		обратный	-0,08986	-0,08987	-0,08976	-0,08988	-0,08983	-0,08978	-0,08977	-0,0899	-0,09	-0,0898	-0,089817
	-0,1	прямой	-0,09887	-0,09891	-0,09894	-0,09896	-0,09889	-0,09885	-0,09895	-0,0988	-0,099	-0,0988	-0,098889
		обратный	-0,09886	-0,09889	-0,09884	-0,09896	-0,09882	-0,09876	-0,09889	-0,0989	-0,099	-0,0989	-0,098869
0,4	0,04	прямой	0,03985	0,03984	0,03986	0,03989	0,03982	0,03986	0,03984	0,0398	0,0399	0,0399	0,039856
		обратный	0,03981	0,03986	0,03987	0,03983	0,03981	0,03982	0,03984	0,0399	0,0398	0,03991	0,039844
	0,08	прямой	0,07899	0,07903	0,07904	0,079	0,07901	0,07906	0,07905	0,079	0,0791	0,07897	0,079026
		обратный	0,07899	0,07898	0,0791	0,07908	0,07904	0,07905	0,07903	0,079	0,0789	0,07899	0,079016

Таблица 6 – Результаты измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_b , МПа	Ход	Результаты измерений избыточного давления калибратором P_{ij} , МПа										Среднее значение $P_{i, \text{ср}}$, МПа
			P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_{i4}	P_{i5}	P_{i6}	P_{i7}	P_{i8}	P_{i9}	P_{i10}	
0,4	0,12	прямой	0,11941	0,11984	0,11994	0,11965	0,11957	0,11948	0,11928	0,1194	0,1198	0,11985	0,119615
		обратный	0,11936	0,11974	0,1199	0,11948	0,11928	0,11981	0,11967	0,1192	0,1198	0,11946	0,119572
	0,16	прямой	0,15897	0,15889	0,15894	0,15896	0,15906	0,15908	0,15904	0,159	0,159	0,15899	0,158995
		обратный	0,15906	0,15907	0,15899	0,15901	0,159	0,1591	0,15894	0,1591	0,159	0,15896	0,159017
	0,2	прямой	0,19899	0,19905	0,19926	0,19887	0,19896	0,19918	0,19907	0,199	0,1988	0,19911	0,199028
		обратный	0,19894	0,199	0,19917	0,19894	0,19902	0,19926	0,19891	0,1989	0,1989	0,19908	0,199014
	0,24	прямой	0,23964	0,23957	0,23974	0,23939	0,23948	0,23952	0,23963	0,2392	0,2399	0,23961	0,239564
		обратный	0,23958	0,23938	0,23945	0,23917	0,23971	0,23914	0,23928	0,2397	0,2397	0,23938	0,23945
	0,28	прямой	0,27984	0,27971	0,27961	0,27948	0,27926	0,27945	0,27934	0,2793	0,2791	0,27983	0,279493
		обратный	0,27964	0,27946	0,27958	0,27925	0,27924	0,27961	0,27987	0,279	0,2796	0,27929	0,279454
	0,32	прямой	0,31987	0,31946	0,31942	0,31969	0,31925	0,31948	0,31927	0,3197	0,3193	0,31967	0,319506
		обратный	0,31968	0,31978	0,31936	0,31959	0,31934	0,31955	0,31987	0,3198	0,3196	0,31933	0,319596
	0,36	прямой	0,35957	0,35958	0,35958	0,35963	0,35961	0,35958	0,35966	0,3596	0,3597	0,35971	0,359626
		обратный	0,35963	0,35974	0,35964	0,35978	0,35965	0,35975	0,35964	0,3597	0,3596	0,35978	0,359694
	0,4	прямой	0,39897	0,39889	0,39884	0,39896	0,39837	0,39847	0,39899	0,399	0,3984	0,39869	0,398763
		обратный	0,39876	0,39862	0,39853	0,39849	0,39843	0,39897	0,39906	0,3989	0,3989	0,39861	0,398732
0,6	0,06	прямой	0,05976	0,05963	0,05996	0,05946	0,05965	0,05984	0,05961	0,0598	0,0594	0,05961	0,059673
		обратный	0,05964	0,05973	0,05997	0,05931	0,05943	0,05972	0,05986	0,0597	0,0597	0,05961	0,059667
	0,12	прямой	0,11964	0,11958	0,11942	0,11939	0,11954	0,11971	0,11957	0,1197	0,1198	0,11982	0,119613
		обратный	0,11959	0,11963	0,11951	0,11955	0,11973	0,11973	0,11962	0,1198	0,1198	0,118	0,119499
	0,18	прямой	0,17923	0,17948	0,17951	0,17925	0,17956	0,17936	0,17926	0,1793	0,1795	0,17912	0,179359
		обратный	0,17931	0,17938	0,17954	0,17931	0,17944	0,17928	0,17917	0,1794	0,1796	0,17909	0,179356
	0,24	прямой	0,23874	0,23869	0,23878	0,23888	0,23874	0,23865	0,23841	0,2388	0,2388	0,23876	0,238729
		обратный	0,23861	0,23873	0,23874	0,23883	0,23867	0,23874	0,23855	0,2388	0,2387	0,23866	0,2387
	0,3	прямой	0,29832	0,29844	0,29812	0,29825	0,29833	0,2981	0,29827	0,2984	0,2984	0,29809	0,298272
		обратный	0,29828	0,29831	0,29809	0,29817	0,29821	0,29821	0,29834	0,2984	0,2983	0,29816	0,298242

Таблица 6 – Результаты измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_b , МПа	Ход	Результаты измерений избыточного давления калибратором P_{ij} , МПа										Среднее значение $P_{i, \text{ср}}$, МПа
			P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_{i4}	P_{i5}	P_{i6}	P_{i7}	P_{i8}	P_{i9}	P_{i10}	
0,6	0,36	прямой	0,35784	0,35778	0,35782	0,35781	0,35786	0,35789	0,35783	0,3578	0,3577	0,35787	0,35782
		обратный	0,35789	0,35785	0,35778	0,35779	0,35791	0,35791	0,35786	0,3578	0,3578	0,3579	0,35785
	0,42	прямой	0,41945	0,41936	0,41944	0,41952	0,41932	0,41928	0,41947	0,4196	0,4194	0,41954	0,419435
		обратный	0,41956	0,41923	0,41957	0,41962	0,41941	0,41933	0,41955	0,4196	0,4195	0,41961	0,419497
	0,48	прямой	0,47836	0,47824	0,47841	0,47849	0,47829	0,47819	0,47833	0,4785	0,4783	0,47847	0,478355
		обратный	0,47842	0,47833	0,47843	0,47856	0,47827	0,47831	0,47848	0,4785	0,4784	0,47854	0,478423
	0,54	прямой	0,53812	0,53826	0,53814	0,5383	0,53821	0,53824	0,53827	0,5381	0,5381	0,53804	0,538178
		обратный	0,53816	0,5383	0,53819	0,53823	0,53811	0,53834	0,53839	0,5381	0,5381	0,53809	0,538196
1,0	0,6	прямой	0,59767	0,59754	0,59758	0,59766	0,59777	0,59751	0,59763	0,5975	0,5975	0,59764	0,597602
		обратный	0,59759	0,59761	0,59773	0,59758	0,59781	0,59767	0,59768	0,5976	0,5976	0,59763	0,597641
	0,1	прямой	0,09934	0,09928	0,09917	0,09939	0,09926	0,09919	0,09923	0,0993	0,0994	0,09941	0,099294
		обратный	0,09925	0,09936	0,09915	0,09941	0,09932	0,09927	0,0993	0,0993	0,0994	0,09934	0,099308
	0,2	прямой	0,19744	0,19738	0,19733	0,19751	0,19736	0,19741	0,19729	0,1973	0,1974	0,19731	0,197365
		обратный	0,19739	0,19732	0,19736	0,19746	0,19737	0,19738	0,19727	0,1973	0,1973	0,19738	0,197351
	0,3	прямой	0,29854	0,29848	0,29861	0,29848	0,29851	0,29856	0,2986	0,2985	0,2986	0,29859	0,298553
		обратный	0,29861	0,29853	0,29868	0,29861	0,29857	0,29864	0,29863	0,2986	0,2986	0,29864	0,298606
	0,4	прямой	0,39764	0,39758	0,39755	0,39761	0,39763	0,39758	0,39758	0,3976	0,3976	0,39765	0,397604
		обратный	0,39766	0,39761	0,39757	0,3976	0,39764	0,39762	0,39761	0,3977	0,3976	0,39766	0,397625
	0,5	прямой	0,49803	0,49801	0,498	0,4981	0,49806	0,49794	0,49796	0,498	0,498	0,49799	0,498002
		обратный	0,49797	0,49798	0,49799	0,49804	0,49807	0,49798	0,49798	0,498	0,498	0,49802	0,497996
	0,6	прямой	0,59476	0,59468	0,59469	0,59471	0,59473	0,59466	0,5947	0,5947	0,5946	0,59454	0,594676
		обратный	0,59478	0,59471	0,59471	0,59469	0,59474	0,59467	0,59474	0,5947	0,5946	0,59461	0,594702
	0,7	прямой	0,69628	0,69634	0,69631	0,69627	0,69632	0,69627	0,69629	0,6962	0,6963	0,69632	0,696287
		обратный	0,69634	0,69626	0,69628	0,69629	0,69636	0,69629	0,69631	0,6963	0,6963	0,69635	0,6963
	0,8	прямой	0,79538	0,79534	0,79536	0,79529	0,79534	0,79536	0,79538	0,7953	0,7954	0,79532	0,795343
		обратный	0,79541	0,79538	0,79537	0,79534	0,79538	0,79542	0,79542	0,7954	0,7954	0,79532	0,795379

Таблица 6 – Результаты измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_b , МПа	Ход	Результаты измерений избыточного давления калибратором P_{ij} , МПа										Среднее значение $P_{i\text{cp}}$, МПа
			P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_{i4}	P_{i5}	P_{i6}	P_{i7}	P_{i8}	P_{i9}	P_{i10}	
1,0	0,9	прямой	0,88967	0,88964	0,88961	0,88963	0,88968	0,88962	0,88961	0,8896	0,8897	0,88964	0,889639
		обратный	0,88964	0,88967	0,88963	0,88967	0,88971	0,88966	0,88967	0,8897	0,8897	0,88968	0,889671
	1	прямой	0,98274	0,98225	0,98248	0,98256	0,98283	0,98244	0,98284	0,9825	0,9828	0,98281	0,982624
		обратный	0,9833	0,98243	0,9828	0,98286	0,98312	0,98239	0,98217	0,9821	0,9833	0,98325	0,982772
1,6	0,16	прямой	0,15974	0,15971	0,15973	0,15971	0,1597	0,15969	0,15977	0,1597	0,1597	0,15973	0,1597178
		обратный	0,15976	0,15974	0,15975	0,15972	0,15967	0,15976	0,1597	0,1597	0,1597	0,15977	0,159723
	0,32	прямой	0,3187	0,3189	0,3188	0,3184	0,3185	0,3186	0,3182	0,3181	0,3186	0,3183	0,31851
		обратный	0,3189	0,3189	0,3187	0,3185	0,3187	0,3184	0,3186	0,3182	0,3189	0,3186	0,31864
	0,48	прямой	0,4794	0,4792	0,4795	0,4791	0,4792	0,4793	0,4789	0,479	0,4796	0,4791	0,47923
		обратный	0,4796	0,4791	0,4792	0,4793	0,4795	0,4794	0,4793	0,4791	0,4797	0,4793	0,47935
	0,64	прямой	0,6364	0,6361	0,6365	0,6367	0,6362	0,6364	0,6361	0,6359	0,6359	0,6361	0,63623
		обратный	0,6367	0,6365	0,6367	0,6368	0,6363	0,6367	0,6361	0,6369	0,6359	0,6367	0,63653
	0,8	прямой	0,7997	0,7993	0,7992	0,7998	0,7991	0,7992	0,7994	0,7991	0,7993	0,7995	0,79936
		обратный	0,7998	0,7991	0,7996	0,7994	0,7996	0,7998	0,7992	0,7996	0,7998	0,7993	0,79952
	0,96	прямой	0,9562	0,9567	0,9561	0,9568	0,9567	0,9561	0,9564	0,9568	0,9568	0,9568	0,95654
		обратный	0,9564	0,9569	0,9564	0,9567	0,9568	0,9567	0,9568	0,9563	0,9567	0,9569	0,95666
	1,28	прямой	1,2786	1,2782	1,2784	1,2786	1,2782	1,2786	1,2784	1,2783	1,2784	1,2781	1,27838
		обратный	1,2784	1,2786	1,2783	1,2789	1,2781	1,2783	1,2781	1,2783	1,2783	1,2788	1,27841
	1,44	прямой	1,4376	1,4376	1,4372	1,4378	1,4371	1,4376	1,4375	1,4371	1,4373	1,4372	1,4374
		обратный	1,4373	1,4371	1,4376	1,4378	1,4372	1,4379	1,4378	1,4377	1,4374	1,4372	1,4375
	1,6	прямой	1,5983	1,5986	1,5984	1,5984	1,5987	1,5983	1,5986	1,5981	1,5984	1,5982	1,5984
		обратный	1,5983	1,5984	1,5982	1,5983	1,5986	1,5988	1,5987	1,5984	1,5987	1,5989	1,59853
2,4	0,25	прямой	0,2478	0,2476	0,2475	0,2472	0,2471	0,2476	0,2479	0,2481	0,2479	0,2478	0,24765
		обратный	0,2473	0,2471	0,2475	0,2476	0,2471	0,2471	0,2479	0,2478	0,2479	0,2471	0,24744
	0,5	прямой	0,4964	0,4967	0,4961	0,4965	0,4967	0,4963	0,4967	0,4961	0,4963	0,4968	0,49646
		обратный	0,4967	0,4961	0,4968	0,4962	0,4961	0,4968	0,4966	0,4967	0,4964	0,4961	0,49645

Таблица 6 – Результаты измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_i , МПа	Ход	Результаты измерений избыточного давления калибратором P_{ij} , МПа										Среднее значение $P_{i, \text{ср}}$, МПа
			P_{i1}	P_{i2}	P_{i3}	P_{i4}	P_{i5}	P_{i6}	P_{i7}	P_{i8}	P_{i9}	P_{i10}	
2,4	0,75	прямой	0,7482	0,7484	0,7489	0,7488	0,749	0,7486	0,7482	0,7481	0,7483	0,7486	0,74851
		обратный	0,7481	0,7482	0,7486	0,7489	0,7488	0,7487	0,7486	0,7482	0,7483	0,7489	0,74853
	1	прямой	0,9996	0,9997	0,9998	0,9992	0,9987	0,9988	0,9991	0,9994	0,9987	0,9988	0,99918
		обратный	0,9992	0,9989	0,9994	0,9997	0,9989	0,9989	0,999	0,9993	0,9996	0,9997	0,99926
	1,25	прямой	1,2476	1,2472	1,2475	1,2478	1,2479	1,2477	1,2471	1,2473	1,2472	1,2475	1,24748
		обратный	1,2479	1,248	1,2481	1,248	1,2479	1,2476	1,2478	1,2478	1,2479	1,2476	1,24786
	1,5	прямой	1,4987	1,4986	1,4981	1,4983	1,4982	1,4981	1,499	1,4983	1,4986	1,4983	1,49842
		обратный	1,4986	1,4982	1,4984	1,4986	1,4979	1,4978	1,4986	1,4981	1,4989	1,4987	1,49838
	1,75	прямой	1,7471	1,7476	1,7475	1,7473	1,7472	1,7475	1,7472	1,7479	1,7475	1,7478	1,74746
		обратный	1,7478	1,7479	1,7473	1,7475	1,7478	1,7476	1,748	1,7483	1,7481	1,7486	1,74789
	2	прямой	1,9987	1,9984	1,9983	1,9989	1,9981	1,9982	1,9985	1,9987	1,9982	1,9984	1,99844
		обратный	1,9991	1,9987	1,9987	1,9995	1,9983	1,9985	1,9989	1,9991	1,9987	1,9985	1,9988
	2,25	прямой	2,2464	2,2467	2,2465	2,2463	2,2467	2,2461	2,2463	2,2469	2,2468	2,2467	2,24654
		обратный	2,247	2,2469	2,2468	2,2467	2,2465	2,2469	2,2468	2,2471	2,2473	2,2468	2,24688
	2,4	прямой	2,3952	2,3956	2,3957	2,396	2,3961	2,3953	2,3951	2,3955	2,3947	2,3949	2,39541
		обратный	2,3944	2,3958	2,3959	2,3963	2,3957	2,3959	2,3957	2,3961	2,3952	2,3956	2,39566

Таблица 7 – Результаты оценивания неопределенности измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_i , МПа	Среднее значение $P_{i, \text{ср}}$, МПа	Составляющие неопределенности u_c , МПа					Суммарная неопредел. u_c , МПа	Расширенная неопредел. U_p , МПа	Расширенная неопредел., приведенная к ВПИ, U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}	u_{B3}	u_{B4}				
-0,1	-0,01	-0,0099	0,000015438	0,0000029	0,0000087	0,0000014	0,00000866	0,00001997	0,0000399	0,039937451	0,10
	-0,02	-0,0200	0,000004955	0,0000058	0,0000087	0,0000029	0,00000346	0,00001238	0,00002475	0,024756593	
	-0,03	-0,0298	0,000013728	0,0000087	0,0000087	0,0000043	-0,00001645	0,00002506	0,000050117	0,050117639	
	-0,04	-0,0398	0,000033427	0,0000115	0,0000087	0,0000058	0,00000693	0,00003751	0,00007502	0,075019997	
	-0,05	-0,0499	0,000006532	0,0000144	0,0000087	0,0000072	-0,00000693	0,00002064	0,000041283	0,041283572	
	-0,06	-0,0598	0,000017525	0,0000173	0,0000087	0,0000087	-0,00001992	0,00003397	0,000067937	0,067937062	

Таблица 7 – Результаты оценивания неопределенности измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_i , МПа	Среднее значение P_{i_cp} , МПа	Составляющие неопределенности u_c , МПа					Суммарная неопредел. u_c , МПа	Расширенная неопредел. U_p , МПа	Расширенная неопредел., приведенная к ВПИ, U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}	u_{B3}	u_{B4}				
-0,1	-0,07	-0,0698	0,000010954	0,0000202	0,0000087	0,0000101	-0,00003031	0,00004030	0,000080601	0,080601902	0,10
	-0,08	-0,0797	0,000040000	0,0000231	0,0000087	0,0000115	-0,00000866	0,00004916	0,000098319	0,098319208	
	-0,09	-0,0898	0,000016401	0,0000260	0,0000087	0,0000130	0,00003204	0,00004706	0,00009411	0,094116949	
	-0,1	-0,0989	0,000020301	0,0000289	0,0000087	0,0000144	0,00001732	0,00004276	0,000085528	0,085528423	
0,4	0,04	0,0399	0,000009911	0,0000115	0,0000087	0,0000058	-0,00001039	0,00002116	0,000042326	0,010581693	0,08
	0,08	0,0790	0,000016546	0,0000231	0,0000087	0,0000115	-0,00000866	0,00003302	6,60438E-05	0,016510939	
	0,12	0,1196	0,000079286	0,0000346	0,0000087	0,0000173	-0,00003724	0,00009617	0,000192333	0,048083189	
	0,16	0,1590	0,000018212	0,0000462	0,0000087	0,0000231	0,00001905	0,00005862	0,00011724	0,029310123	
	0,2	0,1990	0,000041947	0,0000577	0,0000087	0,0000289	-0,00001212	0,00007841	0,000156821	0,0392053	
	0,24	0,2395	0,000068977	0,0000693	0,0000087	0,0000346	-0,00009873	0,00014346	0,000286913	0,071728268	
	0,28	0,2795	0,000078559	0,0000808	0,0000087	0,0000404	-0,00003377	0,00012472	0,000249431	0,062357783	
	0,32	0,3196	0,000067548	0,0000924	0,0000087	0,0000462	0,00007794	0,00014622	0,000292433	0,073108367	
	0,36	0,3597	0,000020450	0,0001039	0,0000087	0,0000520	0,00005889	0,00013214	0,000264282	0,066070459	
	0,4	0,3987	0,000079317	0,0001155	0,0000087	0,0000577	-0,00002685	0,00015412	0,000308244	0,077061078	
0,6	0,06	0,0597	0,000060315	0,0000173	0,0000087	0,0000087	-0,00000520	0,00006415	0,000128295	0,021382467	0,07
	0,12	0,1196	0,000169859	0,0000346	0,0000087	0,0000173	-0,00009873	0,00020043	0,00040087	0,066811602	
	0,18	0,1794	0,000050204	0,0000520	0,0000087	0,0000260	-0,00000260	0,00007731	0,000154625	0,025770773	
	0,24	0,2387	0,000041189	0,0000693	0,0000087	0,0000346	-0,00002511	0,00009166	0,000183328	0,030554697	
	0,3	0,2983	0,000041333	0,0000866	0,0000087	0,0000433	-0,00002598	0,00010878	0,000217563	0,036260546	
	0,36	0,3578	0,000016330	0,0001039	0,0000087	0,0000520	0,00002598	0,00012049	0,00024097	0,04016171	
	0,42	0,4195	0,000042506	0,0001212	0,0000087	0,0000606	0,00005369	0,00015212	0,000304235	0,050705882	
	0,48	0,4784	0,000031632	0,0001386	0,0000087	0,0000693	0,00005889	0,00016895	0,000337897	0,056316127	
	0,54	0,5382	0,000036460	0,0001559	0,0000087	0,0000779	0,00001559	0,00017895	0,000357896	0,059649284	
	0,6	0,5976	0,000027681	0,0001732	0,0000087	0,0000866	0,00003377	0,00019870	0,000397401	0,06623357	
1,0	0,1	0,0993	0,000026043	0,0000289	0,0000087	0,0000144	0,00001212	0,00004407	0,000088133	0,008813374	0,08
	0,2	0,1974	0,000023106	0,0000577	0,0000087	0,0000289	-0,00001212	0,00007016	0,000140322	0,014032185	
	0,3	0,2986	0,000016401	0,0000866	0,0000087	0,0000433	0,00004590	0,00010875	0,000217493	0,021749253	

Таблица 7 – Результаты оценивания неопределенности измерений избыточного давления и давления разрежения

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка P_i , МПа	Среднее значение P_{i_cp} , МПа	Составляющие неопределенности u_c , МПа					Суммарная неопредел. u_c , МПа	Расширенная неопредел. U_p , МПа	Расширенная неопредел., приведенная к ВПИ, U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}	u_{B3}	u_{B4}				
1,0	0,4	0,3976	0,000010022	0,0001155	0,0000087	0,0000577	0,00001819	0,00013105	0,000262091	0,026209053	0,08
	0,5	0,4980	0,000015762	0,0001443	0,0000087	0,0000722	-0,00000520	0,00016246	0,000324913	0,032491298	
	0,6	0,5947	0,000019732	0,0001732	0,0000087	0,0000866	0,00002252	0,00019614	0,000392282	0,039228221	
	0,7	0,6963	0,000012202	0,0002021	0,0000087	0,0001010	0,00001126	0,00022670	0,000453397	0,045339742	
	0,8	0,7954	0,000010269	0,0002309	0,0000087	0,0001155	0,00003118	0,00026042	0,000520842	0,052084205	
	0,9	0,8897	0,000007520	0,0002598	0,0000087	0,0001299	0,00002771	0,00029202	0,000584036	0,058403615	
	1	0,9827	0,000145287	0,0002887	0,0000087	0,0001443	0,00012817	0,00037653	0,000753069	0,075306869	
1,6	0,16	0,1597	0,000012115	0,0000462	0,0000087	0,0000231	0,00000450	0,00005393	0,000107865	0,006741574	0,07
	0,32	0,3186	0,000082260	0,0000924	0,0000866	0,0000462	0,00011258	0,00019393	0,000387857	0,024241085	
	0,48	0,4793	0,000070000	0,0001386	0,0000866	0,0000693	0,00010392	0,00021726	0,000434511	0,027156951	
	0,64	0,6364	0,000103333	0,0001848	0,0000866	0,0000924	0,00025981	0,00035825	0,000716504	0,044781491	
	0,8	0,7994	0,000081377	0,0002309	0,0000866	0,0001155	0,00013856	0,00031621	0,00063242	0,039526275	
	0,96	0,9566	0,000096839	0,0002771	0,0000866	0,0001386	0,00010392	0,00035168	0,000703357	0,043959814	
	1,28	1,2784	0,000086217	0,0003695	0,0000866	0,0001848	0,00002598	0,00043160	0,000863192	0,053949484	
	1,44	1,4375	0,000093095	0,0004157	0,0000866	0,0002078	0,00008660	0,00048956	0,000979115	0,061194703	
	1,6	1,5985	0,000076085	0,0004619	0,0000866	0,0002309	0,00011258	0,00054095	0,001081907	0,067619172	
2,4	0,25	0,2475	0,000108730	0,0000722	0,0000866	0,0000361	-0,00018187	0,00024271	0,000485418	0,020225747	0,08
	0,5	0,4965	0,000095743	0,0001443	0,0000866	0,0000722	-0,00000866	0,00020684	0,000413683	0,017236777	
	0,75	0,7485	0,000100499	0,0002165	0,0000866	0,0001083	0,00001732	0,00027658	0,00055315	0,02304792	
	1	0,9992	0,000134825	0,0002887	0,0000866	0,0001443	0,00006928	0,00036694	0,000733879	0,030578274	
	1,25	1,2477	0,000086667	0,0003608	0,0000866	0,0001804	0,00032909	0,00053486	0,001069713	0,044571379	
	1,5	1,4984	0,000115277	0,0004330	0,0000866	0,0002165	-0,00003464	0,00050632	0,001012648	0,042193658	
	1,75	1,7477	0,000121518	0,0005052	0,0000866	0,0002526	0,00037239	0,00069279	0,001385571	0,057732145	
	2	1,9986	0,000112546	0,0005774	0,0000866	0,0002887	0,00031177	0,00073078	0,001461552	0,060897987	
	2,25	2,2467	0,000081921	0,0006495	0,0000866	0,0003248	0,00029445	0,00079263	0,001585251	0,066052108	
	2,4	2,3955	0,000168127	0,0007217	0,0000866	0,0003608	0,00021651	0,00085655	0,001713106	0,071379431	

3.4 Разработка комплектов документов для аттестации манометра «МО-05»

После того, как была разработана методика и выполнена калибровка с оцениванием неопределенности измерений, все результаты которой были сведены в обобщающую таблицу и приведены в работе, можно приступить к разработке комплекта документов для аттестации манометра «МО-05». К документам, необходимым для аттестации эталонов, относятся:

- Паспорт эталона;
- Правила содержания и применения эталона;
- Характеристики эталона.

Содержание Паспорта эталона приведено на в разделе 2.4.1 на рисунке 22, Правил содержания и применения эталона – в разделе 2.4.2 на рисунке 23. Следует отметить, что Правила содержания и применения эталона содержат раздел «Методика периодической аттестации эталона», которая подразумевает под собой периодический контроль за состоянием эталона. Одним из средств контроля за их состоянием является проведение калибровочных работ.

Содержание Характеристики эталона рассмотрено в разделе 2.4.3 и представлено на рисунке 24. В Характеристиках указывают, к какому разряду возможно отнести аттестуемый эталон с обоснованием в виде ссылок на действующие нормативно-правовые акты, регламентирующие присвоение разрядности. Для средств измерений избыточного давления и давления-разрежения в настоящее время действует ГОСТ 8.802-2012 [34].

Все вышеперечисленные документы составляют единый комплект документов, который используется в дальнейшем при аттестации эталона. Полный комплект документов для аттестации манометра «МО-05» приведен в Приложении Б выпускной работы.

4 Калибровка и аттестация калибратора «Fluke 5520A»

После рассмотрения теоретической части данной темы, проведенного анализа нормативно-правовой базы в области обеспечения единства измерений, содержащей необходимые требования к аттестации эталонов, можно перейти к практической реализации. В связи с этим данная глава посвящена описанию порядка проведения калибровки калибратора «Fluke 5520A» (калибратора), будут рассмотрены его основные метрологические характеристики, которые подлежали определению в процессе калибровки, определено место калибратора в поверочной схеме для каждой единицы величины.

Также в данной главе будет рассмотрен проект методики калибровки калибратора, на основе которой была проведена калибровка, представлен протокол результатов калибровки с составленным бюджетом неопределенности, и, в завершении, приведен проект комплекта документов для аттестации калибратора.

4.1 Основные метрологические характеристики калибратора «Fluke 5520A»

Калибратор «Fluke 5520A» предназначен для высокоточного воспроизведения напряжения, силы и мощности постоянного и переменного тока, электрического сопротивления, электрической емкости, формирования моделирующих сигналов датчиков температуры на основе термопар и терморезисторов, сигналов синусоидальной, прямоугольной, треугольной формы.

Калибратор применяется для поверки (калибровки) и метрологических исследований широкой номенклатуры группы приборов и устройств измерительного типа и могут использоваться в качестве автоматизированного средства при поверке, разработке, производстве и эксплуатации СИ в различных отраслях промышленности.

Рекомендуемый межкалибровочный интервал – 1 год.

Калибратор является средством измерений утвержденного типа (номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений 29282-05), имеет описание типа и утвержденную методику поверки МП-322/447-2012 «Методика поверки. Калибраторы многофункциональные Fluke 5520A».

В целях обеспечения единства измерений при проведении калибровочных работ в подразделениях Томского политехнического университета для научных и лабораторных исследований Fluke «5520A» планируется использовать в качестве рабочего эталона единиц электрических величин, приведенных выше. Следовательно, на данный калибратор может быть разработана методика калибровки, предназначенная для определения метрологических характеристик, и комплект документов для аттестации эталона.

Внешний вид калибратора представлен на рисунке 25.

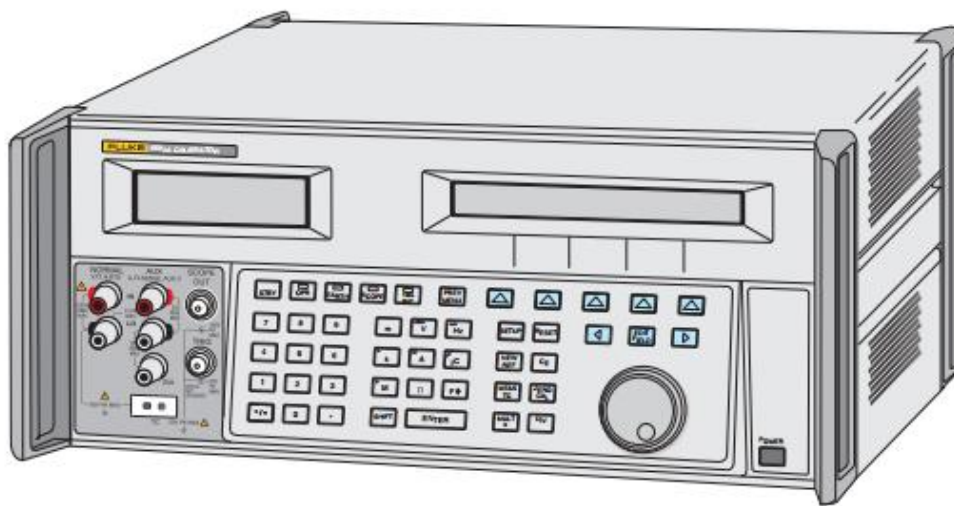


Рисунок 25 – Внешний вид калибратора «Fluke 5520A»

Калибратор – микропроцессорный прибор генераторного типа, обладающий возможностью автоматической калибровки по внутриприборным мерам, самодиагностикой, стандартными интерфейсами IEEE-488, RS-232.

Принцип действия калибратора основан на автоматическом управлении встроенными прецизионными источниками сигналов различной формы, опорными из которых являются источник напряжения постоянного тока,

кварцевый генератор частоты, термопреобразователь напряжения переменного тока в постоянное, набор высокоточных и высокостабильных резисторов. Форма сигналов сложной формы по заданным оператором значениям амплитуды и фазы гармонических составляющих рассчитывается программно при помощи алгоритмов преобразования Фурье. Имеется возможность записи сигналов, состоящих из набора гармонических составляющих напряжения или тока, в память калибратора, с последующим их воспроизведением на выходных разъемах прибора.

Основные метрологические характеристики калибратора, необходимые для проведения калибровки в целях аттестации в качестве эталона приведены в методике калибровки Приложении 4.

Согласно [18] для того, чтобы подготовить эталон к аттестации, необходимо определить его место в схеме передачи размера единицы конкретной величины. Такая схема может быть разработана на основе государственной поверочной схемы средств измерений единицы величины рассмотренная в следующем разделе.

4.2 Схемы передачи размера единиц электрических величин

При составлении схемы передачи единиц электрических величин были использованы следующие нормативные документы:

- ГОСТ 8.027-2001 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы [38];
- ГОСТ 8.022-91 ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А [39];
- ГОСТ Р 8.648-2015 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц [40];

- ГОСТ Р 8.832-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ [41];

- Приказ Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления [42].

Согласно [38] для калибратора «Fluke 5520A» была разработана схема передачи размера единицы электрического напряжения постоянного тока для калибратора, представленная на рисунке 26.

Из анализа данной схемы можно сделать вывод о том, что при передаче единицы напряжения постоянного электрического тока калибратор может являться рабочим эталоном первого разряда.

В качестве рабочего эталона первого разряда используют меры ЭДС и (или) меры напряжения на стабилитронах с номинальными значениями 1 В и 10 В, а также меры напряжения от 10 до 1000 В.

Доверительные границы относительных погрешностей δ_0 рабочего эталона первого разряда при доверительной вероятности 0,95 не должны превышать $(0,2 - 0,7) \cdot 10^{-6}$ для мер ЭДС и мер напряжения на стабилитронах с номинальными значениями 1 В и 10 В и $(0,2 - 1,0) \cdot 10^{-6}$ для мер напряжения от 10 до 1000 В (в зависимости от диапазона).

Рабочие эталоны первого разряда применяют для поверки рабочих эталонов второго разряда, а также для поверки и калибровки рабочих СИ классов точности от 0,0005 до 0,002 сличением с помощью компаратора.

Согласно [39] для калибратора «Fluke 5520A» была разработана схема передачи размера единицы силы постоянного электрического тока для калибратора, представленная на рисунке 27. Из анализа данной схемы можно сделать вывод о том, что при передаче единицы силы постоянного электрического тока калибратор может являться рабочим эталоном первого разряда.

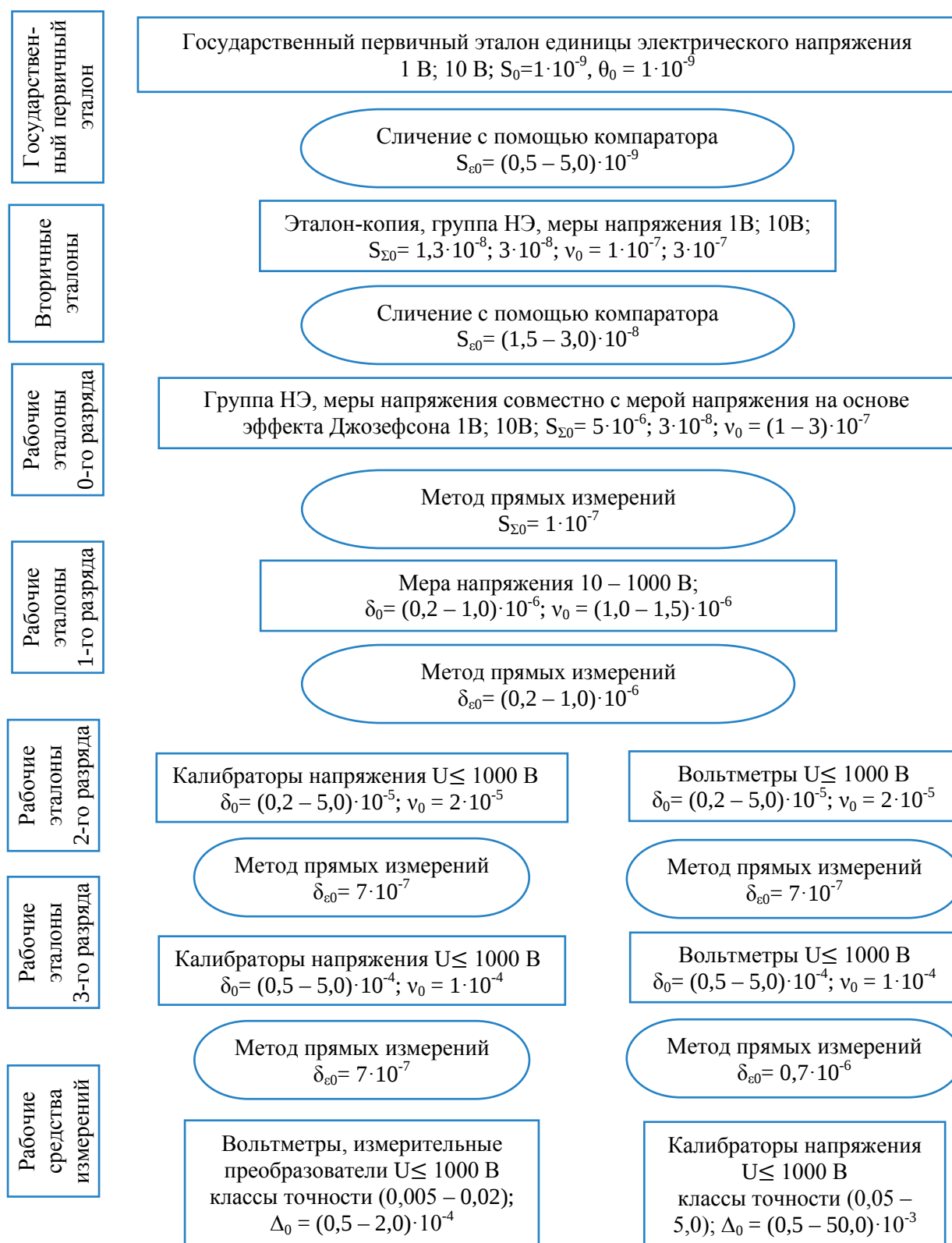


Рисунок 26 – Схема передачи размера единицы напряжения постоянного электрического тока

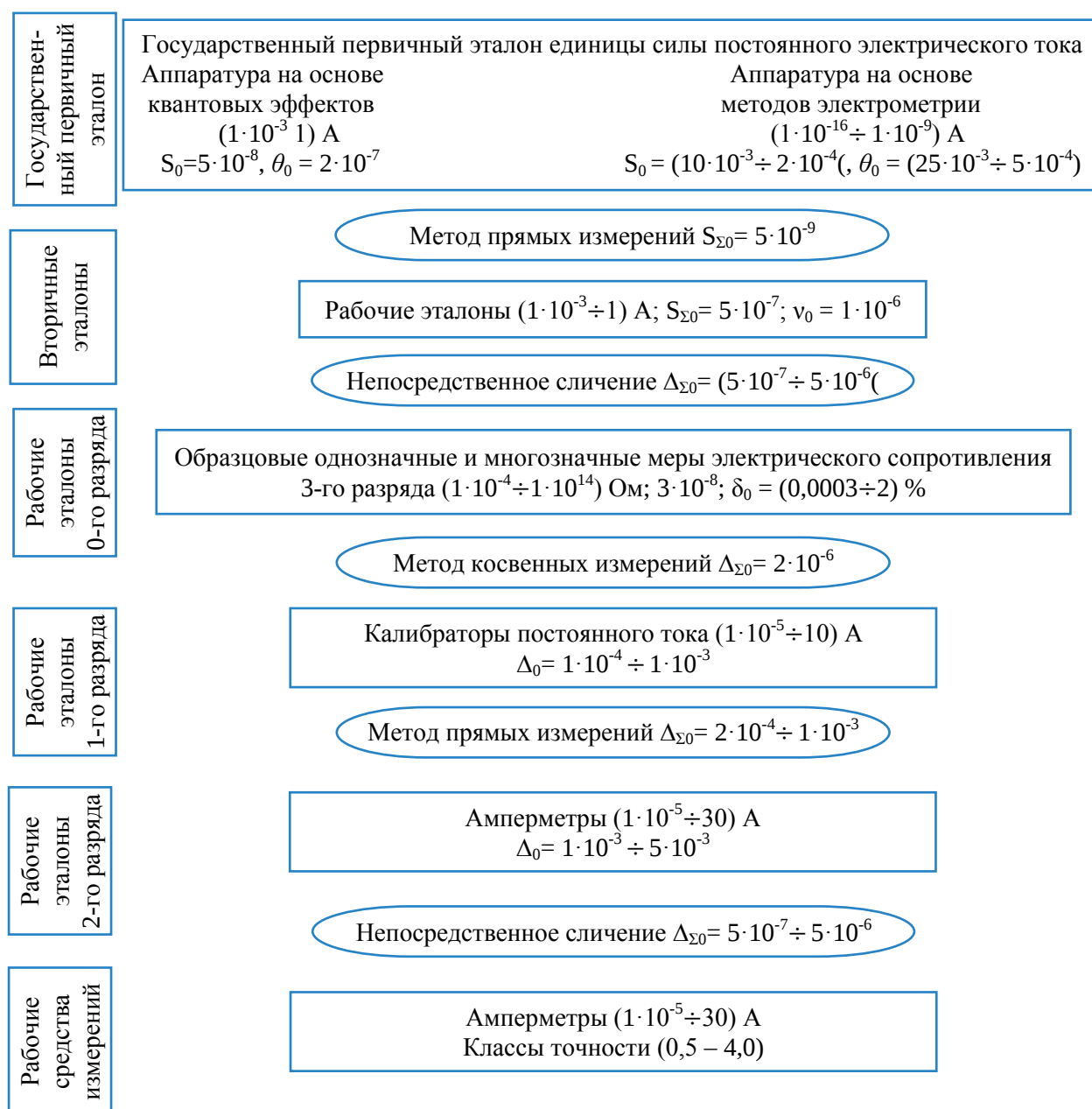


Рисунок 27 – Схема передачи размера единицы силы постоянного электрического тока

В качестве рабочего эталона первого разряда применяют меры и калибраторы постоянного тока в диапазоне $(1 \cdot 10^{-5} \div 2) \text{ A}$; амперметры в диапазоне $(1 \cdot 10^{-5} \div 2) \text{ A}$; поверочные установки (потенциометрические и с калибраторами тока) в диапазоне $(1 \cdot 10^{-6} \div 30) \text{ A}$, калибраторы постоянного тока в диапазоне $(1 \cdot 10^{-5} \div 10) \text{ A}$, поверочные установки для СИ малых постоянных токов в диапазоне $(1 \cdot 10^{-15} \div 1 \cdot 10^{-5}) \text{ A}$.

Рабочие эталоны первого разряда применяют для проверки рабочих эталонов второго разряда, а также для проверки и калибровки рабочих СИ

методами прямых измерений, непосредственным сличением и сличением при помощи компаратора.

Согласно [40] для калибратора «Fluke 5520A» была разработана схема передачи размера единицы переменного электрического напряжения для калибратора представленная на рисунке 28.

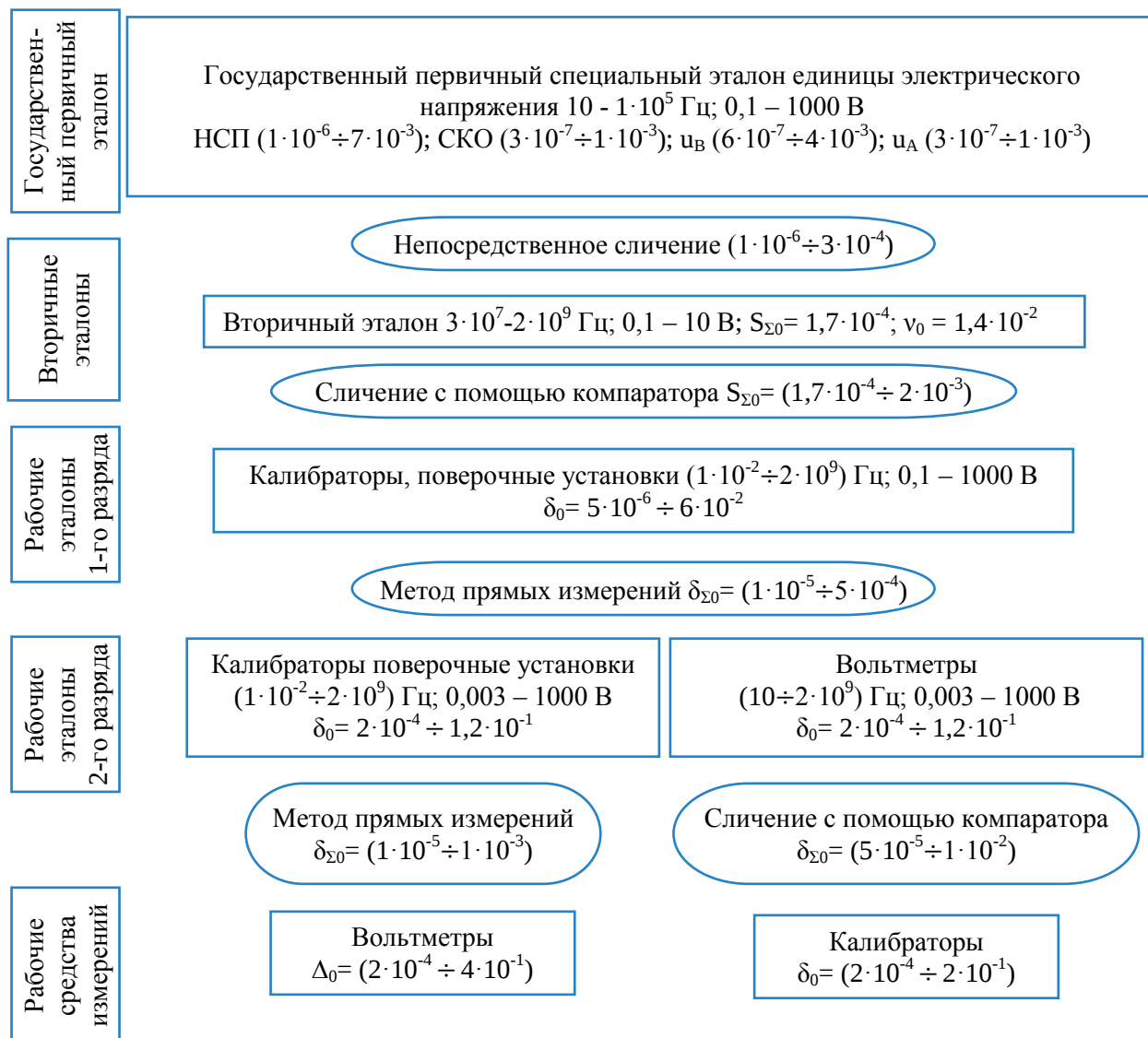


Рисунок 28 – Схема передачи размера единицы переменного электрического напряжения

Из анализа данной схемы можно сделать вывод о том, что при передаче единицы переменного электрического напряжения калибратор может являться рабочим эталоном первого разряда.

В качестве рабочего эталона первого разряда используют измерительные преобразователи, калибраторы, поверочные установки и вольтметры в

диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц для диапазона напряжений от 0,003 до 1000 В. Пределы допускаемых относительных доверительных погрешностей δ_0 при доверительной вероятности 0,95 за интервал между поверками не должны превышать ($5 \cdot 10^{-5}$ - $6 \cdot 10^{-2}$).

Рабочие эталоны первого разряда для поверки рабочих эталонов второго разряда, а также для поверки и калибровки рабочих СИ методами прямых измерений, непосредственным сличением и сличением при помощи компаратора.

Соотношение пределов допускаемых относительных доверительных погрешностей рабочего эталона первого разряда и пределов допускаемых относительных доверительных погрешностей рабочего эталона второго разряда должно быть не более 1/2.

Согласно [41] для калибратора «Fluke 5520A» была разработана схема передачи размера единицы электрического напряжения переменного тока для калибратора, представленная на рисунке 29.

Из анализа схемы можно сделать вывод о том, что при передаче единицы электрического напряжения переменного тока калибратор может являться рабочим эталоном первого разряда.

В качестве рабочего эталона первого разряда используют измерительные системы высокого напряжения переменного тока, измерительные преобразователи высокого напряжения.

Пределы допускаемых относительных доверительных погрешностей составляют от 0,1 % до 0,5 %.

Рабочие эталоны первого разряда для поверки рабочих эталонов второго разряда, а также для поверки и калибровки рабочих СИ методом непосредственного сличения.

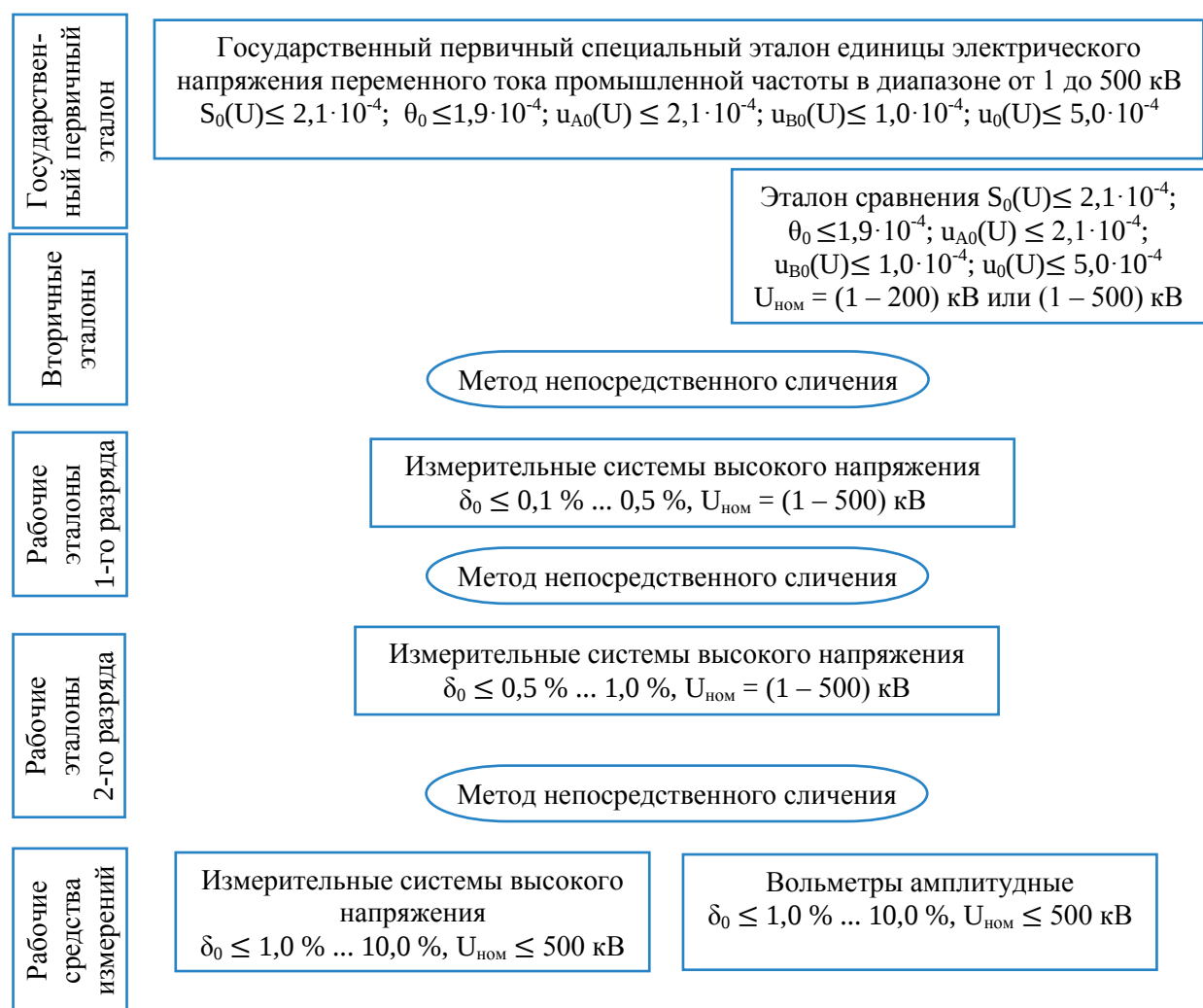


Рисунок 29 – Схема передачи размера единицы электрического напряжения переменного тока

4.3 Разработка методики калибровки калибратора «Fluke 5520A»

Проект методики калибровки калибратора «Fluke 5520A» приведен в Приложении В выпускной работы. Результаты опробования методики приведены для следующих электрических величин:

- напряжения постоянного тока (таблицы 8 и 9);
- силы постоянного тока (таблицы 10 и 11);
- напряжения переменного тока (таблицы 12 и 13);
- силы переменного тока (таблицы 14 и 15);
- электрического сопротивления по постоянному току (таблицы 16 и

17).

Таблица 8 – Результаты измерений напряжения постоянного тока U_0

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение X_{i_cp} , ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
330 мВ	100 мВ	99,99824	99,99819	99,99818	99,99817	99,99827	99,99812	99,99819	99,99501	99,9933	99,99829	99,997396
	200 мВ	199,966	199,9968	199,9968	199,9967	199,9968	199,9968	199,9968	199,9997	199,9968	199,9967	199,9939788
	300 мВ	299,9955	299,9955	299,9956	299,9955	299,9956	299,9955	299,9954	299,9956	299,9955	299,9956	299,995521
3,3 В	1 В	0,999988	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,99999	0,9999899
	2 В	1,999981	1,999981	1,999981	1,999981	1,999981	1,999981	1,999981	1,99998	1,99998	1,99998	1,99998067
	3 В	2,999973	2,999974	2,999974	2,999974	2,999974	2,999974	2,999975	2,999974	2,999975	2,999974	2,99997399
33 В	10 В	9,999948	9,999949	9,999945	9,999949	9,999944	9,999945	9,999949	9,999942	9,999947	9,999948	9,99994646
	20 В	19,99987	19,99988	19,99987	19,9999	19,99989	19,99988	19,9999	19,99989	19,99989	19,9999	19,9998874
	30 В	29,99987	29,99984	29,99982	29,99983	29,99984	29,99984	29,99984	29,99987	29,99984	29,99984	29,9998427
330 В	100 В	99,99967	99,99965	99,99964	99,99967	99,99966	99,99965	99,99967	99,99965	99,9997	99,99966	99,9996614
	200 В	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999	199,9999075
	300 В	299,9985	299,9986	299,9986	299,9986	299,9985	299,9985	299,9985	299,9986	299,9986	299,9986	299,998554
1020 В	400 В	399,9986	399,9986	399,9986	399,9986	399,9985	399,9985	399,9985	399,9986	399,9986	399,9986	399,998564
	600 В	599,9939	599,9942	599,994	599,9941	599,9945	599,9941	599,9943	599,9943	599,994	599,9942	599,994164
	800 В	799,9911	799,9911	799,9914	799,9911	799,9915	799,9912	799,9911	799,9915	799,9915	799,9914	799,991267

Таблица 9 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения постоянного тока U_0

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины				Суммарная неопредел. u_c , единица величины	Расширенная неопредел. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}	u_{B3}				
330 мВ	100 мВ	99,99740	0,000555222	0,000346406	0,000008660	0,004041437	0,00409	0,00819	0,0082	0,009
	200 мВ	199,99398	0,003122121	0,000173373	0,000000087	0,004618767	0,00558	0,01116	0,0056	
	300 мВ	299,99552	0,000021158	0,000259977	0,000000009	0,005196127	0,00520	0,01041	0,0035	
3,3 В	1 В	0,99999	0,000000175	0,000000577	0,000000009	0,000040414	0,00004	0,00008	0,0081	0,009
	2 В	1,99998	0,000000145	0,000000866	0,000000087	0,000046188	0,00005	0,00009	0,0046	
	3 В	2,99997	0,000000171	0,000001155	0,000000087	0,000051961	0,00005	0,00010	0,0035	
33 В	10 В	9,99995	0,000000818	0,000003175	0,000000087	0,000404145	0,00040	0,00081	0,0081	0,009
	20 В	19,99989	0,000003697	0,000046188	0,000000866	0,000461880	0,00046	0,00093	0,0046	

Таблица 9 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения постоянного тока U_+

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины				Суммарная неопредел. u_c , единица величины	Расширенная неопредел. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}	u_{B3}				
	30 В	29,99984	0,000004969	0,000060622	0,000000866	0,000519614	0,00052	0,00105	0,0035	
330 В	100 В	99,99966	0,000005685	0,000161658	0,000000866	0,012124354	0,01213	0,02425	0,0243	0,025
	200 В	199,99991	0,000001344	0,000346410	0,000000866	0,012701705	0,01271	0,02541	0,0127	
	300 В	299,99855	0,000016546	0,000490746	0,000008660	0,013279048	0,01329	0,02658	0,0089	
1020 В	400 В	399,99856	0,000015217	0,000635083	0,000008660	0,013856398	0,01387	0,02774	0,0069	0,007
	600 В	599,99416	0,000056059	0,000923752	0,000008660	0,015011073	0,01504	0,03008	0,0050	
	800 В	799,99127	0,000053997	0,001212423	0,000008660	0,016165757	0,01621	0,03242	0,0041	

Таблица 10 – Результаты измерений силы постоянного тока I_+

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение X_{i_cp} , ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
330 мкА	100 мкА	99,99	99,99023	99,9905	99,99036	99,99013	99,99032	99,99021	99,99029	99,9905	99,99017	99,990271
	200 мкА	199,989	199,9891	199,9882	199,9981	199,9994	199,9902	199,997	199,8901	199,9894	199,9889	199,98294
	300 мкА	299,9862	299,9864	299,9863	299,986	299,9862	299,9854	299,9856	299,9866	299,9856	299,9876	299,98619
3,3 мА	1 мА	1,000059	1,000061	1,000059	1,000057	1,00006	1,000059	1,000056	1,000056	1,000059	1,00006	1,00005854
	2 мА	2,000109	2,000118	2,000094	2,000117	2,000096	2,000102	2,000105	2,000106	2,000112	2,000095	2,0001054
	3 мА	3,000168	3,000166	3,000178	3,00018	3,000169	3,000167	3,000176	3,000164	3,000162	3,000163	3,0001693
33 мА	10 мА	10,00085	10,00086	10,00086	10,00086	10,00087	10,00086	10,00087	10,00086	10,00086	10,00086	10,000861
	20 мА	20,00001	19,99983	19,99989	19,99984	19,99981	19,99989	19,99962	19,99998	20,00000	19,99986	19,999873
	30 мА	30,00000	30,00003	30,00006	29,99989	30,00006	30,00016	30,0001	30,00005	29,99999	30,00001	30,000035
330 мА	100 мА	99,99842	99,99853	99,99856	99,99847	99,99844	99,99841	99,99832	99,9983	99,99836	99,99842	99,998423
	200 мА	200,0015	200,0002	200,0001	199,9994	200,0004	199,9993	199,9998	200,0001	199,9997	199,9998	200,00003
	300 мА	300,0032	300,003	300,0041	300,0038	300,0035	300,0039	300,0045	300,0044	300,0036	300,0042	300,00382
1,1 А	0,4 А	0,399966	0,399965	0,399964	0,399966	0,399965	0,399968	0,399966	0,399965	0,399965	0,399966	0,39996558
	0,6 А	0,599962	0,599963	0,599964	0,599965	0,599964	0,599965	0,599964	0,599963	0,599965	0,599964	0,59996384
	0,8 А	0,799962	0,799965	0,799961	0,799964	0,799965	0,799965	0,799965	0,799964	0,799965	0,799963	0,79996396

Таблица 11 – Результаты оценивания неопределенности измерений силы постоянного тока I_0

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины				Суммарная неопредел. u_c , единица величины	Расширенная неопредел. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}	u_{B3}				
330 мкА	100 мкА	99,99027	0,0000499	0,0005796	0,00000866	0,000000002	0,00058	0,00116	0,0012	0,011
	200 мкА	199,98294	0,0104111	0,0011569	0,00086603	0,000000002	0,01051	0,02102	0,0105	
	300 мкА	299,98619	0,0001991	0,0017343	0,00086603	0,000000002	0,00195	0,00390	0,0013	
3,3 мА	1 мА	1,00006	0,0000005	0,0000289	0,00000009	0,000000017	0,00003	0,00006	0,0058	0,006
	2 мА	2,00011	0,0000028	0,0000346	0,00000087	0,000000017	0,00003	0,00007	0,0035	
	3 мА	3,00017	0,0000020	0,0000404	0,00000087	0,000000017	0,00004	0,00008	0,0027	
33 мА	10 мА	10,00086	0,0000020	0,0003753	0,00000087	0,000000173	0,00038	0,00075	0,0075	0,008
	20 мА	19,99987	0,0000362	0,0005196	0,00000866	0,000000173	0,00052	0,00104	0,0052	
	30 мА	30,00004	0,0000227	0,0006640	0,00000866	0,000000173	0,00066	0,00133	0,0044	
330 мА	100 мА	99,99842	0,0000264	0,0057792	0,00000866	0,000001732	0,00578	0,01156	0,0116	0,012
	200 мА	200,00003	0,0001967	0,0115528	0,00008660	0,000001732	0,01155	0,02311	0,0116	
	300 мА	300,00382	0,0001576	0,0173265	0,00008660	0,000001732	0,01733	0,03465	0,0116	
1,1 А	0,4 А	0,39997	0,0000003	0,0000289	0,00000009	0,000017321	0,00003	0,00007	0,0168	0,017
	0,6 А	0,59996	0,0000003	0,0000404	0,00000009	0,000017321	0,00004	0,00009	0,0147	
	0,8 А	0,79996	0,0000005	0,0000520	0,00000009	0,000017321	0,00005	0,00011	0,0137	

Таблица 12 – Результаты измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение X_{i_cp} , ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
33 мВ, 45 Гц	10 мВ	10,9982	10,998	10,9981	10,9981	10,9978	10,9978	10,9981	10,998	10,9978	10,9981	10,998
	20 мВ	20,9902	20,9903	20,9903	20,9902	20,9904	20,9902	20,9901	20,9902	20,9905	20,9903	20,99027
	30 мВ	30,9849	30,985	30,9849	30,9848	30,9851	30,985	30,985	30,9851	30,9851	30,9852	30,98501
33 мВ, 5 кГц	10 мВ	10,9994	10,9991	10,9991	10,9993	10,9991	10,9992	10,999	10,999	10,9992	10,9992	10,99916
	20 мВ	20,9921	20,9922	20,9923	20,9925	20,9924	20,9923	20,9924	20,9922	20,9922	20,9926	20,99232
	30 мВ	30,9873	30,9875	30,9875	30,9875	30,9874	30,9875	30,9875	30,9873	30,9873	30,9873	30,98741
33 мВ, 10 кГц	10 мВ	10,9999	10,9995	10,9995	10,9993	10,9996	10,9993	10,9996	10,9995	10,9995	10,9994	10,99951
	20 мВ	20,9928	20,9929	20,9928	20,9929	20,9928	20,9927	20,9928	20,9929	20,9928	20,9929	20,99283
	30 мВ	30,9973	30,997	30,997	30,9972	30,9972	30,9971	30,997	30,997	30,9968	30,9969	30,99705

Таблица 12 – Результаты измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i\text{ ср}}$, ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
33 мВ, 25 кГц	10 мВ	10,0028	10,0028	10,0028	10,003	10,0027	10,003	10,0028	10,0028	10,0029	10,0026	10,00282
	20 мВ	19,9999	20	19,9999	20	19,9999	19,9999	19,9999	20,0001	20	19,9998	19,99994
	30 мВ	29,9972	29,997	29,9972	29,9971	29,9973	29,9969	29,9972	29,9972	29,9971	29,9971	29,99713
33 мВ, 50 кГц	10 мВ	9,9974	9,9972	9,9972	9,9971	9,9971	9,9971	9,9972	9,9971	9,9971	9,997	9,99715
	20 мВ	19,994	19,9941	19,9942	19,994	19,9941	19,994	19,994	19,9941	19,9943	19,994	19,99408
	30 мВ	29,9911	29,9909	29,9909	29,9912	29,9912	29,9911	29,9913	29,991	29,9911	29,9911	29,99109
33 мВ, 100 кГц	10 мВ	9,9768	9,977	9,997	9,997	9,9768	9,977	9,9771	9,997	9,9769	9,9771	9,98297
	20 мВ	19,976	19,976	19,9758	19,9757	19,9759	19,976	19,9758	19,976	19,9759	19,9758	19,97589
	30 мВ	29,9731	29,9731	29,973	29,9729	29,9733	29,9734	29,9733	29,9731	29,9729	29,9732	29,97313
330 мВ, 45 Гц	100 мВ	99,998	99,978	99,978	99,979	99,978	99,977	99,978	99,978	99,98	99,976	99,98
	200 мВ	199,907	199,905	199,908	199,907	199,906	199,906	199,903	199,906	199,907	199,909	199,9064
	300 мВ	299,851	299,853	299,852	299,858	299,855	299,854	299,853	299,855	299,855	299,856	299,8542
330 мВ, 5 кГц	100 мВ	99,993	99,991	99,994	99,993	99,993	99,995	99,991	99,99	99,993	99,993	99,9926
	200 мВ	199,925	199,928	199,925	199,924	199,926	199,925	199,927	199,927	199,925	199,926	199,9258
	300 мВ	299,879	299,882	299,88	299,881	299,879	299,881	299,882	299,877	299,88	299,881	299,8802
330 мВ, 10 кГц	100 мВ	99,993	99,994	99,991	99,991	99,991	99,99	99,991	99,992	99,992	99,994	99,9919
	200 мВ	199,928	199,928	199,928	199,928	199,928	199,927	199,927	199,926	199,927	199,929	199,9276
	300 мВ	299,884	299,883	299,883	299,882	299,882	299,881	299,883	299,882	299,884	299,881	299,8825
330 мВ, 25 кГц	100 мВ	99,981	99,983	99,985	99,983	99,981	99,984	99,982	99,983	99,984	99,982	99,9828
	200 мВ	199,929	199,932	199,931	199,93	199,93	199,927	199,93	199,93	199,929	199,93	199,9298
	300 мВ	299,893	299,892	299,895	299,894	299,893	299,895	299,493	299,894	299,893	299,894	299,8536
330 мВ, 50 кГц	100 мВ	99,917	99,916	99,916	99,915	99,916	99,917	99,917	99,918	99,918	99,919	99,9169
	200 мВ	199,875	199,874	199,875	199,874	199,875	199,876	199,875	199,875	199,874	199,874	199,8747
	300 мВ	299,841	299,84	299,841	299,839	299,839	299,838	299,84	299,841	299,842	299,842	299,8403
330 мВ, 100 кГц	100 мВ	99,876	99,876	99,876	99,875	99,876	99,877	99,875	99,975	99,874	99,876	99,8856
	200 мВ	199,912	199,912	199,91	199,909	199,912	199,912	199,909	199,914	199,911	199,909	199,911
	300 мВ	299,871	299,872	299,97	299,869	299,871	299,874	299,873	299,873	299,87	299,871	299,8814
3,3 В, 45 Гц	1 В	0,999895	0,999887	0,99988	0,999883	0,999881	0,999883	0,999881	0,999877	0,999877	0,999884	0,9998828
	2 В	1,99942	1,99939	1,99939	1,99938	1,99937	1,99943	1,9994	1,99941	1,99937	1,99942	1,999398

Таблица 12 – Результаты измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i\text{ ср}}$, ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
	3 В	2,99891	2,99895	2,99896	2,99892	2,99891	2,99889	2,99892	2,99895	2,99893	2,99894	2,998928
3,3 В, 5 кГц	1 В	0,99996	0,999952	0,999954	0,999957	0,999956	0,999953	0,999952	0,999954	0,999954	0,999951	0,9999543
	2 В	1,99962	1,99957	1,99958	1,99954	1,99956	1,99958	1,99956	1,99957	1,99956	1,99955	1,999569
	3 В	2,99917	2,99919	2,99918	2,99916	2,99917	2,99919	2,99917	2,99918	2,99917	2,99918	2,999176
3,3 В, 15 кГц	1 В	1,00003	1,000029	1,000027	1,000028	1,000023	1,000019	1,00002	1,000023	1,000023	1,000019	1,0000241
	2 В	1,99954	1,99953	1,99953	1,99953	1,99953	1,99952	1,99954	1,99953	1,99954	1,99954	1,999533
	3 В	2,99916	2,99915	2,99914	2,99913	2,99914	2,99915	2,99915	2,99916	2,99914	2,99917	2,999149
3,3 В, 35 кГц	1 В	1,000133	1,000132	1,00013	1,000128	1,000126	1,000125	1,000124	1,000127	1,000129	1,00013	1,0001284
	2 В	1,99926	1,99925	1,99923	1,99924	1,99923	1,99924	1,99924	1,99925	1,99923	1,99924	1,999241
	3 В	2,9989	2,9989	2,9989	2,99889	2,99889	2,99891	2,99891	2,9989	2,99891	2,9989	2,998901
3,3 В, 75 кГц	1 В	1,000214	1,000206	1,000202	1,000203	1,000203	1,000199	1,000198	1,000199	1,000203	1,000205	1,0002032
	2 В	1,99808	1,99805	1,99806	1,99805	1,99804	1,99805	1,99804	1,99805	1,99805	1,99805	1,998052
	3 В	2,99778	2,99777	2,99778	2,99778	2,99779	2,99779	2,99779	2,99777	2,99777	2,99777	2,997779
3,3 В, 100 кГц	1 В	1,00316	1,00316	1,003163	1,003155	1,003149	1,003164	1,003151	1,00315	1,00315	1,003149	1,0031551
	2 В	1,99222	1,99225	1,99226	1,99225	1,99226	1,99226	1,99224	1,99224	1,99224	1,99224	1,992246
	3 В	2,99597	2,99601	2,99598	2,996	2,996	2,996	2,99599	2,996	2,996	2,996	2,995995
33 В, 45 Гц	10 В	10,001	10	9,9997	9,9997	9,9998	9,9996	9,9997	9,9997	9,9997	9,9999	9,99988
	20 В	19,9937	19,9937	19,9937	19,9937	19,9937	19,9937	19,9937	19,9937	19,9938	19,9938	19,99372
	30 В	29,9902	29,9902	29,9902	29,9901	29,99	29,9902	29,9901	29,9901	29,99	29,9901	29,99012
33 В, 10 кГц	10 В	10,0005	10,0004	10,0004	10,0005	10,0004	10,0004	10,0004	10,0003	10,0004	10,0004	10,00041
	20 В	19,9949	19,9948	19,9947	19,9948	19,9949	19,9949	19,9948	19,9948	19,9948	19,9948	19,99482
	30 В	29,9917	29,9917	29,9917	29,9916	29,9916	29,9917	29,9918	29,9916	29,9918	29,9917	29,99169
33 В, 15 кГц	10 В	9,9997	9,9996	9,9995	9,9994	9,9995	9,9995	9,9995	9,9994	9,9995	9,9994	9,9995
	20 В	19,9944	19,9945	19,9944	19,9944	19,9944	19,9944	19,9944	19,9944	19,9945	19,9944	19,99442
	30 В	29,9922	29,9922	29,9921	29,9922	29,9922	29,9922	29,9921	29,992	29,9921	29,992	29,99213
33 В, 35 кГц	10 В	9,9957	9,9957	9,9957	9,9955	9,9956	9,9956	9,9955	9,9956	9,9955	9,9956	9,9956
	20 В	19,9913	19,9912	19,9913	19,9913	19,9912	19,9911	19,9912	19,9912	19,9912	19,9913	19,99123
	30 В	29,9911	29,991	29,991	29,9911	29,9912	29,991	29,9912	29,9912	29,9912	29,9911	29,99111

Таблица 12 – Результаты измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i\text{ ср}}$, ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
33 В, 75 кГц	10 В	9,99813	9,99807	9,99806	9,99803	9,99802	9,99806	9,99801	9,99805	9,99807	9,99808	9,998058
	20 В	19,9795	19,9791	19,979	19,9791	19,979	19,9791	19,979	19,979	19,979	19,9789	19,97907
	30 В	29,9818	29,9818	29,9818	29,9818	29,9818	29,9818	29,9818	29,9818	29,9819	29,9817	29,9818
33 В, 100 кГц	10 В	9,9687	9,9689	9,969	9,9688	9,969	9,9689	9,969	9,9689	9,969	9,9689	9,96891
	20 В	19,9681	19,9679	19,9681	19,9681	19,9679	19,9681	19,9681	19,9683	19,9685	19,9684	19,96815
	30 В	29,9711	29,9714	29,9709	29,971	29,9708	29,9711	29,9709	29,9711	29,9706	29,9708	29,97097
330 В, 500 Гц	100 В	99,983	99,98	99,979	99,98	99,98	99,979	99,979	99,98	99,979	99,979	99,9798
	200 В	199,924	199,926	199,925	199,925	199,926	199,927	199,926	199,927	199,926	199,927	199,9259
	300 В	299,889	299,892	299,892	299,893	299,893	299,894	299,895	299,894	299,894	299,895	299,8931
330 В, 5 кГц	100 В	99,967	99,966	99,966	99,967	99,966	99,965	99,965	99,965	99,966	99,966	99,9659
	200 В	199,908	199,908	199,909	199,909	199,909	199,909	199,909	199,91	199,909	199,909	199,9089
	300 В	299,872	299,869	299,87	299,871	299,987	299,987	299,987	299,869	299,871	299,987	299,917
330 В, 10 кГц	100 В	99,963	99,965	99,964	99,963	99,965	99,964	99,963	99,964	99,964	99,963	99,9638
	200 В	199,9	199,9	199,899	199,901	199,9	199,9	199,899	199,9	199,903	199,9	199,9002
	300 В	299,859	299,862	299,859	299,861	299,859	299,857	299,86	299,861	299,863	299,861	299,8602
330 В, 35 кГц	100 В	99,901	99,897	99,899	99,898	99,898	99,898	99,897	99,898	99,897	99,898	99,8981
	200 В	199,841	199,842	199,843	199,843	199,843	199,843	199,844	199,845	199,844	199,845	199,8433
	300 В	299,878	299,878	299,878	299,877	299,879	299,878	299,878	299,878	299,878	299,877	299,8779
330 В, 75 кГц	100 В	99,983	99,98	99,979	99,98	99,98	99,979	99,979	99,98	99,979	99,979	99,9798
	200 В	199,908	199,908	199,909	199,909	199,909	199,909	199,909	199,91	199,909	199,909	199,9089
	300 В	299,856	299,858	299,858	299,858	299,859	299,858	299,86	299,86	299,862	299,861	299,859
330 В, 100 кГц	100 В	99,985	99,98	99,989	99,984	99,98	99,979	99,979	99,979	99,982	99,989	99,9826
	200 В	199,905	199,908	199,909	199,906	199,909	199,908	199,903	199,91	199,904	199,903	199,9065
	300 В	299,879	299,868	299,889	299,871	299,867	299,887	299,866	299,861	299,863	299,861	299,8712
1020 В, 500 Гц	400 В	399,857	399,858	399,856	399,857	399,859	399,858	399,859	399,857	399,857	399,857	399,8575
	600 В	599,842	599,84	599,841	599,84	599,839	599,841	599,84	599,842	599,843	599,845	599,8413
	800 В	799,873	799,875	799,874	799,874	799,875	799,875	799,876	799,874	799,872	799,874	799,8742
1020 В, 3 кГц	400 В	399,847	399,841	399,84	399,84	399,842	399,84	399,839	399,84	399,84	399,84	399,8409
	600 В	599,813	599,813	599,812	599,814	599,813	599,812	599,814	599,814	599,815	599,814	599,8134

Таблица 12 – Результаты измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i\text{ ср}}$, ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
1020 В, 7 кГц	800 В	799,837	799,837	799,836	799,833	799,838	799,835	799,836	799,837	799,835	799,835	799,8359
	400 В	399,82	399,827	399,821	399,82	399,821	399,82	399,819	399,818	399,82	399,822	399,8208
	600 В	799,865	799,866	799,866	799,865	799,867	799,867	799,865	799,868	799,866	799,867	799,8662
	800 В	799,865	799,866	799,866	799,865	799,867	799,867	799,865	799,868	799,866	799,867	799,8662
1020 В, 35 кГц	400 В	399,877	399,878	399,876	399,877	399,879	399,878	399,877	399,869	399,855	399,869	399,8735
	600 В	599,913	599,913	599,912	599,914	599,913	599,912	599,914	599,914	599,915	599,914	599,9134
	800 В	799,858	799,859	799,868	799,871	799,875	799,856	799,867	799,862	799,872	799,858	799,8646
1020 В, 75 кГц	400 В	399,867	399,851	399,849	399,858	399,873	399,865	399,863	399,847	399,866	399,853	399,8592
	600 В	599,863	599,868	599,852	599,869	599,857	599,862	599,854	599,848	599,859	599,865	599,8597
	800 В	799,937	799,948	799,938	799,937	799,946	799,945	799,939	799,937	799,935	799,935	799,9397
1020 В, 100 кГц	400 В	399,849	399,847	399,841	399,842	399,841	399,842	399,849	399,848	399,837	399,838	399,8434
	600 В	599,871	599,873	599,874	599,873	599,873	599,872	599,873	599,874	599,873	599,872	599,8728
	800 В	799,878	799,879	799,878	799,871	799,875	799,866	799,867	799,872	799,872	799,878	799,8736

Таблица 13 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение $X_{i\text{ ср}}$, единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
33 мВ, 45 Гц	10 мВ	10,9980	0,00004714	0,00159918	0,00008660	0,00160	0,0032	0,029	0,03
	20 мВ	20,9903	0,00003667	0,00200301	0,00008660	0,00201	0,0040	0,019	
	30 мВ	30,9850	0,00003786	0,00240694	0,00008660	0,00241	0,0048	0,016	
33 мВ, 5 кГц	10 мВ	10,9992	0,00004000	0,00159923	0,00008660	0,00160	0,0032	0,029	0,03
	20 мВ	20,9923	0,00004899	0,00200310	0,00008660	0,00201	0,0040	0,019	
	30 мВ	30,9874	0,00003145	0,00240704	0,00008660	0,00241	0,0048	0,016	
33 мВ, 10 кГц	10 мВ	10,9995	0,00005467	0,00159924	0,00008660	0,00160	0,0032	0,029	0,03
	20 мВ	20,9928	0,00002134	0,00200312	0,00008660	0,00201	0,0040	0,019	
	30 мВ	30,9971	0,00004773	0,00240743	0,00008660	0,00241	0,0048	0,016	

Таблица 13 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
33 мВ, 25 кГц	10 мВ	10,0028	0,00003887	0,00155896	0,00008660	0,00156	0,0031	0,031	0,04
	20 мВ	19,9999	0,00002667	0,00196299	0,00008660	0,00197	0,0039	0,020	
	30 мВ	29,9971	0,00003667	0,00236702	0,00008660	0,00237	0,0047	0,016	
33 мВ, 50 кГц	10 мВ	9,9972	0,00003416	0,00155873	0,00008660	0,00156	0,0031	0,031	0,04
	20 мВ	19,9941	0,00003266	0,00196275	0,00008660	0,00196	0,0039	0,020	
	30 мВ	29,9911	0,00004069	0,00236678	0,00008660	0,00237	0,0047	0,016	
33 мВ, 100 кГц	10 мВ	9,9830	0,00306177	0,00155816	0,00008660	0,00344	0,0069	0,069	0,07
	20 мВ	19,9759	0,00003480	0,00196202	0,00008660	0,00196	0,0039	0,020	
	30 мВ	29,9731	0,00005385	0,00236605	0,00008660	0,00237	0,0047	0,016	
330 мВ, 45 Гц	100 мВ	99,9800	0,00202759	0,00519534	0,00086603	0,00564	0,0113	0,011	0,02
	200 мВ	199,9064	0,00052068	0,00809067	0,00086603	0,00815	0,0163	0,008	
	300 мВ	299,8542	0,00064636	0,01213001	0,00086603	0,01218	0,0244	0,008	
330 мВ, 5 кГц	100 мВ	99,9926	0,00047610	0,00519585	0,00086603	0,00529	0,0106	0,011	0,02
	200 мВ	199,9258	0,00038873	0,00809145	0,00086603	0,00815	0,0212	0,011	
	300 мВ	299,8802	0,00048990	0,01213106	0,00086603	0,01217	0,0243	0,008	
330 мВ, 10 кГц	100 мВ	99,9919	0,00043333	0,00519583	0,00086603	0,00529	0,0106	0,011	0,02
	200 мВ	199,9276	0,00026667	0,00809152	0,00086603	0,00814	0,0163	0,008	
	300 мВ	299,8825	0,00034157	0,01213115	0,00086603	0,01217	0,0243	0,008	
330 мВ, 25 кГц	100 мВ	99,9828	0,00041633	0,00519546	0,00086603	0,00528	0,0106	0,011	0,03
	200 мВ	199,9298	0,00041633	0,00809161	0,00086603	0,00815	0,0163	0,008	
	300 мВ	299,8536	0,04006778	0,01212999	0,00086603	0,04187	0,0837	0,028	
330 мВ, 50 кГц	100 мВ	99,9169	0,00037859	0,00519279	0,00086603	0,00528	0,0106	0,011	0,02
	200 мВ	199,8747	0,00021344	0,00808939	0,00086603	0,00814	0,0163	0,008	
	300 мВ	299,8403	0,00042295	0,01212945	0,00086603	0,01217	0,0243	0,008	
330 мВ, 100 кГц	100 мВ	99,8856	0,00993669	0,00519153	0,00086603	0,01124	0,0225	0,023	0,03
	200 мВ	199,9110	0,00053748	0,00809085	0,00086603	0,00815	0,0163	0,008	
	300 мВ	299,8814	0,00985585	0,01213111	0,00086603	0,01565	0,0313	0,010	
3,3 В, 45 Гц	1 В	0,9999	0,00000167	0,00005196	0,00000087	0,00005	0,0001	0,010	0,02
	2 В	1,9994	0,00000680	0,00019627	0,00000866	0,00020	0,0004	0,020	

Таблица 13 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
	3 В	2,9989	0,00000696	0,00023667	0,00000866	0,00024	0,0005	0,016	
3,3 В, 5 кГц	1 В	1,0000	0,00000086	0,00015588	0,00000087	0,00016	0,0003	0,031	0,04
	2 В	1,9996	0,00000690	0,00019628	0,00000866	0,00020	0,0004	0,020	
	3 В	2,9992	0,00000306	0,00023668	0,00000866	0,00024	0,0005	0,016	
3,3 В, 15 кГц	1 В	1,0000	0,00000131	0,00015589	0,00000087	0,00016	0,0003	0,031	0,04
	2 В	1,9995	0,00000213	0,00019628	0,00000866	0,00020	0,0004	0,020	
	3 В	2,9991	0,00000379	0,00023668	0,00000866	0,00024	0,0005	0,016	
3,3 В, 35 кГц	1 В	1,0001	0,00000093	0,00015589	0,00000087	0,00016	0,0003	0,031	0,04
	2 В	1,9992	0,00000314	0,00019627	0,00000866	0,00020	0,0004	0,020	
	3 В	2,9989	0,00000233	0,00023667	0,00000866	0,00024	0,0005	0,016	
3,3 В, 75 кГц	1 В	1,0002	0,00000146	0,00015589	0,00000087	0,00016	0,0003	0,031	0,04
	2 В	1,9981	0,00000359	0,00019622	0,00000087	0,00020	0,0004	0,020	
	3 В	2,9978	0,00000277	0,00023662	0,00000866	0,00024	0,0005	0,016	
3,3 В, 100 кГц	1 В	1,0032	0,00000192	0,00015601	0,00000087	0,00016	0,0003	0,031	0,04
	2 В	1,9922	0,00000400	0,00019599	0,00000866	0,00020	0,0004	0,020	
	3 В	2,9960	0,00000373	0,00023655	0,00000866	0,00024	0,0005	0,016	
33 В, 45 Гц	10 В	9,9999	0,00012979	0,00230939	0,00008660	0,00231	0,0046	0,046	0,05
	20 В	19,9937	0,00001333	0,00346338	0,00008660	0,00346	0,0069	0,035	
	30 В	29,9901	0,00002494	0,00461766	0,00008660	0,00462	0,0092	0,031	
33 В, 10 кГц	10 В	10,0004	0,00001795	0,00230945	0,00008660	0,00231	0,0046	0,046	0,05
	20 В	19,9948	0,00002000	0,00346350	0,00008660	0,00346	0,0069	0,035	
	30 В	29,9917	0,00002333	0,00461784	0,00008660	0,00462	0,0092	0,031	
33 В, 15 кГц	10 В	9,9995	0,00002981	0,00230934	0,00008660	0,00231	0,0046	0,046	0,05
	20 В	19,9944	0,00001333	0,00346346	0,00008660	0,00346	0,0069	0,035	
	30 В	29,9921	0,00002603	0,00461789	0,00008660	0,00462	0,0092	0,031	
33 В, 35 кГц	10 В	9,9956	0,00002582	0,00230889	0,00008660	0,00231	0,0046	0,046	0,05
	20 В	19,9912	0,00002134	0,00346309	0,00008660	0,00346	0,0069	0,035	
	30 В	29,9911	0,00002769	0,00461778	0,00008660	0,00462	0,0092	0,031	

Таблица 13 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
33 В, 75 кГц	10 В	9,9981	0,00001083	0,00230918	0,00000866	0,00231	0,0046	0,046	0,05
	20 В	19,9791	0,00005175	0,00346168	0,00008660	0,00346	0,0069	0,035	
	30 В	29,9818	0,00001491	0,00461670	0,00008660	0,00462	0,0092	0,031	
33 В, 100 кГц	10 В	9,9689	0,00003145	0,00230581	0,00008660	0,00231	0,0046	0,046	0,05
	20 В	19,9682	0,00006191	0,00346042	0,00008660	0,00346	0,0069	0,035	
	30 В	29,9710	0,00007000	0,00461545	0,00008660	0,00462	0,0092	0,031	
330 В, 500 Гц	100 В	99,9798	0,00038873	0,01269937	0,00086603	0,01273	0,0255	0,025	0,17
	200 В	199,9259	0,00031447	0,16164096	0,00086603	0,16164	0,3233	0,162	
	300 В	299,8931	0,00056667	0,18472740	0,00086603	0,18473	0,3695	0,123	
330 В, 5 кГц	100 В	99,9659	0,00023333	0,01269777	0,00086603	0,01273	0,0255	0,025	0,17
	200 В	199,9089	0,00017951	0,16163704	0,00086603	0,16164	0,3233	0,162	
	300 В	299,9170	0,01905373	0,18473292	0,00086603	0,18571	0,3714	0,124	
330 В, 10 кГц	100 В	99,9638	0,00024944	0,01269753	0,00086603	0,01273	0,0255	0,025	0,17
	200 В	199,9002	0,00035901	0,16163503	0,00086603	0,16164	0,3233	0,162	
	300 В	299,8602	0,00055377	0,18471980	0,00008660	0,18472	0,3694	0,123	
330 В, 35 кГц	100 В	99,8981	0,00037859	0,01268994	0,00086603	0,01273	0,0255	0,025	0,17
	200 В	199,8433	0,00039581	0,16162189	0,00086603	0,16162	0,3232	0,162	
	300 В	299,8779	0,00017951	0,18472389	0,00086603	0,18473	0,3695	0,123	
330 В, 75 кГц	100 В	99,9798	0,00038873	0,01269937	0,00086603	0,01273	0,0255	0,025	0,17
	200 В	199,9089	0,00017951	0,16163704	0,00086603	0,16164	0,3233	0,162	
	300 В	299,8590	0,00055777	0,18471952	0,00086603	0,18472	0,3694	0,123	
330 В, 100 кГц	100 В	99,9826	0,00125786	0,01269970	0,00086603	0,01279	0,0256	0,026	0,17
	200 В	199,9065	0,00083333	0,16163648	0,00086603	0,16164	0,3233	0,162	
	300 В	299,8712	0,00326190	0,18472234	0,00086603	0,18475	0,3695	0,123	
1020 В, 500 Гц	400 В	399,8575	0,00030732	0,20781319	0,00086603	0,20782	0,4156	0,104	0,11
	600 В	599,8413	0,00055877	0,25399747	0,00086603	0,25400	0,5080	0,085	
	800 В	799,8742	0,00035901	0,30019309	0,00086603	0,30019	0,6004	0,075	
1020 В, 3 кГц	400 В	399,8409	0,00072188	0,20780935	0,00086603	0,20781	0,4156	0,104	0,11
	600 В	599,8134	0,00030551	0,25399103	0,00086603	0,25399	0,5080	0,085	

Таблица 13 – Результаты оценивания неопределенности измерений напряжения переменного тока $U_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
1020 В, 7 кГц	800 В	799,8359	0,00045826	0,30018424	0,00086603	0,30019	0,6004	0,075	0,11
	400 В	399,8208	0,00077172	0,20780471	0,00086603	0,20781	0,4156	0,104	
	600 В	799,8662	0,00032660	0,30019124	0,00086603	0,30019	0,6004	0,075	
	800 В	799,8662	0,00032660	0,30019124	0,00086603	0,30019	0,6004	0,075	
1020 В, 35 кГц	400 В	399,8735	0,00234876	0,20781688	0,00086603	0,20783	0,4157	0,104	0,11
	600 В	599,9134	0,00030551	0,25401412	0,00086603	0,25402	0,5080	0,085	
	800 В	799,8646	0,00216128	0,30019087	0,00086603	0,30020	0,6004	0,075	
1020 В, 75 кГц	400 В	399,8592	0,00280000	0,20781358	0,00086603	0,20783	0,4157	0,104	0,11
	600 В	599,8597	0,00220126	0,25400172	0,00086603	0,25401	0,5080	0,085	
	800 В	799,9397	0,00151327	0,30020821	0,00086603	0,30021	0,6004	0,075	
1020 В, 100 кГц	400 В	399,8434	0,00142361	0,20780993	0,00086603	0,20782	0,4156	0,104	0,11
	600 В	599,8728	0,00029059	0,25400474	0,00086603	0,25401	0,5080	0,085	
	800 В	799,8736	0,00149963	0,30019295	0,00086603	0,30020	0,6004	0,075	

Таблица 14 – Результаты измерений силы переменного тока $I_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение X_{i_cp} , единица величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
330 мкА, 20 Гц	100 мкА	99,9573	99,9575	99,9572	99,9574	99,9577	99,9571	99,9573	99,9569	99,9579	99,9576	99,95739
	200 мкА	199,9773	199,9769	199,9764	199,9767	199,9761	199,9758	199,976	199,9766	199,9758	199,9761	199,97637
	300 мкА	300,0552	300,0555	300,0554	300,0551	300,0557	300,0554	300,0549	300,0558	300,0558	300,0554	300,05542
330 мкА, 45 Гц	100 мкА	100,000	99,9999	100,0002	100,0005	100,0004	100,0007	100,0003	100,0007	100,0004	100,0001	100,00032
	200 мкА	200,0656	200,0653	200,0666	200,0664	200,0662	200,0663	200,0665	200,0665	200,0664	200,0662	200,0662
	300 мкА	300,1943	300,1945	300,1938	300,1943	300,1944	300,1941	300,194	300,1936	300,1939	300,1938	300,19407
330 мкА, 500 Гц	100 мкА	100,0095	100,0092	100,0082	100,0089	100,0082	100,0085	100,0091	100,0094	100,0086	100,0077	100,00873
	200 мкА	200,082	200,0826	200,0827	200,0827	200,0825	200,0828	200,0826	200,0824	200,0819	200,0815	200,08237
	300 мкА	300,02	300,023	300,025	300,024	300,021	300,02	300,022	300,023	300,021	300,023	300,0222

Таблица14 – Результаты измерений силы переменного тока $I_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, единица величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
330 мкА, 3 кГц	100 мкА	100,186	100,186	100,185	100,185	100,183	100,185	100,183	100,182	100,183	100,183	100,1841
	200 мкА	200,089	200,089	200,089	200,091	200,092	200,093	200,092	200,092	200,095	200,092	200,0914
	300 мкА	300,061	300,061	300,065	300,066	300,067	300,068	300,067	300,067	300,067	300,064	300,0653
330 мкА, 7 кГц	100 мкА	100,177	100,178	100,175	100,178	100,179	100,179	100,183	100,18	100,181	100,181	100,1791
	200 мкА	200,08	200,084	200,084	200,084	200,084	200,085	200,082	200,081	200,08	200,083	200,0827
	300 мкА	300,143	300,147	300,146	300,142	300,146	300,143	300,146	300,146	300,145	300,147	300,1451
330 мкА, 20 кГц	100 мкА	100,024	100,025	100,023	100,021	100,022	100,026	100,025	100,022	100,02	100,025	100,0233
	200 мкА	199,843	199,846	199,842	199,843	199,843	199,844	199,842	199,84	199,843	199,841	199,8427
	300 мкА	299,879	299,878	299,877	299,88	299,881	299,88	299,879	299,882	299,882	299,88	299,8798
3,3 мА, 20 Гц	1 мА	0,999788	0,999766	0,999796	0,999798	0,99978	0,999798	0,999799	0,999803	0,999798	0,999795	0,9997921
	2 мА	2,000444	2,000451	2,000455	2,000449	2,00045	2,0005	2,000444	2,000443	2,000441	2,00044	2,0004517
	3 мА	3,001853	3,001861	3,001862	3,001865	3,00186	3,00186	3,001864	3,00186	3,001859	3,001859	3,0018603
3,3 мА, 45 Гц	1 мА	1,000227	1,000216	1,000219	1,000221	1,000216	1,000208	1,000216	1,000221	1,000224	1,000217	1,0002185
	2 мА	2,001367	2,001353	2,001354	2,001361	2,001358	2,001359	2,001358	2,001356	2,001355	2,001351	2,0013572
	3 мА	3,003317	3,003321	3,00332	3,003321	3,00332	3,003316	3,003318	3,003311	3,003305	3,003308	3,0033157
3,3 мА, 500 Гц	1 мА	1,000333	1,000325	1,000323	1,000321	1,000319	1,000319	1,000319	1,000314	1,000313	1,000313	1,0003199
	2 мА	2,001553	2,001549	2,001549	2,001547	2,001554	2,001553	2,001559	2,001551	2,001559	2,001555	2,0015529
	3 мА	3,003599	3,003598	3,003591	3,003594	3,003598	3,003602	3,003602	3,003599	3,0036	3,003601	3,0035984
3,3 мА, 3 кГц	1 мА	1,000335	1,000327	1,000327	1,000325	1,000327	1,000329	1,000329	1,000331	1,00033	1,000331	1,0003291
	2 мА	2,001529	2,001527	2,001531	2,001534	2,001539	2,001541	2,001539	2,001539	2,001538	2,001542	2,0015359
	3 мА	3,003524	3,00354	3,003534	3,003537	3,003529	3,003532	3,003535	3,003535	3,003532	3,003529	3,0035327
3,3 мА, 7 кГц	1 мА	1,00051	1,000499	1,000502	1,000503	1,000501	1,000502	1,0005	1,000499	1,000499	1,000501	1,0005016
	2 мА	2,001816	2,001818	2,001817	2,001814	2,001819	2,001817	2,00182	2,001824	2,001823	2,001824	2,0018192
	3 мА	3,003913	3,003912	3,003915	3,003916	3,003913	3,003912	3,003918	3,003913	3,003908	3,003913	3,0039133
3,3 мА, 20 кГц	1 мА	1,001019	1,001024	1,001024	1,00103	1,00103	1,001028	1,001029	1,001029	1,001033	1,001035	1,0010281
	2 мА	2,002713	2,00271	2,002713	2,002707	2,00271	2,002711	2,002706	2,002707	2,002712	2,002714	2,0027103
	3 мА	3,004404	3,004391	3,004392	3,004394	3,004398	3,004402	3,004405	3,004406	3,004399	3,004398	3,0043989
33 мА, 20 Гц	10 мА	9,99623	9,99621	9,99622	9,99624	9,99624	9,99626	9,99625	9,99623	9,99626	9,99626	9,99624
	20 мА	20,0016	20,0016	20,00167	20,00163	20,0017	20,00175	20,00174	20,00174	20,0017	20,00174	20,001687

Таблица14 – Результаты измерений силы переменного тока $I_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, единица величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
	30 мА	30,01486	30,01495	30,01495	30,015	30,01502	30,01501	30,01506	30,01514	30,01511	30,01508	30,015018
33 мА, 45 Гц	10 мА	10,00093	10,00089	10,00087	10,00087	10,00091	10,00086	10,00079	10,00083	10,00084	10,00077	10,000856
	20 мА	20,01111	20,01115	20,01116	20,01114	20,01114	20,01116	20,01114	20,01118	20,01117	20,01118	20,011153
	30 мА	30,02979	30,02969	30,02978	30,02976	30,02977	30,02972	30,02975	30,02971	30,02975	30,02973	30,029745
33 мА, 500 Гц	10 мА	10,0019	10,00187	10,00183	10,00183	10,00179	10,00184	10,00182	10,00183	10,00186	10,00185	10,001842
	20 мА	20,01308	20,01311	20,0131	20,01309	20,01303	20,01305	20,01304	20,01307	20,01306	20,01308	20,013071
	30 мА	30,03259	30,03252	30,0326	30,03261	30,03259	30,03259	30,03256	30,03262	30,0327	30,03266	30,032604
33 мА, 3 кГц	10 мА	10,0017	10,0016	10,00158	10,0016	10,00156	10,0016	10,00157	10,00156	10,00151	10,00149	10,001577
	20 мА	20,01185	20,01182	20,01193	20,0119	20,01188	20,01186	20,01185	20,01183	20,01185	20,01179	20,011856
	30 мА	30,03038	30,0304	30,03035	30,03035	30,03041	30,03039	30,03035	30,03031	30,03039	30,03045	30,030378
33 мА, 7 кГц	10 мА	10,00213	10,00198	10,00197	10,00198	10,00197	10,00198	10,00198	10,00199	10,00195	10,00198	10,001991
	20 мА	20,01194	20,01206	20,0121	20,01209	20,01207	20,0121	20,01217	20,01214	20,01207	20,01209	20,012083
	30 мА	30,031	30,031	30,03099	30,03106	30,03104	30,031	30,03102	30,03105	30,03101	30,03096	30,031013
33 мА, 20 кГц	10 мА	10,00392	10,00374	10,00373	10,00373	10,00367	10,00367	10,00366	10,00367	10,00367	10,00362	10,003708
	20 мА	20,01522	20,01523	20,01528	20,01534	20,01536	20,01533	20,01531	20,0154	20,01536	20,01541	20,015324
	30 мА	30,03351	30,03348	30,03355	30,03362	30,03368	30,03365	30,03361	30,03366	30,03365	30,03363	30,033604
330 мА, 20 Гц	100 мА	99,9642	99,9646	99,9646	99,9652	99,9649	99,9651	99,9647	99,9648	99,965	99,9658	99,96489
	200 мА	200,0257	200,0253	200,0254	200,0252	200,0251	200,0255	200,025	200,025	200,0254	200,0254	200,0253
	300 мА	300,1664	300,1654	300,1654	300,1656	300,1661	300,1658	300,1654	300,1656	300,1658	300,1658	300,16573
330 мА, 45 Гц	100 мА	100,0107	100,0109	100,0106	100,0107	100,0105	100,0099	100,0098	100,0095	100,0098	100,0096	100,0102
	200 мА	200,063	200,054	200,054	200,054	200,052	200,053	200,054	200,053	200,053	200,053	200,0543
	300 мА	299,979	299,978	299,979	299,979	299,981	299,98	299,981	299,982	299,983	299,982	299,9804
330 мА, 500 Гц	100 мА	100,0181	100,0185	100,0187	100,0184	100,0184	100,0181	100,0182	100,018	100,0183	100,0178	100,01825
	200 мА	200,087	200,082	200,08	200,082	200,083	200,083	200,08	200,083	200,079	200,081	200,082
	300 мА	300,017	300,017	300,016	300,02	300,018	300,018	300,016	300,016	300,019	300,019	300,0176
330 мА, 3 кГц	100 мА	100,0149	100,0178	100,0178	100,0174	100,0175	100,0174	100,0176	100,0174	100,0173	100,0172	100,01723
	200 мА	200,085	200,083	200,084	200,082	200,084	200,083	200,085	200,082	200,083	200,083	200,0834
	300 мА	300,014	300,013	300,012	300,013	300,019	300,014	300,013	300,014	300,014	300,014	300,014

Таблица14 – Результаты измерений силы переменного тока $I_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, единица величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
330 мА, 7 кГц	100 мА	100,0271	100,0273	100,0272	100,0275	100,0272	100,0274	100,0272	100,0273	100,027	100,0269	100,02721
	200 мА	200,148	200,1484	200,1486	200,1482	200,1485	200,1485	200,1482	200,1476	200,1478	200,1481	200,14819
	300 мА	300,149	300,134	300,13	300,129	300,133	300,131	300,132	300,13	300,132	300,128	300,1328
330 мА, 20 кГц	100 мА	100,0608	100,0606	100,0615	100,0613	100,0606	100,0603	100,0604	100,0598	100,0595	100,0601	100,06049
	200 мА	200,1964	200,1964	200,1965	200,1964	200,1964	200,1961	200,1967	200,1969	200,1967	200,1969	200,19654
	300 мА	300,0332	300,0331	300,0332	300,0329	300,0323	300,0328	300,0324	300,0326	300,032	300,0326	300,03271
1,1 А, 45 Гц	0,6 А	0,599947	0,599943	0,599945	0,599944	0,599937	0,59994	0,599945	0,59995	0,599949	0,599951	0,5999451
	0,8А	0,799965	0,799969	0,799964	0,799957	0,79996	0,799959	0,799965	0,799963	0,799965	0,799964	0,7999631
	1,0 А	1,000034	1,000036	1,000043	1,000041	1,000039	1,00004	1,000043	1,000035	1,000036	1,000039	1,0000386
1,1 А, 500 Гц	0,6 А	0,599981	0,599975	0,599972	0,599977	0,599974	0,599982	0,599978	0,599968	0,599973	0,599977	0,5999757
	0,8А	0,799989	0,799994	0,799997	0,799996	0,799995	0,799989	0,799997	0,799995	0,799992	0,800001	0,7999945
	1,0 А	1,00009	1,000088	1,000082	1,000089	1,000084	1,000083	1,000082	1,00009	1,000083	1,000085	1,0000856
1,1 А, 3 кГц	0,6 А	0,599995	0,599992	0,599991	0,599989	0,599994	0,599988	0,599991	0,599988	0,599989	0,59999	0,5999907
	0,8А	0,799984	0,799987	0,799987	0,799986	0,799984	0,79999	0,799983	0,799984	0,799991	0,799991	0,7999867
	1,0 А	1,000023	1,000016	1,000024	1,000032	1,000033	1,000034	1,000038	1,000034	1,000032	1,000031	1,0000297
1,1 А, 7 кГц	0,6 А	0,6016	0,601601	0,601595	0,601592	0,601591	0,601591	0,601592	0,60159	0,601587	0,601593	0,6015932
	0,8А	0,802365	0,802363	0,802358	0,802362	0,802366	0,802368	0,802366	0,802364	0,802369	0,802371	0,8023652
	1,0 А	1,000279	1,0002799	1,0002816	1,0002814	1,0002813	1,0002813	1,0002816	1,0002815	1,0002819	1,0002828	1,00028123

Таблица 15 – Результаты оценивания неопределенности измерений силы переменного тока $I_{\sim}$

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, единица величины	Составляющие неопределенности $u_{\text{с}}$, единица величины			Суммарная неопределен. $u_{\text{с}}$, единица величины	Расширенная неопределен. $U_{\text{с}}$, единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
330 мкА, 20 Гц	100 мкА	99,957	0,00009363	0,05194676	0,000086603	0,0519469	0,104	0,10	0,2
	200 мкА	199,976	0,00015780	0,03475239	0,000086603	0,0347529	0,070	0,03	
	300 мкА	300,055	0,00009404	0,05208659	0,000086603	0,0520868	0,104	0,03	
330 мкА, 45 Гц	100 мкА	100,000	0,00008667	0,05196164	0,000086603	0,0519618	0,104	0,10	0,2
	200 мкА	200,066	0,00013333	0,03476795	0,000086603	0,0347683	0,070	0,03	

Таблица 15 – Результаты оценивания неопределенности измерений силы переменного тока I.

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
	300 мкА	300,194	0,00009434	0,05211061	0,000086603	0,0521108	0,104	0,03	
330 мкА, 500 Гц	100 мкА	100,009	0,00018622	0,01743749	0,000086603	0,0174387	0,035	0,03	0,1
	200 мкА	200,082	0,00013503	0,03477075	0,000086603	0,0347711	0,070	0,03	
	300 мкА	300,022	0,00053333	0,05208084	0,000866025	0,0520908	0,104	0,03	
330 мкА, 3 кГц	100 мкА	100,184	0,00045826	0,01746787	0,000866025	0,0174953	0,035	0,03	0,1
	200 мкА	200,091	0,00061824	0,03477232	0,000866025	0,0347886	0,070	0,03	
	300 мкА	300,065	0,00080346	0,05208830	0,000866025	0,0521017	0,104	0,03	
330 мкА, 7 кГц	100 мкА	100,179	0,00072188	0,01746700	0,000866025	0,0175033	0,035	0,03	0,1
	200 мкА	200,083	0,00057831	0,03477081	0,000866025	0,0347864	0,070	0,03	
	300 мкА	300,145	0,00056667	0,05210213	0,000866025	0,0521124	0,104	0,03	
330 мкА, 20 кГц	100 мкА	100,023	0,00063333	0,01744001	0,000866025	0,0174730	0,035	0,03	0,1
	200 мкА	199,843	0,00051747	0,03472924	0,000866025	0,0347439	0,069	0,03	
	300 мкА	299,880	0,00051208	0,05205618	0,000866025	0,0520659	0,104	0,03	
3,3 мА, 20 Гц	1 мА	0,9998	0,00000356	0,00028864	0,000000866	0,0002887	0,001	0,06	0,2
	2 мА	2,0005	0,00000558	0,00150119	0,000000866	0,0015012	0,003	0,15	
	3 мА	3,0019	0,00000103	0,00167464	0,000000866	0,0016746	0,003	0,11	
3,3 мА, 45 Гц	1 мА	1,0002	0,00000165	0,00132794	0,000000866	0,0013279	0,003	0,27	0,3
	2 мА	2,0014	0,00000144	0,00150135	0,000000866	0,0015013	0,003	0,15	
	3 мА	3,0033	0,00000181	0,00167489	0,000000866	0,0016749	0,003	0,11	
3,3 мА, 500 Гц	1 мА	1,0003	0,00000195	0,00132796	0,000000866	0,0013280	0,003	0,27	0,3
	2 мА	2,0016	0,00000129	0,00150138	0,000000866	0,0015014	0,003	0,15	
	3 мА	3,0036	0,00000111	0,00167494	0,000000866	0,0016749	0,003	0,11	
3,3 мА, 3 кГц	1 мА	1,0003	0,00000090	0,00132796	0,000000866	0,0013280	0,003	0,27	0,3
	2 мА	2,0015	0,00000167	0,00150138	0,000000866	0,0015014	0,003	0,15	
	3 мА	3,0035	0,00000145	0,00167493	0,000000866	0,0016749	0,003	0,11	
3,3 мА, 7 кГц	1 мА	1,0005	0,00000103	0,00132799	0,000000866	0,0013280	0,003	0,27	0,3
	2 мА	2,0018	0,00000110	0,00150143	0,000000866	0,0015014	0,003	0,15	
	3 мА	3,0039	0,00000084	0,00167499	0,000000866	0,0016750	0,003	0,11	

Таблица 15 – Результаты оценивания неопределенности измерений силы переменного тока I.

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
3,3 мА, 20 кГц	1 мА	1,0010	0,00000148	0,00132808	0,000000866	0,0013281	0,003	0,27	0,3
	2 мА	2,0027	0,00000090	0,00150158	0,000000866	0,0015016	0,003	0,15	
	3 мА	3,0044	0,00000170	0,00167508	0,000000866	0,0016751	0,003	0,11	
33 мА, 20 Гц	10 мА	9,996	0,00000558	0,00288610	0,000008660	0,0028861	0,006	0,06	0,2
	20 мА	20,002	0,00001868	0,01501140	0,000008660	0,0150114	0,030	0,15	
	30 мА	30,015	0,00002657	0,01674576	0,000008660	0,0167458	0,033	0,11	
33 мА, 45 Гц	10 мА	10,001	0,00001586	0,01327920	0,000008660	0,0132792	0,027	0,27	0,3
	20 мА	20,011	0,00000684	0,01501304	0,000008660	0,0150130	0,030	0,15	
	30 мА	30,030	0,00001014	0,01674831	0,000008660	0,0167483	0,033	0,11	
33 мА, 500 Гц	10 мА	10,002	0,00000952	0,01327938	0,000008660	0,0132794	0,027	0,27	0,3
	20 мА	20,013	0,00000823	0,01501337	0,000008660	0,0150134	0,030	0,15	
	30 мА	30,033	0,00001572	0,01674880	0,000008660	0,0167488	0,033	0,11	
33 мА, 3 кГц	10 мА	10,002	0,00001808	0,01327933	0,000008660	0,0132793	0,027	0,27	0,3
	20 мА	20,012	0,00001267	0,01501316	0,000008660	0,0150132	0,030	0,15	
	30 мА	30,030	0,00001245	0,01674842	0,000008660	0,0167484	0,033	0,11	
33 мА, 7 кГц	10 мА	10,002	0,00001581	0,01327940	0,000008660	0,0132794	0,027	0,27	0,3
	20 мА	20,012	0,00001909	0,01501320	0,000008660	0,0150132	0,030	0,15	
	30 мА	30,031	0,00000955	0,01674853	0,000008660	0,0167485	0,033	0,11	
33 мА, 20 кГц	10 мА	10,004	0,00002641	0,01327970	0,000008660	0,0132797	0,027	0,27	0,3
	20 мА	20,015	0,00002050	0,01501376	0,000008660	0,0150138	0,030	0,15	
	30 мА	30,034	0,00002141	0,01674898	0,000008660	0,0167490	0,033	0,11	
330 мА, 20 Гц	100 мА	99,965	0,00013618	0,02886143	0,000086603	0,0288619	0,058	0,06	0,2
	200 мА	200,025	0,00007149	0,11560013	0,000086603	0,1156002	0,231	0,12	
	300 мА	300,166	0,00010333	0,17341624	0,000086603	0,1734163	0,347	0,12	
330 мА, 45 Гц	100 мА	100,010	0,00016667	0,05785639	0,000086603	0,0578567	0,116	0,12	0,2
	200 мА	200,054	0,00098939	0,11561687	0,000866025	0,1156244	0,231	0,12	
	300 мА	299,980	0,00052068	0,17330923	0,000866025	0,1733122	0,347	0,12	
330 мА, 500 Гц	100 мА	100,018	0,00008333	0,05786103	0,000086603	0,0578612	0,116	0,12	0,2
	200 мА	200,082	0,00071492	0,11563287	0,000866025	0,1156383	0,231	0,12	

Таблица 15 – Результаты оценивания неопределенности измерений силы переменного тока I.

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
330 мА, 3 кГц	300 мА	300,018	0,00045216	0,17333071	0,000866025	0,1733335	0,347	0,12	0,2
	100 мА	100,017	0,00026627	0,05786044	0,000086603	0,0578611	0,116	0,12	
	200 мА	200,083	0,00033993	0,11563367	0,000866025	0,1156374	0,231	0,12	
	300 мА	300,014	0,00059628	0,17332863	0,000866025	0,1733318	0,347	0,12	
330 мА, 7 кГц	100 мА	100,027	0,00005667	0,05786621	0,000086603	0,0578663	0,116	0,12	0,2
	200 мА	200,148	0,00010269	0,11567108	0,000866025	0,1156744	0,231	0,12	
	300 мА	300,133	0,00189033	0,17339722	0,000866025	0,1734097	0,347	0,12	
330 мА, 20 кГц	100 мА	100,060	0,00019576	0,05788542	0,000086603	0,0578858	0,116	0,12	0,2
	200 мА	200,197	0,00008055	0,11569900	0,000086603	0,1156991	0,231	0,12	
	300 мА	300,033	0,00012776	0,17333944	0,000086603	0,1733395	0,347	0,12	
1,1 А, 45 Гц	0,6 А	0,600	0,00000139	0,00046185	0,000000866	0,0004619	0,001	0,15	0,2
	0,8 А	0,800	0,00000111	0,00057733	0,000000866	0,0005773	0,001	0,14	
	1,0 А	1,000	0,00000102	0,00069284	0,000000866	0,0006928	0,001	0,14	
1,1 А, 500 Гц	0,6 А	0,600	0,00000133	0,00046187	0,000000866	0,0004619	0,001	0,15	0,2
	0,8 А	0,800	0,00000118	0,00057735	0,000000866	0,0005773	0,001	0,14	
	1,0 А	1,000	0,00000105	0,00069287	0,000000866	0,0006929	0,001	0,14	
1,1 А, 3 кГц	0,6 А	0,600	0,00000076	0,00046187	0,000000866	0,0004619	0,001	0,15	0,2
	0,8 А	0,800	0,00000097	0,00057734	0,000000866	0,0005773	0,001	0,14	
	1,0 А	1,000	0,00000209	0,00069284	0,000000866	0,0006928	0,001	0,14	
1,1 А, 7 кГц	0,6 А	0,602	0,00000138	0,00046280	0,000000866	0,0004628	0,001	0,15	0,2
	0,8 А	0,802	0,00000118	0,00057872	0,000000866	0,0005787	0,001	0,14	
	1,0 А	1,000	0,00000033	0,00069298	0,000000087	0,0006930	0,001	0,14	

Таблица 16 – Результаты измерений электрического сопротивления постоянному току R

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение X_{i_cp} , ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
Измерение сопротивления по двухпроводной схеме												
11 Ом	3 Ом	3,00045	3,00035	3,00033	3,00042	3,0004	3,00039	3,00046	3,00025	3,0004	3,00033	3,000378
	6 Ом	6,00029	6,00029	6,00028	6,00031	6,00023	6,00026	6,00034	6,00034	6,00019	6,00027	6,00028
	9 Ом	9,00013	9,00012	9,00017	9,0002	9,00016	9,00015	9,00019	9,0002	9,00013	9,00016	9,000161
33 Ом	18 Ом	18,00191	18,00149	18,00154	18,00082	18,00171	18,00126	18,00158	18,00132	18,00081	18,0019	18,001434
	25 Ом	25,00099	25,0008	25,0009	25,00062	25,00111	25,00038	25,00152	25,00124	25,00137	25,00163	25,001056
	32 Ом	32,00008	32,00163	32,00028	32,00154	32,00129	32,00087	32,00121	32,00159	32,00177	32,00122	32,001148
110 Ом	40 Ом	40,00024	40,00082	40,00111	40,00054	40,00002	40,00009	39,9994	40,00018	40,0000	40,00013	40,000257
	700 Ом	69,99981	69,99965	69,99915	69,99938	69,99898	69,99987	69,99944	70,00001	70,00026	69,99904	69,999559
	100 Ом	99,99889	99,99914	99,99853	99,99875	99,99777	99,99742	99,99945	99,99883	99,99942	99,99863	99,998683
330 Ом	180 Ом	179,9992	179,9986	179,9986	180,0001	180,0000	179,9986	179,9994	179,9978	179,9995	179,9978	179,99896
	250 Ом	249,997	249,9987	249,9979	249,9962	249,9961	249,997	249,9982	249,9983	249,9973	249,9962	249,99729
	320 Ом	319,9662	319,9654	319,9636	319,9655	319,9649	319,9647	319,9637	319,9652	319,965	319,9646	319,96488
1,1 кОм	600 Ом	599,9049	599,9049	599,9041	599,9053	599,904	599,9046	599,9051	599,9045	599,905	599,9043	599,90467
	800 Ом	799,9812	799,9811	799,9801	799,9816	799,9821	799,9813	799,9816	799,981	799,9816	799,9804	799,9812
	1 кОм	0,99998	0,999991	0,999983	1,000004	1,000001	1,000003	0,999992	0,999989	0,999994	0,999985	0,9999922
Измерение сопротивления по четырехпроводной схеме												
3,3 кОм	1,8 кОм	1,799997	1,799994	1,799983	1,799988	1,799992	1,80000	1,799993	1,799989	1,799989	1,799996	1,7999922
	2,5 кОм	2,499959	2,499973	2,49997	2,499978	2,499974	2,499972	2,499976	2,499971	2,49997	2,499974	2,4999717
	3,2 кОм	3,199635	3,19964	3,199632	3,199627	3,19964	3,199628	3,199628	3,199633	3,19962	3,19964	3,1996323
11 кОм	6 кОм	5,998939	5,998932	5,998951	5,998934	5,998946	5,998934	5,998933	5,998949	5,998952	5,998945	5,9989415
	8 кОм	7,991674	7,991679	7,991665	7,991668	7,991671	7,991683	7,991678	7,991683	7,991672	7,991675	7,9916748
	10 кОм	9,99766	9,99768	9,99768	9,9977	9,99767	9,99769	9,99768	9,9977	9,99765	9,99768	9,997679
33 кОм	18 кОм	17,9998	17,9999	18,00000	18,00000	18,00000	17,99970	17,99980	17,99970	17,99980	18,00000	17,99987
	25 кОм	25,0002	24,9999	25,0002	24,9999	25,00000	24,9998	24,9999	24,9998	24,9997	25,0001	24,99995
	32 кОм	31,9998	31,9998	31,9994	32,0001	31,9996	31,9998	31,9999	31,9999	31,9996	31,9996	31,99975
110 кОм	60 кОм	59,9997	59,9998	59,9995	59,9997	59,9997	59,9999	59,9996	59,9999	59,9996	59,9996	59,9997
	80 кОм	79,9532	79,9533	79,9529	79,9535	79,9532	79,9529	79,9532	79,953	79,9533	79,9533	79,95318
	100 кОм	99,9723	99,972	99,9721	99,9719	99,9715	99,9715	99,9719	99,9721	99,9718	99,9711	99,97182

Таблица 16 – Результаты измерений электрического сопротивления постоянному току R

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Результаты измерений X_{ij} , единица величины										Среднее значение $X_{i, \text{ср}}$, ед. величины
		X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}	X_{i4}	X_{i5}	X_{i6}	X_{i7}	X_{i8}	X_{i9}	X_{i10}	
330 кОм	180 кОм	179,997	180,038	180,017	180,015	180,019	180,003	180,029	180,005	180,001	180,028	180,0152
	250 кОм	250,025	250,024	250,017	250,02	250,031	250,011	250,026	250,021	250,024	250,007	250,0206
	320 кОм	320,026	320,028	320,04	320,022	320,031	320,028	320,017	320,034	320,031	320,026	320,0283
1,1 МОм	600 кОм	600,0042	600,0044	600,0044	600,0038	600,0042	600,0044	600,0041	600,0051	600,0057	600,003	600,00433
	800 кОм	799,482	799,461	799,453	799,487	799,459	799,474	799,462	799,469	799,456	799,461	799,4664
	1 МОм	0,996298	0,996239	0,99624	0,996276	0,996235	0,996308	0,996196	0,996272	0,996208	0,996255	0,9962527
3,3 МОм	1,8 МОм	1,796272	1,796239	1,79624	1,796276	1,796235	1,796308	1,796198	1,796272	1,796208	1,796255	1,7962503
	2,5 МОм	2,5001	2,50000	2,50005	2,50003	2,50005	2,50005	2,50002	2,50008	2,50004	2,50001	2,500043
	3,2 МОм	3,20005	3,20005	3,20007	3,20004	3,20004	3,20005	3,20007	3,20006	3,20005	3,20005	3,200053
11 МОм	6 МОм	6,00012	6,00012	6,00014	6,0005	6,00026	6,0002	6,00011	6,00015	6,00012	6,00008	6,00018
	8 МОм	8,00013	8,00013	8,00025	8,00016	8,00032	8,00038	8,00016	8,00091	8,00031	8,00053	8,000328
	10 МОм	10,00019	10,00005	10,00039	10,00025	10,00002	10,00038	10,00051	10,00008	10,00034	10,00047	10,000268
33 МОм	18 МОм	18,00091	18,00218	17,99977	18,00036	17,99983	18,00025	18,00202	18,00039	18,00126	18,00187	18,000884
	25 МОм	25,0025	25,00347	25,0023	25,00196	25,00006	25,00232	25,00163	25,00148	25,00122	25,00162	25,001856
	32 МОм	32,00356	32,00498	32,00874	32,00239	32,00122	32,00576	32,00378	32,00035	32,00476	32,00103	32,003657
110 МОм	60 МОм	59,99803	60,0029	59,99833	59,99975	59,99555	59,99761	59,99919	60,00386	59,99991	60,00448	59,999961
	80 МОм	80,00447	80,00001	80,00868	79,99242	79,99053	80,00462	80,0001	80,00907	80,00147	79,99355	80,000492
	100 МОм	100,00582	100,01282	99,99161	99,99554	99,99813	100,0027	100,0064	100,00657	100,001	100,00324	100,002377
330 МОм	180 МОм	180,0122	180,0255	180,0726	180,0378	180,0422	180,0508	180,0174	180,0615	180,0373	180,0273	180,03846
	250 МОм	250,0573	250,0159	250,0127	250,0829	250,0558	250,1831	250,0234	250,1689	250,0331	250,144	250,07771
	320 МОм	320,0085	320,0073	320,0074	320,0066	320,0075	320,0059	320,0087	320,0039	320,0067	320,0059	320,00684
1100 МОм	600 МОм	600,0651	600,0202	600,0982	600,0743	600,0449	600,0002	600,0596	600,0067	600,0906	600,0859	600,05457
	800 МОм	800,0926	800,0984	800,0902	800,0934	800,0921	799,0923	800,0905	800,0986	800,0991	800,0967	799,99439
	1 ГОм	1,0017842	1,0019436	1,001007	1,001821	1,001094	1,000569	1,000957	1,0018197	1,002931	1,0018965	1,00158238

Таблица 17 – Результаты оценивания неопределенности измерений электрического сопротивления постоянному току R

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
Измерение сопротивления по двухпроводной схеме									
11 Ом	3 Ом	3,00038	0,000020	0,000026	0,00000866	0,00003	0,000068	0,0023	0,0023
	6 Ом	6,00028	0,000015	0,000035	0,00000866	0,00004	0,000077	0,0013	
	9 Ом	9,00016	0,000009	0,000043	0,00000866	0,00005	0,000090	0,0010	
33 Ом	18 Ом	18,00143	0,000123	0,000204	0,00000866	0,00024	0,000478	0,0027	0,0027
	25 Ом	25,00106	0,000126	0,000217	0,00000866	0,00025	0,000501	0,0020	
	32 Ом	32,00115	0,000182	0,000229	0,00000866	0,00029	0,000584	0,0018	
110 Ом	40 Ом	40,00026	0,000150	0,000242	0,00000866	0,00029	0,000570	0,0014	0,0015
	700 Ом	69,99956	0,000137	0,000294	0,00000866	0,00032	0,000649	0,0009	
	100 Ом	99,99868	0,000207	0,000346	0,00000087	0,00040	0,000807	0,0008	
330 Ом	180 Ом	179,99896	0,000258	0,000208	0,00000866	0,00033	0,000663	0,0004	0,0004
	250 Ом	249,99729	0,000301	0,000289	0,00000866	0,00042	0,000835	0,0003	
	320 Ом	319,96488	0,000251	0,000370	0,00000866	0,00045	0,000893	0,0003	
1,1 кОм	600 Ом	599,90467	0,000139	0,000694	0,00000866	0,00071	0,001415	0,0002	0,0008
	800 Ом	799,98120	0,000189	0,000925	0,00008660	0,00095	0,001896	0,0002	
	1 кОм	0,99999	0,000003	0,000002	0,00000087	0,00000	0,000007	0,0007	
Измерение сопротивления по четырехпроводной схеме									
3,3 кОм	1,8 кОм	1,79999	0,000002	0,000003	0,00000087	0,00000	0,000007	0,0004	0,0005
	2,5 кОм	2,49997	0,000002	0,000004	0,00000087	0,00000	0,000009	0,0004	
	3,2 кОм	3,19963	0,000002	0,000005	0,00000087	0,00001	0,000011	0,0003	
11 кОм	6 кОм	5,99894	0,000003	0,000008	0,00000087	0,00001	0,000017	0,0003	0,0004
	8 кОм	7,99167	0,000002	0,000010	0,00000087	0,00001	0,000021	0,0003	
	10 кОм	9,99768	0,000005	0,000013	0,00000866	0,00002	0,000032	0,0003	
33 кОм	18 кОм	17,99987	0,000040	0,000032	0,00008660	0,00010	0,000201	0,0011	0,0012
	25 кОм	24,99995	0,000054	0,000040	0,00008660	0,00011	0,000220	0,0009	
	32 кОм	31,99975	0,000064	0,000048	0,00008660	0,00012	0,000236	0,0007	
110 кОм	60 кОм	59,99970	0,000042	0,000081	0,00008660	0,00013	0,000251	0,0004	0,0005
	80 кОм	79,95318	0,000061	0,000104	0,00008660	0,00015	0,000297	0,0004	
	100 кОм	99,97182	0,000113	0,000127	0,00008660	0,00019	0,000382	0,0004	

Таблица 17 – Результаты оценивания неопределенности измерений электрического сопротивления постоянному току R

Верхний предел диапазона измерений	Калибруемая точка X_i , единица величины	Среднее значение X_{i_cp} , единица величины	Составляющие неопределенности u_c , единица величины			Суммарная неопределен. u_c , единица величины	Расширенная неопределен. U_x , единица величины	Расширенная относительная неопределенность U , %	U_{max} , %
			u_A	u_{B1}	u_{B2}				
330 кОм	180 кОм	180,01520	0,004317	0,001040	0,00086603	0,00452	0,009049	0,0050	0,0051
	250 кОм	250,02060	0,002286	0,001444	0,00086603	0,00284	0,005679	0,0023	
	320 кОм	320,02830	0,002006	0,001848	0,00086603	0,00286	0,005723	0,0018	
1,1 МОм	600 кОм	600,00433	0,000227	0,003465	0,00008660	0,00347	0,006946	0,0012	0,0027
	800 кОм	799,46640	0,003578	0,004616	0,00086603	0,00590	0,011809	0,0015	
	1 МОм	0,99625	0,000012	0,000006	0,00000087	0,00001	0,000026	0,0026	
3,3 МОм	1,8 МОм	1,79625	0,000011	0,000081	0,00000087	0,00008	0,000163	0,0091	0,0091
	2,5 МОм	2,50004	0,000010	0,000101	0,00000866	0,00010	0,000204	0,0081	
	3,2 МОм	3,20005	0,000003	0,000121	0,00000866	0,00012	0,000243	0,0076	
11 МОм	6 МОм	6,00018	0,000039	0,000202	0,00000866	0,00021	0,000412	0,007	0,0693
	8 МОм	8,00033	0,000076	0,000260	0,00000866	0,00027	0,000542	0,007	
	10 МОм	10,00027	0,000056	0,003464	0,00000866	0,00346	0,006929	0,069	
33 МОм	18 МОм	18,00088	0,000286	0,005774	0,00000866	0,00578	0,011562	0,064	0,0643
	25 МОм	25,00186	0,000285	0,007795	0,00008660	0,00780	0,015601	0,062	
	32 МОм	32,00366	0,000807	0,009816	0,00000866	0,00985	0,019698	0,062	
110 МОм	60 МОм	59,99996	0,000921	0,173211	0,00000866	0,17321	0,346426	0,577	0,5774
	80 МОм	80,00049	0,002075	0,230947	0,00000866	0,23096	0,461913	0,577	
	100 МОм	100,00238	0,001937	0,288688	0,00000866	0,28869	0,577389	0,577	
330 МОм	180 МОм	180,03846	0,006046	0,519732	0,00008660	0,51977	1,039534	0,577	0,5776
	250 МОм	250,07771	0,020474	0,721918	0,00008660	0,72221	1,444416	0,578	
	320 МОм	320,00684	0,000443	0,923786	0,00008660	0,92379	1,847572	0,577	
1100 МОм	600 МОм	600,05457	0,011171	1,732214	0,00008660	1,73225	3,464500	0,577	0,5802
	800 МОм	799,99439	0,100238	2,309391	0,00008660	2,31157	4,623130	0,578	
	1 ГОм	1,00158	0,000216	0,002897	0,00000009	0,00291	0,005810	0,580	

4.4 Разработка комплекта документов для аттестации калибратора «Fluke 5520A»

После того, как была разработана методика и выполнена калибровка с оцениванием неопределенности измерений, все результаты которой были сведены в обобщающую таблицу и приведены в работе, можно приступить к разработке комплекта документов для аттестации калибратора «Fluke 5520A». К документам, необходимым для аттестации эталонов, относятся:

- Паспорт эталона;
- Правила содержания и применения эталона;
- Характеристики эталона.

Содержание Паспорта эталона приведено на в разделе 2.4.1 на рисунке 22, Правил содержания и применения эталона – в разделе 2.4.2 на рисунке 23. Следует отметить, что Правила содержания и применения эталона содержат раздел «Методика периодической аттестации эталона», которая подразумевает под собой периодический контроль за состоянием эталона. Одним из средств контроля за их состоянием является проведение калибровочных работ.

Содержание Характеристик эталона рассмотрено в разделе 2.4.3 и представлено на рисунке 24. В Характеристиках указывают, к какому разряду возможно отнести аттестуемый эталон с обоснованием в виде ссылок на действующие нормативно-правовые акты, регламентирующие присвоение разрядности.

Все вышеперечисленные документы составляют единый комплект документов, который используется в дальнейшем при аттестации эталона. Полный комплект документов для аттестации калибратора «Fluke 5520A» приведен в Приложении 4.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

5.1 Планирование исследования

Оценка финансовой эффективности выпускных квалификационных работ проводится для анализа трудовых, денежных и временных затрат, направленных на их реализацию.

Для того чтобы провести планирование исследования, нужно оценить процессы определения общего содержания работ, участников исследования, разработки последовательности действий и установление продолжительности работ, а также построение графика проведения исследований.

Разделим выполнение выпускной квалификационной работы на этапы, в каждом из которых распределим исполнителей. Результаты представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на ВКР	1	Составление и утверждение задания ВКР	Руководитель
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Подбор материалов по теме	Руководитель, студент
	3	Изучение материалов по теме	Руководитель, студент
	4	Выбор методов анализа данных	Руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, студент
Теоретические исследования	6	Проведение анализа данных	Студент
	7	Проверка результатов	Руководитель, студент
	8	Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Интерпретация результатов	Руководитель, студент
	10	Оценка эффективности разработанной методики	Руководитель, студент
Проведение ОКР			
Оформление пояснительной записки и сдача ВКР	11	Обоснование безопасности проводимых исследований и финансовой эффективности	Студент
	12	Оформление пояснительной записки	Руководитель, студент
	13	Сдача готовой бакалаврской работы	Студент

5.2 Определение трудоемкости выполнения работ

При проведении научно-исследовательской работы, большая часть затрат обычно приходится на оплату труда, поэтому следует определить трудоемкость работ каждого исполнителя.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используют следующую формулу:

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot t_{\min\ i} + 2 \cdot t_{\max\ i}}{5}, \quad (30)$$

где $t_{\min\ i}$ – минимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

$t_{\max\ i}$ – максимальная трудоемкость работ, ч.-дн.;

$t_{ож\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i - ой работы.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работы, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p по формуле (2), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{q_i}, \quad (31)$$

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

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

5.3 Разработка графика проведения научного исследования

Так как студенческие работы подразумевают анализ небольших по объему научных тем, наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика следует перевести длительность каждого из этапов работ из рабочих дней в календарные. Для этого можно использовать формулу (3):

$$T_{Ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} , \quad (32)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} , \quad (33)$$

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.

Используя производственный календарь за 2017 год при шестидневной рабочей неделе, получаем следующие входные данные: 66 выходных дней (с учетом праздников). В результате получается, что коэффициент календарности $k_{\text{кал}} = 1,22$.

Рассчитаем все необходимые значения и сведем в таблицу 2, где Р – руководитель, С – студент.

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

Номер работы	Трудоемкость работ			Исполнитель	Длительность работ в рабочих днях T_{pi} , раб. дн.	Длительность работ в календарных днях T_{ki} , кал. дн.
	$t_{\min}$, чел.-дн.	$t_{\min}$, чел.-дн.	$t_{\text{ожк}}$, чел.-дн.			
1	1,0	3,0	1,8	Р	1,8	2,2

Таблица 19 – Временные показатели проведения научного исследования

2	10,0	20,0	14,0	C	7,0	8,5
	10,0	20,0	14,0	P	7,0	8,5
3	20,0	30,0	24,0	C	12,0	14,6
	20,0	30,0	24,0	P	12,0	14,6
4	10,0	12,0	10,8	C	5,4	6,6
	10,0	12,0	10,8	P	5,4	6,6
5	1,0	2,0	1,4	C	0,7	0,9
	1,0	2,0	1,4	P	0,7	0,9
6	15,0	20,0	17,0	C	17,0	20,7
7	3,0	5,0	3,8	C	3,8	4,6
8	2,0	4,0	2,8	C	2,8	3,4
9	2,0	3,0	2,4	C	1,2	1,5
	2,0	3,0	2,4	P	1,2	1,5
10	1,0	3,0	1,8	C	0,9	1,1
	1,0	3,0	1,8	P	0,9	1,1
11	6,0	9,0	7,2	C	7,2	8,8
12	30,0	40,0	34,0	C	17,0	20,7
	30,0	40,0	34,0	P	17,0	20,7
13	1,0	1,0	1,0	C	1,0	1,2

Таким образом, общая длительность работ в рабочих днях составляет 79 дней, длительность работ в календарных днях – 95 дней. На основании таблицы 2 построен план-график. Календарный план график проведения научно-исследовательской работы приведен в таблице 3. График строился с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней).

Таблица 20 – Календарный план-график проведения НИР

Номер работы	Исполнители	T_{ki} , кал.	Продолжительность выполнения работ			
			Февраль	Март	Апрель	Май

		дн.	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Руководитель	2												
2	Руководитель, студент	9	 											
3	Руководитель, студент	15		 										
4	Руководитель, студент	7			 									
5	Руководитель, студент	1				 								
6	Студент	21												
7	Студент	5												
8	Студент	3												
9	Руководитель, студент	2							 					
10	Руководитель, студент	1							 					
11	Студент	9												
12	Руководитель, студент	21								 				
13	Студент	1												

 – студент,  – руководитель.

5.4 Расчет бюджета научно-технического исследования

Определение затрат на выполнение ВКР производится путем составления калькуляции по отдельным пунктам затрат всех видов необходимых ресурсов.

Калькуляция плановой себестоимости проведения исследования составляется по следующим статьям затрат:

- материальные затраты;
- затраты на оплату труда исполнителей;

- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

5.4.1 Расчет материальных затрат

В данном пункте рассмотрены вопросы, связанные с материальными затратами на проведение исследования. К материальным затратам относятся:

- 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.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m (C_i \cdot N_{расхi}) \quad (34)$$

где k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы;
 m – количество видов материальных ресурсов, используемых для выполнения научного исследования;

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

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

Затраты на электроэнергию при работе оборудования для технологических целей рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} \cdot C_{э} \cdot t_{об} \quad (35)$$

где $\mathcal{E}_{об}$ – затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, руб.;
 $P_{об}$ – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$C_э$ – тарифная цена за 1 кВт·ч, $C_э = 2,17$ руб/кВт·ч;

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

Время работы оборудования вычисляется на основе данных для T_{pi} таблицы 19 из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

Материальные затраты приравнены в таблице 21 ($k_T = 15\%$).

Таблица 21 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы, ($З_m$), руб.
Бумага для принтера	шт	500	2	1000
Электроэнергия	кВт·ч	734,52	2,17	1593,92
Итого				2593,92

5.4.2 Расчет основной заработной платы

В данном пункте приведены расчеты расходов, связанные с заработной платой каждого из участников исследовательской работы. Расчет проводится по формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (36)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (от 12 до 20 % от основной заработной платы).

Основная зарплата рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (37)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (38)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

– при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	66	66
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный оклад работника рассчитывается по формуле (10):

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p, \quad (39)$$

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска);

k_{np} – премиальный коэффициент, примем равным 0,3;

k_d – коэффициент доплат и надбавок, примем равным 0,3.

Оклад руководителя (ассистент без степени) – 14582 рублей.

Оклад студента – 6278 рублей.

Таким образом, рассчитываем заработную плату и вносим её в таблицу 23.

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc} , руб.	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	14582	30331	1257	44	55308
Студент	6278	13058	541	79	42739

5.4.3 Расчет дополнительной заработной платы

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

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн}, \quad (40)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата руководителя составляет 6637 рублей.
Дополнительная заработная плата студента составляет 5129 рублей.

5.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления органам государственного социального страхования (ФСС), Пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (федеральным (ФФОМС) и территориальным (ТФОМС)) от затрат на оплату труда работников, объединенные в форме единого социального платежа.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$З_{отч} = (З_{осн} + З_{доп}) \cdot k_{внеб}, \quad (41)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент, учитывающий социальные выплаты организации. В 2017 году $k_{внеб} = 0,3$.

Отчисления руководителя составляют 18584 рублей.

Отчисления студента составляют 14360 рублей.

5.4.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Рассчитываются по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{отч}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (42)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Примем коэффициент накладных расходов равным 16 %.

Таким образом, $З_{\text{накл}} = 12885$ рублей для научного руководителя, $З_{\text{накл}} = 9956$ рублей для исполнителя.

5.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Расчет бюджета затрат научно-технического исследования (НТИ) представлен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат научно-технического исследования

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	1436
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	98047
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	11766
Отчисления во внебюджетные фонды	32944
Накладные расходы	22841
Бюджет затрат НТИ	167034

5.5 Оценка экономической эффективности исследования

В данной выпускной квалификационной работе предлагается проведение процедуры метрологического подтверждения пригодности эталонов.

Результативность данной работы заключается в получении сложных, наиболее адекватных показателей.

В рамках данной работы оценка эффективности невозможна.

6 Социальная ответственность

Социальная ответственность – раздел выпускной квалификационной работы, в котором рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с компьютером и электрооборудованием. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда работников и улучшить условия работы в помещении.

Исследования проводились в аудитории 209, корпуса 10 Томского политехнического университета, специально оборудованной для данных целей. Целью работы является метрологическое подтверждение пригодности эталонов: калибратора многофункционального «Fluke 5520A», манометра цифрового «МО-05».

Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером и экспериментальной установкой. Работа производится сидя, при большом физическом напряжении.

Получение измерительной информации об эталонах и ее визуализация производится, непосредственно, на цифровом дисплее эталонов, а обработка полученной информации производится на компьютере, состоящим из системного блока и монитора.

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающих при работе с электрооборудованием и компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда и улучшить условия работы в лаборатории.

6.1 Производственная безопасность

Производственная безопасность – система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих

вероятность воздействия на работающих опасных травмирующих производственных факторов, возникающих в рабочей зоне в процессе трудовой деятельности.

К производственной безопасности относятся организационные мероприятия и технические средства защиты от поражения электрическим током, защита от механических травм движущимися механизмами, подъемно-транспортными средствами, обеспечение безопасности систем высокого давления, методы и средства обеспечения пожаровзрывобезопасности и т. д.

В таблице 25 приведены опасные и вредные факторы при выполнении работ по метрологическому подтверждению пригодности эталонов.

Таблица 25 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по метрологическому подтверждению пригодности эталонов

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.003-2015)		Нормативные документы
	вредные	опасные	
Калибровка калибратора многофункционального «Fluke 5520A»	1) Электромагнитные излучения; 2) Динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений; 3) Монотонность труда; 4) Наличие электромагнитных полей промышленных частот; 5) Сенсорные нагрузки	1) Условия окружающей среды; 2) Электробезопасность; 3) Электрический ток	Условия окружающей среды: ГОСТ 12.0.005-2014 «ССБТ. Метрологическое обеспечение в области безопасности труда» [43]; Электробезопасность: ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Защитное заземление, зануление» [44]; ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [45]; ГОСТ Р 12.1.019-2009 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты» [46]; СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях» [47]; Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [48]; Сенсорные нагрузки: Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового

Таблица 25 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ по метрологическому подтверждению пригодности эталонов

			процесса. Критерии и классификация условий труда» [49]; Монотонность труда: Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [48]; Длительное наблюдение: Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [48];
Калибровка манометра цифрового «МО-05»	1) Динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений; 2) Монотонность труда; 3) Сенсорные нагрузки	1) Условия окружающей среды; 2) Электрический ток	Условия окружающей среды: ГОСТ 12.0.005-2014 «ССБТ. Метрологическое обеспечение в области безопасности труда» [43]; Динамические нагрузки: Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [48]; Монотонность труда: Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [48]; Сенсорные нагрузки: Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [48];

6.1.1 Условия окружающей среды

При проведении калибровочных работ в целях обеспечения единства измерений контроль условий окружающей среды в калибровочной лаборатории

является одним из важнейших факторов, способных повлиять на результат измерений, и, соответственно, на качество продукции.

Источником резкого изменения температуры в рабочей зоне является неотапливаемый период помещения, а также резкоконтинентальные климатические условия, а также погодные условия. Все эти источники оказывают то или иное влияние на микроклимат в рабочей зоне.

Согласно ГОСТ 12.0.005-2014 в таблице 26 приведен перечень измеряемых параметров окружающей среды при выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда.

Таблица 26 – Измеряемые параметры окружающей среды при выполнении работ по обеспечению безопасных условий и охраны труда

Измеряемый параметр	Диапазон измерений, единица величины	Предельно допускаемая погрешность
Температура воздуха	от – 30 °С до + 50 °С	Д*ж 0,2 °С
Относительная влажность воздуха	от 5 % до 90 %	Д в ± 5 %
Барометрическое давление	(600-900) мм.рт.ст. (80-120) кПа	в зависимости от класса точности

В целях минимизации и контроля воздействия такого фактора, как условия окружающей среды, в калибровочных лабораториях устанавливают различные системы осушения и увлажнения воздуха, а также оснащают лабораторию системой кондиционирования производственных помещений.

6.1.2 Электробезопасность

Нарушение правил электробезопасности при использовании электрооборудования и непосредственное соприкосновение с его токоведущими частями, находящимися под напряжением, создает опасность поражения электрическим током.

Прохождение электрического тока через организм человека оказывает термическое, электролитическое и биологическое действия. Термическое действие тока проявляется в ожогах отдельных участков тела, нагреве крови, кровеносных сосудов; электролитическое – в разложении крови; биологическое

– в раздражении живых тканей организма, что может привести к прекращению деятельности органов кровообращения и дыхания.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электрооборудования, не должны превышать значений, указанных в таблице 27.

Таблица 27 – Значения напряжений и токов, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электрооборудования

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

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

Защиту человека от воздействия напряжений прикосновения и токов обеспечивают конструкция электроустановок, технические способы и средства защиты, организационные и технические мероприятия по ГОСТ 12.1.019-79.

Электрический ток – потенциально опасный фактор для здоровья человека. Источником протекания электрического тока через тело человека может являться влага, повреждение кабелей и проводов, короткое замыкание. Заземляя электрооборудование, производится уравнивание потенциала корпуса и земли.

В электроустановках напряжением до 1000 В в сети с заземленной должно быть выполнено зануление. При занулении фазные и нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при замыкании на корпус или на нулевой проводник возникал ток короткого замыкания, обеспечивающий отключение автомата или плавление плавкой вставки ближайшего предохранителя.

Для предотвращения вышеприведенных источников поражения током применяют различные заземляющие и зануляющие устройства.

При работе с электрооборудованием, а также с электронными вычислительными машинами (ЭВМ), человек подвержен электромагнитному излучению полей, которое негативно отражается на его здоровье. Наиболее подвержены влиянию кровеносная система, головной мозг, глаза, иммунная и половая системы.

Обеспечение защиты человека от неблагоприятного влияния электромагнитного поля (ЭМП) осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий, установленные в п.5.2 [47].

В целях предотвращения негативного воздействия от электромагнитного излучения необходимо следовать основным нормам, описанным в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [49]. Требования к уровням ЭМП на рабочих местах, оборудованных ЭВМ, представлены в таблице 28.

Таблица 28 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемых электронной вычислительной машиной на рабочих местах

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

Для снижения воздействия электромагнитного излучения применяют следующие меры:

- расстояние от монитора до работника должно составлять не менее 50 см;
- применение экранных защитных фильтров, а также средств индивидуальной защиты.

Отнесение условий труда к тому или иному классу вредности и опасности при воздействии неионизирующих ЭМП и излучений осуществляется в соответствии с таблицей 15 Р 2.2.2006-05 [48].

6.1.3 Динамические нагрузки

Характер и организация трудовой деятельности оказывают существенное влияние на изменение функционального состояния организма человека. Трудовая деятельность может быть выражены как в умственном, так и в физическом труде. Умственный труд требует напряжения сенсорного аппарата, внимания, памяти, а также активизации процессов мышления, эмоциональной сферы. Физическое напряжение организма при выполнении трудовой деятельности может быть обусловлено выполнением или физической работы, или нагрузками на центральную нервную систему.

При проведении калибровочных работ оператор нарабатывает стереотипные рабочие движения. По их количеству за рабочую смену можно определить оптимальный, допустимый, а также вредный класс условий труда. Нормированные стереотипные рабочие движения приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Нормированные стереотипные рабочие движения

Показатели тяжести трудоового процесса	Класс (подкласс) условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	1	2	3,1	3,2
При локальной нагрузке (с участием мышц кистей и пальцев рук)				
	до 20 000	до 40 000	до 60 000	более 60 000
При региональной нагрузке (при работе с преимущественным участием мышц рук и плечевого пояса)				
	до 10 000	до 20 000	до 30 000	более 30 000

В целях обеспечения оптимальных условий труда необходима правильная компоновка и расположение рабочего места, обеспечение свободы трудовых движений и удобной позы сотрудника. Этого можно достичь с использованием оборудования, которое соответствует требованиям инженерной психологии и эргономики, обеспечивает высокую производительность труда, снижает риск развития профессиональных болезней. К профилактическим мероприятиям по снижению напряженности труда относится и отбор специально обученных профессиональным приемам определенной работы молодых специалистов.

6.1.4 Монотонность труда

Опасность монотонности заключается в снижении внимания к процессу производства, быстрой утомляемости и снижении интереса к трудовому процессу, что влияет на безопасность труда в целом. Одной из форм, предрасполагающей к формированию монотонности, является автоматизм – деятельность, осуществляемая без непосредственного участия сознания. Он формируется в результате нескольких факторов: многолетнего опыта деятельности, рутинности работы, отсутствия вовлеченности в трудовой процесс, воображения и творческого подхода, физических перегрузок.

В таблице 30 приведены классы условий труда по показателям монотонности трудового процесса.

Таблица 30 – Классы условий труда по показателям монотонности трудового процесса

Показатели тяжести трудового процесса	Класс условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	Напряженность труда легкой степени	Напряженность труда средней степени	Напряженный труд	
			1 степени	2 степени
	1	2	3,1	3,2
1	2	3	4	5
1. Число элементов (приемов), необходимых для реализации простого задания или в многократно повторяющихся операциях	более 10	9-6	5-3	менее 3
2. Продолжительность (в сек) выполнения простых заданий или повторяющихся операций	более 100	100-25	24-10	менее 10
3. Время активных действий (в % к продолжительности смены). В остальное время – наблюдение за ходом производственного процесса	20 и более	19-10	9-5	менее 5
4. Монотонность производственной обстановки (время пассивного наблюдения за ходом техпроцесса в % от времени смены)	менее 75	76-80	81-90	более 90

Способами снижения напряженности труда в условиях зрительного и психоэмоционального перенапряжения и монотонной работы могут стать полная автоматизация производственных процессов. К таким способам относится и проведение мер по совершенствованию техники и технологий, введение рационального режима труда и отдыха. Для снижения напряженности труда важное значение имеют и воспитательные, психологические, социально-экономические, а также лечебно-оздоровительные процедуры.

6.1.5. Сенсорные нагрузки

В ходе калибровочных работ неотъемлемой частью является процесс снятия показаний с различных средств измерительной техники. Данный процесс заключается в постоянном сосредоточенном длительном наблюдении за изменением показаний прибора, что является следствием снижения зрения, напряженности труда, быстрой утомляемости.

Чем больше процент времени отводится в течение смены на сосредоточенное наблюдение, тем выше напряженность. Общее время рабочей смены принимается за 100 %. Сосредоточенное наблюдение означает, что работник смотрит на объект наблюдения, не отрывая взгляда.

В таблице 31 приведены классы условий труда по показателям сенсорных нагрузок.

Таблица 31 – Классы условий труда по показателям сенсорных нагрузок

Показатели тяжести трудового процесса	Класс условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	Напряженность труда легкой степени	Напряженность труда средней степени	Напряженный труд	
			1 степени	2 степени
	1	2	3,1	3,2
1	2	3	4	5
1. Длительность сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	до 25	25-50	51-75	более 75

Таблица 31 – Классы условий труда по показателям сенсорных нагрузок

Показатели тяжести трудового процесса	Класс условий труда			
	оптимальный	допустимый	вредный	
	Напряженность труда легкой степени	Напряженность труда средней степени	Напряженный труд	
			1 степени	2 степени
	1	2	3,1	3,2
1	2	3	4	5
2. Размер объекта различения (при расстоянии от глаз работающего до объекта различения не более 0,5 м) в мм при длительности сосредоточенного наблюдения (% времени смены)	более 5 мм – 100 %	5-1,1 мм – более 50 %; 1-0,3 мм – до 50 %; менее 0,3 мм – до 25 %	1-0,3 мм – более 50 %; менее 0,3 мм – 26 – 50 %	менее 0,3 мм – более 50 %
3. Наблюдение за экранами видеотерминалов (часов в смену) при буквенно-цифровом типе отображения информации	до 2	до 3	до 4	более 4

Способами снижения сенсорных нагрузок являются средства индивидуальной защиты (компьютерные очки, линзы), периодическая трудовая деятельность с интервалами отдыха, позы, числа движений.

6.2 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Необходимо последовательно рассмотреть, как проектируемое решение и используемые для его создания вещества и материалы будут влиять на атмосферу, гидросферу и литосферу и предложить решения по обеспечению экологической безопасности.

В связи с тем, что основным средством работы является персональный компьютер и средства измерений, серьезной проблемой является электропотребление. Это влечет за собой общий рост объема потребляемой электроэнергии. Для удовлетворения потребности в электроэнергии,

приходиться увеличивать мощность и количество электростанций. Это приводит к нарушению экологической обстановки, так как электростанции в своей деятельности используют различные виды топлива, водные ресурсы, а также являются источником вредных выбросов в атмосферу.

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

В аудитории не ведется никакого производства. К отходам, производимым в помещении можно отнести сточные воды и бытовой мусор.

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

Основной вид мусора – это отходы печати, бытовой мусор (в т. ч. люминисцентные лампы), неисправное электрооборудование, коробки от техники, использованная бумага. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета и предусматривает следующую поэтапность:

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

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

- 3 Непосредственно утилизация измерительной техники с полным демонтажем устройств на составляющие детали с последующей сортировкой по видам материалов и их дальнейшей передачей на перерабатывающие заводы.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

При работе с объектами исследования, такими как калибратор многофункциональный «Fluke 5520A» и манометр цифровой «МО-05», могут возникнуть чрезвычайные ситуации техногенного характера: пожары, угрозы взрывов, обрыв проводов, короткое замыкание и др.

На производстве вопросы электробезопасности имеют важное значение. Причиной электротравм зачастую являются случайные прикосновения к токоведущим частям, которые находятся под напряжением. Также опасны контакты с конструктивными металлическими компонентами электрооборудования при повреждении у них электроизоляции.

Меры безопасности при работе с электрооборудованием предусматривают проведение следующих мероприятий:

- защитного заземления;
- зануления;
- изоляции токоведущих частей;
- применения пониженного напряжения;
- использование изолирующих подставок и резиновых перчаток.

При возникновении чрезвычайной ситуации в ходе проведения калибровочных работ и работ с электрооборудованием работник обязан:

- во всех случаях обнаружения обрыва проводов питания, повреждений электрооборудования, появления запаха гари немедленно отключить питание и сообщить об аварийной ситуации непосредственному руководителю;

- не приступать к работе с неисправным оборудованием до устранения неисправности;

- при обнаружении человека, попавшего под напряжение, немедленно отключить электропитание и освободить его от действия тока, оказать доврачебную помощь и вызвать скорую медицинскую помощь.

К основным причинам пожаров в лаборатории можно отнести следующие:

- короткие замыкания в цепях систем автоматики;
- негерметичное соединение приборов;
- несоблюдение правил пожарной безопасности на территории здания, лаборатории (курение и т. п.).

Пожарная безопасность на рабочем месте должна обеспечиваться за счет:

- предотвращение образования в горючей среде источников зажигания;
- противоаварийной защиты, способной предотвратить аварийный выход газа, оборудования, трубопроводов;
- организационных мероприятий по подготовке персонала к предупреждению, локализации и ликвидации аварий, аварийных утечек, а также пожаров и загораний.

На территории лаборатории должен иметься пожарный щит с наличием средств пожаротушения. Наличие в помещениях сигнализаторов с чувствительными элементами, сигнализирующие возгорании. На территории лаборатории быть установлены знаки пожарной безопасности для обозначения места расположения пожарного инвентаря, оборудования, гидрантов, колодцев и т.д., проходов к нему, схема эвакуации, а также для обозначения запретов на действия, нарушающих пожарную безопасность.

Меры по предупреждению пожара:

- электрооборудование взрывозащищенного исполнения;

- напряжение для переносного электроинструмента и освещения не более 42В;

- систематическая проверка исправности заземления;

- герметизация технологического оборудования.

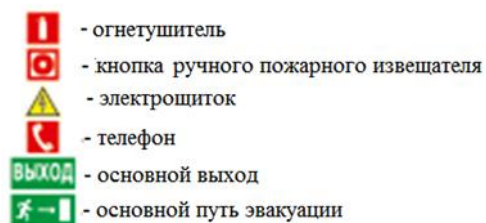
В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов. Здание корпуса 10, в котором располагаются учебные аудитории, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а также установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

На рисунке 30 представлен план эвакуации при возникновении пожара и других ЧС.



Рисунок 30 – План эвакуации при пожаре и других ЧС из помещений учебного корпуса № 10, пр. Ленина, 2 – 2 этаж,

где



6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

6.4.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности

Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности является Конституция – основной закон государства. Одним из законодательных актов о труде является Трудовой кодекс РФ, который регулирует отношения между организацией и работниками, касающиеся оплаты труда, трудового распорядка, социальных отношений, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и др.

Продолжительность рабочего дня не должна превышать 40 часов в неделю. Для работников до 16 лет – не более 24 часов в неделю, от 16 до 18 лет – не более 35 часов, как и для инвалидов I и II группы. Для работников, работающих на местах, отнесенных к вредным условиям труда 3 и 4 степени – не более 36 часов.

Возможно установление неполных рабочих дней для беременных женщин, одного из родителей (опекуна, попечителя), имеющего ребенка в возрасте до четырнадцати лет (ребенка-инвалида в возрасте до восемнадцати лет). Оплата труда при этом производится пропорционально отработанному времени. Ограничений продолжительности ежегодного основного оплачиваемого отпуска, исчисления трудового стажа и других трудовых прав при этом не имеется.

При работе в ночное время продолжительность рабочей смены на один час меньше. К работе в ночные смены не допускаются беременные женщины,

работники, не достигшие возраста 18 лет, женщины, имеющие детей в возрасте до трех лет, инвалиды, работники, имеющие детей-инвалидов, а также работники, осуществляющие уход за больными членами их семей в соответствии с медицинским заключением, матери и отцы – одиночки детей до пяти лет.

Организация обязана предоставлять ежегодные отпуска продолжительностью 28 календарных дней. Для работников, занятых на работах с опасными или вредными условиями, предусматривается дополнительный отпуск.

Работнику в течение рабочего дня должен предоставляться перерыв, не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Всем работникам предоставляются выходные дни, работа в выходные дни производится только с письменного согласия работника.

Организация выплачивает заработную плату работникам. Возможно удержание заработной платы, в случаях, предусмотренных ст. 137 Трудового кодекса РФ [50]. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

6.4.2 Организационные вопросы обеспечения безопасности

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников в создании благоприятных условий труда.

Оптимальный режим труда и отдыха – одно из важных условий эффективной работоспособности сотрудников. При несоблюдении режима труда и отдыха снижается работоспособность, появляются головные боли, усталость, болезненные ощущения в глазах, раздражительность, психоэмоциональное напряжение.

Согласно [51], конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям.

Главными элементами рабочего места являются рабочий стол и стул, при этом работа проводится в положении сидя. Следовательно, для исключения возникновения заболеваний, связанных с малой подвижностью сотрудника, необходимо иметь возможность свободной перемены поз.

При организации рабочего места в лаборатории реализуются следующие правила:

- высота стола составляет 720 мм, в соответствии с нормами, установленными в [51] – 725 мм;

- рабочий стул не имеет регулировку высоты и поворотов, угол наклона спинки стандартный и также не имеет возможности регулировки, не имеет подлокотников;

- клавиатура располагается на расстоянии от 150-200 мм от края стола, что соответствует нормам.

Заключение

В заключении можно сделать вывод о том, что в ходе анализа нормативно-правовых документов в области обеспечения единства измерений и требований к аттестации эталонов были разработаны и опробованы методики калибровки исследуемых в работе объектов, подготовлен комплект документов для аттестации данных объектов в качестве эталонов.

Необходимость в такой процедуре как метрологическое подтверждение пригодности эталонов является неотъемлемой частью в обеспечении достоверности предоставляемой информации, качества выпускаемой продукции, единства измерений. Поэтому данная работа направлена именно на то, чтобы обеспечить подразделения Томского политехнического университета, а также филиал «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация», всеми необходимыми элементами метрологического обеспечения измерений.

Таким образом, следующие поставленные задачи были выполнены:

- 1) Проведен обзор нормативно-правовых документов в области метрологического обеспечения средств измерений и эталонов;
- 2) Рассмотрена классификация эталонов и выполнен анализ процедур метрологического подтверждения пригодности эталонов;
- 3) Изучены современные требования к проведению калибровки средств измерений и оцениванию неопределенности измерений;
- 4) Разработаны и опробованы методики калибровки (проекты) на калибратор многофункциональный «Fluke 5520A» и манометр цифровой «МО-05»;
- 5) Разработаны комплекты документов (проекты) для аттестации эталона едини электрических величин НИ ТПУ и эталона избыточного давления филиала «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация».

Список использованных источников

- 1 Г.В. Злыгостева. Метрологическое обеспечение измерений, выполняемых вне сферы государственного регулирования обеспечения единства измерений. // Сборник докладов II региональной научно-практической конференции 14-15 апреля 2015 г.. – 2015. - С. 48.
- 2 Ю.М. Правиков, Г.Р. Муслина. Метрологическое обеспечение производства // Учебное пособие. М.: КНОРУС. – 2009. – 240 с.
- 3 ГОСТ Р 8.000-2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения. – М.: «Стандартинформ», 2015. – 12 с.
- 4 Федеральный закон № 102-ФЗ от 28 июня 2008 г. «Об обеспечении единства измерений» // Собрание законодательства РФ. – 2008. – 16 с.
- 5 ГОСТ Р 8.820-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М.: «Стандартинформ», 2014. – 15 с.
- 6 Л.К. Исаев, А.П. Чирков. О востребованности эталонной базы: новый подход // Измерительная техника. – 2015. - № 2. – С. 23 – 26.
- 7 В.А. Брюханов. Новации с понятием «метрологическое обеспечение» могут принизить его и обесценить // Главный метролог. – 2012. - № 5. С. 15 – 20.
- 8 В.А. Грановский. Метрологическое обеспечение на промышленных предприятиях: проблемы и решения // Главный метролог. – 2014. - № 4. С.
- 9 Приказ Минпромторга РФ от 30.11.2009 г. № 1081 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, порядка выдачи свидетельств об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, установления и изменения срока действия указанных свидетельств и интервала между поверками средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или

типа средств измерений и порядка их нанесения». // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти. - № 11 от 15.03.2010.

10 Приказ Минпромторга РФ от 25.06.2013 г. № 970 «Об утверждении административного регламента по предоставлению федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии государственной услуги по утверждению типа стандартных образцов или типа средств измерений». // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти. - № 35 от 01.02.2017.

11 МИ 3290-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация по подготовке, оформлению и рассмотрению материалов испытаний средств измерений в целях утверждения типа. – М. – ФГУП «ВНИИМС». – 2016. – 37 с.

12 Приказ Минпромторга РФ от 02.07.2015 № 1815 «Об утверждении Порядка проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке». // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти.

13 Постановление Правительства РФ от 23.09.2010 г. № 734 «Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» // Собрание Законодательства РФ. – 2010. – 10 с.

14 ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – М.: Стандартинформ. – 2012. – 36 с.

15 РМГ 120 ГСИ. Общие требования к выполнению калибровочных работ. – М.: Стандартинформ. – 2015. – 21 с.

16 ГОСТ Р 8.879-2014 ГСИ. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению. – М.: Стандартинформ. – 2015. – 7 с.

17 Р РСК 002-2006 Российская система калибровки. Основные требования к методикам калибровки, применяемым в Российской системе калибровки. – М. – ФГУП «ВНИИМС». – 2006. – 19 с.

18 Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.01.2014 г. № 36 «Об утверждении рекомендаций по проведению первичной и периодической аттестации и подготовке к утверждению эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений». // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти. – М.: – 2014.

19 Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины // НПО «Профессионал». – Санкт-Петербург. – 2010 г. – 80 с.

20 РМГ 29-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения. – М.: Стандартинформ. – 2014. – 57 с.

21 Ю.Е. Лукашов. Что такое передача единицы величины и как она связана с метрологической прослеживаемостью? // Главный метролог. – 2016. - № 4. С. 11 – 15.

22 ГОСТ 8.061-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение. // ИПК Издательство стандартов. – М.: – 2002. – 11 с.

23 ГОСТ 8.057-80 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны единиц физических величин. Основные положения. // Государственный комитет СССР по стандартам. – М.: - 1981. – 6 с.

24 ГОСТ 8.009-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений // Государственный комитет СССР по стандартам. – М.: - 1986. – 24 с.

25 ПР 50.012-94 Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок аттестации поверителей средств измерений. // Госстандарт России. – М.: - 1994. – 10 с.

26 РМГ 74-2004 Государственная система обеспечения единства измерений. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. – М.: Стандартиформ. – 2006. – 21 с.

27 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org). (дата обращения 18.05.2017)

28 Постановление Правительства РФ от 02.04.2015 № 311 «Об утверждении Положения о признании результатов калибровки при поверке средств измерений в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений». // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти. – М.: – 2015.

29 ГОСТ 8.381-2009 Государственная система обеспечения единства измерений. Эталоны. Способы выражения точности. // Стандартиформ. – М.: - 2012. – 19 с.

30 Ю.А. Эргельник. Методики калибровки средств измерений. Требования к содержанию и изложению. // Сборник докладов II региональной научно-практической конференции 14-15 апреля 2015 г.. – 2015. - С. 11.

31 Приказ Министерства экономического развития РФ от 30.05. 2014 г. № 326 «Об утверждении Критериев аккредитации, перечня документов, подтверждающих соответствие заявителя, аккредитованного лица критериям аккредитации, и перечня документов в области стандартизации, соблюдение требований которых заявителями, аккредитованными лицами обеспечивает их соответствие критериям аккредитации». // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти. – М.: – 2014.

32 МИ 2314-2006 Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Кодификатор групп средств измерений. – М. – ФГУП «ВНИИМС». – 2006. – 190 с.

33 ГОСТ 8.802-2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа. // Стандартиформ. – М.: - 2014. – 5 с.

34 ГОСТ Р 54500.1-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98:-1:2009 Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по неопределенности измерения. // Стандартиформ. – М.: - 2012. – 18 с.

35 ГОСТ Р 54500.3-2011 / Руководство ИСО/МЭК 98:-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. // Стандартиформ. – М.: - 2012. – 101 с.

36 РМГ 115-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределённости. – Минск. – Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 2012. – 48 с.

37 МИ 3281-2010 Государственная система обеспечения единства измерений. Рекомендация. Оценка результатов измерений – Пояснения к «Руководству по выражению неопределенности измерений» – М.: – ФГУП «ВНИИМС». – 2010. – 35 с.

38 ГОСТ 8.027-2001 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы // Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск. - 2001. – 6 с.

39 ГОСТ 8.022-91 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А // Комитет стандартизации и метрологии СССР. – М.: - 1992. – 7 с.

40 ГОСТ Р 8.648-2015 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений

переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц // Стандартиформ. – М.: - 2016. – 8 с.

41 ГОСТ Р 8.832-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ // Стандартиформ. – М.: - 2014. – 6 с.

42 Приказ Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления. // Бюллетень нормативных актов Федеральных органов исполнительной власти. – М.: – 2016.

43 ГОСТ 12.0.005-2014 Система стандартов безопасности труда. Метрологическое обеспечение в области безопасности труда. – М.: «Стандартиформ», 2016. – 15 с.;

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

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

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

47 СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: «Минздрав России», 2003. – 19 с.;

48 Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда;

49 СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: «Минздрав России», 2003. – 36 с.;

50 Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации [Текст]: от 30.12. 2001 г. № 197-ФЗ, ввод в действие с 01.02.2002 / Российская Федерация. Законы. — Волгоград; М. : Изд-во ВолГУ : Либрис, 2002. — 225 с.

51 ГОСТ Р 50923-96 «Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения». – М.: «Стандартинформ», 2010. – 11 с.

Приложение А

(обязательное)

Методика калибровки манометра цифрового «МО-05»

УТВЕРЖДАЮ

Инженер по метрологии цеха АСУ ТП
филиала «Гусиноозерская ГРЭС»
АО «Интер РАО-Электрогенерация»,

«__» _____ 20__

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ

МАНОМЕТР ЦИФРОВОЙ МО-05

МК 410200.012-2017

Содержание

Вводная часть

- 1 Нормативные ссылки
- 2 Технические требования
- 3 Требования к средствам калибровки
- 4 Требования к условиям проведения калибровки
- 5 Требования к квалификации калибровщиков
- 6 Требования по обеспечению безопасности
- 7 Подготовка к процедуре калибровки
- 8 Внешний осмотр
- 9 Опробование
- 10 Процедура проведения калибровки
- 11 Обработка результатов калибровки
- 12 Оформление результатов калибровки

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Настоящая методика калибровки распространяется на манометр цифровой МО-05 (далее – манометр), предназначенный для воспроизведения:

- избыточного давления;
- давления разрежения.

Рекомендации по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений:

- передача размера единицы давления при калибровке (поверке) и испытаниях средств измерений давления;
- осуществление производственного контроля за соблюдением установленных законодательством Российской Федерации требований промышленной безопасности к эксплуатации опасного производственного объекта.

Методика калибровки устанавливает методы и средства калибровки. Допускается выполнять калибровку на минимальном диапазоне избыточного давления и результаты распространять на все диапазоны избыточного давления цифрового манометра МО-05. При наличии диапазонов избыточного давления и разрежения необходимо дополнительно провести калибровку диапазона разрежения. Допускается выполнять калибровку на минимальном диапазоне абсолютного давления и результаты распространять на все диапазоны.

Рекомендуемый межкалибровочный интервал – 1 год.

1 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей методике имеются ссылки на следующие нормативные документы:

- ГОСТ 8.879-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению;
- ГОСТ 8.802-2012 Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа;

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1 Вид измеряемого давления, диапазоны измерений давления должны соответствовать указанным в таблице 1.

Таблица 1 – Диапазоны измерений давления

Измеряемый параметр	Пределы измерений
Избыточное давление	от (0-6) кПа до (0-100) МПа
Избыточное давление-разрежение	от минус 100 кПа до плюс 2,4 МПа
Абсолютное давление	от 0 до 2,5 МПа
Разрежение	от минус 100 кПа до 0

Примечание:

1 Нижние пределы измерений манометров избыточного давления и разрежения равны нулю

2 Диапазон измерений манометров равен диапазону показаний

2.2 Пределы допускаемой приведенной погрешности γ , % от верхнего предела измерений (ВПИ) для поддиапазонов:

- от минус 0,1 до 0 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 0,4 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 0,6 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 1 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 1,6 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 2,4 МПа: $\pm 0,15$ %.

2.3 Вариация не должна превышать $\pm 0,5 \cdot \gamma$.

2.4 Максимальное допускаемое давление не более 25 % от ВПИ.

2.5 Манометры должны быть устойчивы к воздействию синусоидальных вибраций высокой частоты (с частотой перехода от 57 до 62 Гц) со следующими параметрами:

- | | |
|---|-------|
| - частота, Гц | 50-80 |
| - амплитуда смещения для частоты ниже частоты перехода, мм | 0,15 |
| - амплитуда ускорения для частоты выше частоты перехода, м/с ² | 19,6 |

3 ТРЕБОВАНИЯ К СРЕДСТВАМ КАЛИБРОВКИ

3.1 При проведении калибровки проводят операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2 – Операции калибровки

Операция калибровки	Пункт методики
Внешний осмотр	8
Опробование	9
Определение действительных метрологических характеристик давления разрежения	10.1
Определение действительных метрологических характеристик абсолютного давления	10.2

3.2 При проведении калибровки должны применяться средства калибровки, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Средства калибровки

Номер пункта методики калибровки	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и метрологические и основные технические характеристики средства поверки
10.1, 10.2	Калибратор давления портативный Метран-517; РЭ
4	Измеритель температуры электронный CENTER 317; КТ 0,3
4	Барометр-анероид контрольный М-67; $\Delta = \pm 0,8$ мм.рт.ст.

3.3 Допускается применять другие средства калибровки с аналогичными техническими и метрологическими характеристиками.

3.4 Прослеживаемость к государственным первичным эталонам может быть обеспечена использованием в качестве средств калибровки поверенных средств измерений утверждённого типа или аттестованных эталонов.

4 ТРЕБОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПРОВЕДЕНИЯ КАЛИБРОВКИ

4.1 При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С 23 ± 2
- относительная влажность воздуха, % 30 – 80
- атмосферное давление, кПа 84 – 106,7

4.2 Средства калибровки подготавливают к работе согласно указаниям, приведенным в соответствующих эксплуатационных документах.

5 ТРЕБОВАНИЯ К КВАЛИФИКАЦИИ КАЛИБРОВЩИКОВ

5.1 К калибровке манометров допускаются лица с квалификацией инженера со специализацией в области измерений избыточного давления, давления разрежения, и прошедших обучение и инструктаж по технике безопасности, изучивших техническую документацию на манометр и средства калибровки.

6 ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

6.1 Источником опасности при монтаже и эксплуатации манометра является измеряемая среда, находящаяся под давлением.

6.2 По способу защиты человека от поражения электрическим током манометры относятся к классу III по ГОСТ 12.2.007.0.

6.3 Безопасность эксплуатации манометров обеспечивается:

- прочностью и герметичностью измерительных камер, которые должны быть прочными при испытательных давлениях, указанных в таблице 1;
- надежным креплением при монтаже на объекте.

6.4 Манометры при хранении, транспортировании, эксплуатации не являются опасными в экологическом отношении, т.к. не содержат ядовитых, токсичных и взрывчатых веществ.

6.5 Замену, присоединение и отсоединение манометров от магистралей, подводящих измерительную среду, следует производить при отсутствии давления в магистрали.

6.6 Не допускается эксплуатация манометров в системах, давление в которых может превышать верхнее предельное рабочее давление.

7 ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ КАЛИБРОВКИ

7.1 При использовании манометра после хранения его при температуре, отличающейся от температуры эксплуатации, манометр выдержать в течение 3 часов при температуре эксплуатации перед включением.

7.3 Установить манометр в вертикальное положение. Включить питание, нажав кнопку «ВКЛ» удерживая более 2 секунд. Нажатие более 2 секунд кнопки «ВКЛ» при включенном состоянии манометра отключает прибор. Во включенном состоянии кратковременное нажатие кнопки «ВКЛ» увеличивает яркость свечения экрана.

7.4 После включения питания в течение 20 секунд производится самодиагностика манометра, о чем свидетельствует мигание светодиодов. Во время самодиагностики атмосферное давление (давление, подведенное к штуцеру) принимается за нулевое значение. Манометр переключается на максимальный диапазон.

7.5 Через 15 минут манометр (время, необходимое для прогрева сенсора и электронных компонентов), необходимо выключить и включить манометр, после самодиагностики манометр готов к работе на максимальном диапазоне в единицах измерения МПа.

Примечание: При включении, прибор самокалибруется, поэтому не допустимо подавать на него давление до ее окончания. Перед тем как начать работу с давлением разряжения необходимо выключить и включить манометр для дополнительной калибровки (привязка «нуля» к атмосферному давлению).

7.6 После проведения указанных процедур настройки манометр готов к работе. При работе следует помнить:

- через 30 минут после включения питания отображения на индикаторе гаснет, для возобновления индикации необходимо нажать любую кнопку;
- при давлении больше выбранного диапазона на 2% индикатор мигает, включается зуммер, предупреждая о необходимости выбрать другой диапазон.

7.7 На калибровку манометра должны быть представлены следующие документы:

- сертификат и протокол предыдущей калибровки (при наличии);
- эксплуатационная документация на манометр;
- действующие сертификаты калибровки и эксплуатационная документация на средства измерений, применяемые при калибровке.

8 ВНЕШНИЙ ОСМОТР

8.1 При внешнем осмотре должно быть установлено отсутствие механических повреждений корпуса, штуцера, препятствующих присоединению и не обеспечивающих герметичность и прочность соединения, стекла и индикатора, влияющих на метрологические характеристики.

8.2 Среда, окружающая манометр, не должна содержать примесей, вызывающих коррозию деталей.

8.3 Стекло индикатора должно быть чистым и не иметь дефектов, препятствующих правильному отсчету показаний.

8.4 Соединение корпуса со штуцером должно быть прочным, не допускающим смещение корпуса.

8.5 Резьбы на штуцере манометра не должны иметь сорванных ниток.

8.6 Манометры, имеющие дефекты, дальнейшей калибровке не подвергаются, бракуются и направляются в ремонт.

8.7 На манометре должна быть нанесена маркировка, соответствующая паспорту манометра.

9 ОПРОБОВАНИЕ

9.1 При опробовании проверяют работоспособность манометра и его герметичность, правильность функционирования индикатора и кнопок.

9.2 Работоспособность манометра проверяют, изменяя измеряемое давление от нижнего предельного значения до верхнего. Для манометров давления-разрежения работоспособность проверяют только при избыточном давлении, для манометров разрежения

с верхним пределом измерений 100 кПа - при изменении разрежения до значения, равного не менее чем 0,9 атмосферного давления.

9.3 Проверку герметичности манометра рекомендуется совмещать с операцией определения метрологических характеристик.

9.4 Методика проверки герметичности манометра проводится со следующими особенностями:

- изменение давления разрежения определяют по изменению показаний цифрового индикатора калибруемого манометра, включенного в систему;
- в случае обнаружения негерметичности системы с калибруемым манометром следует проверить отдельно систему и манометр.

10 ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ КАЛИБРОВКИ

10.1 Определение действительных метрологических характеристик давления разрежения

10.1.1 Основную погрешность воспроизведения давления разрежения определяется методом прямых измерений посредством установки по рабочему эталону на входе манометра номинального давления и считывание информации на цифровом индикаторе калибруемого манометра.

10.1.2 Соедините клеммы калибратора давления портативного Метран-517 (калибратора) для подключения давления со штуцером манометра, как показано на рисунке 1.

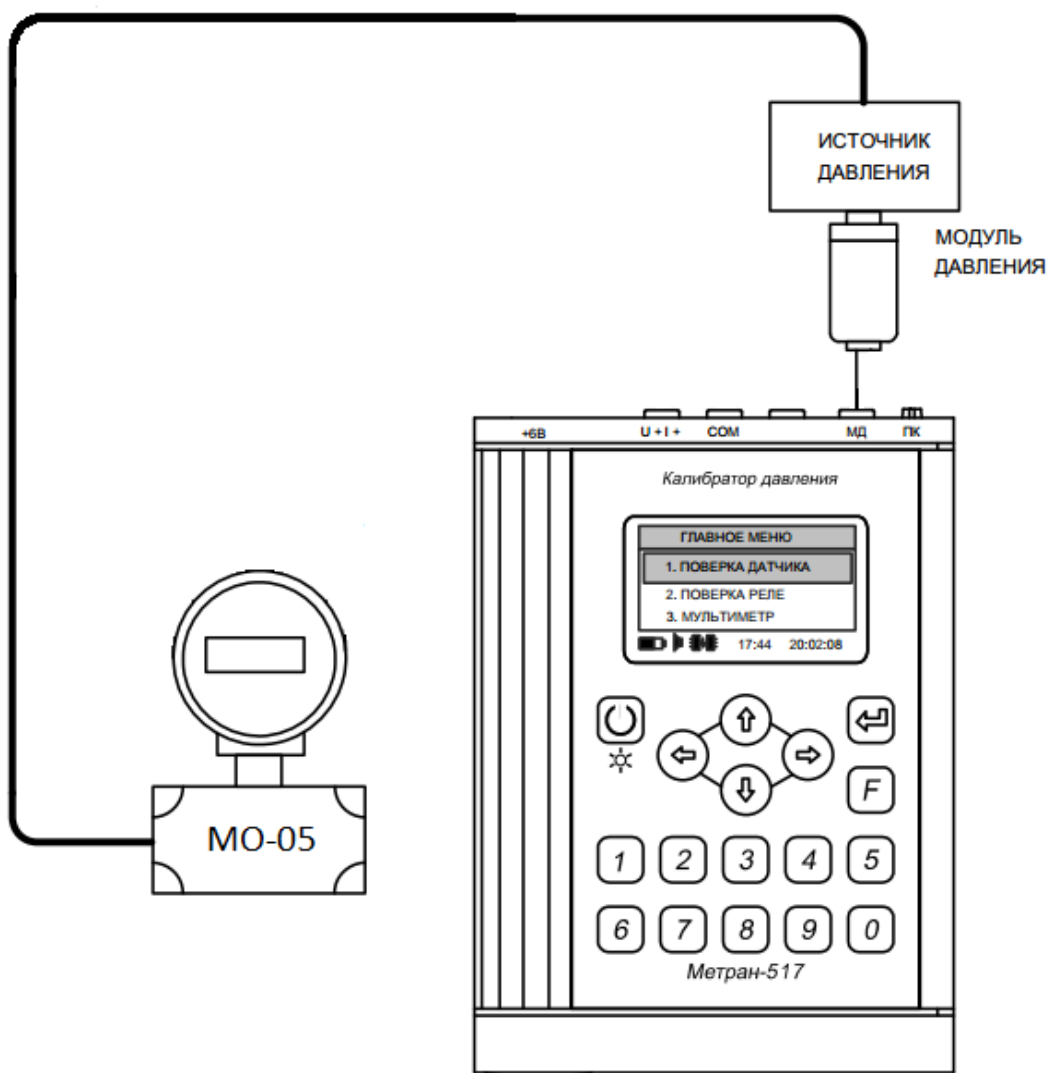


Рисунок 1 – Схема подключения манометра для определения метрологических характеристик избыточного давления

10.1.3 Для работы калибратора в режиме калибровки давления разрежения выбрать пункт «ПОВЕРКА ДАТЧИКА» клавишами «Вверх», «Вниз» нажать клавишу «Ввод» или цифровую клавишу «1».

10.1.4 Убедиться в наличии связи калибратора с модулем давления с помощью вывода на дисплей кратковременного сообщения о подключенном модуле давления.

10.1.5 Для входа в меню «Режим» нажать клавишу «Ввод». В меню «РЕЖИМ» выбрать пункт «3. ОБНУЛИТЬ МОДУЛЬ» и нажать клавишу «Ввод».

10.1.6 Для выбора предела измерений давления разрежения калибруемого манометра в меню «РЕЖИМ» нажать цифровую клавишу «1» или выбрать пункт «1. ДАТЧИК» и нажать клавишу «Вперед» или «Ввод».

10.1.7 Для выбора значения верхнего предела измерений давления, единиц измерений и отображаемой разрядности нажать клавишу «Вперед» или «Ввод» на строке «ВПИ». Клавишами «Вверх», «Вниз» или цифровыми клавишами установить предел измерений - 0,1 МПа. Для сохранения значения верхнего предела измерений нажать клавишу «Ввод».

10.1.8 Более подробная инструкция по подготовке калибратора к калибровке приведена в руководстве эксплуатации.

10.1.9 На манометре нажать и удерживать более 1 секунды кнопку «ВЫБОР», выбрать единицу измерения МПа. Нажать на кнопку «ВЫБОР» кратковременным нажатием и выбрать диапазон измерений 0,4 МПа.

10.1.10 Проведите по десять измерений воспроизводимого калибратором давления разрежения в каждой точке поддиапазона при прямом и обратном ходе:

– для поддиапазона от минус 0,1 до 0 МПа: - 0,10; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01 МПа.

10.1.11 Уравнение измерений давления разрежения определяют по формуле:

$$P_x = \overline{P_m} - P_k - (\Delta_{\partial(m)} + \Delta_{\partial\partial\partial(\partial m)} + \delta P_{\partial\partial\partial(m)}), \quad (2)$$

где P_x – оценка результата измерений, МПа;

$\overline{P_m}$ – среднее значение измеренного давления разрежения, МПа;

P_k – значения давления разрежения, выдаваемого эталонным калибратором, МПа;

$\Delta_{\partial(m)}$ – погрешность, обусловленная дискретностью манометра, МПа;

$\Delta_{\partial\partial\partial(k)}$ – значение допускаемой основной приведенной погрешности калибратора, МПа;

$\delta P_{\partial\partial\partial(m)}$ – поправка давления разрежения из-за вариации показаний, МПа.

10.1.12 Перед калибровкой при обратном ходе манометр выдерживают в течении 1 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого давления разрежения.

10.1.13 Погрешность воспроизведения давления разрежения не должна превышать значений, указанных в технической документации на манометр. В противном случае манометр бракуется и направляется в ремонт.

10.2 Определение действительных метрологических характеристик абсолютного давления

10.2.1 Основную погрешность воспроизведения абсолютного давления определяется методом прямых измерений посредством установки по рабочему эталону на входе манометра номинального абсолютного давления и считывание информации на цифровом индикаторе калибруемого манометра.

10.2.2 Соедините клеммы калибратора давления портативного Метран-517 (калибратора) для подключения давления со штуцером манометра, как показано на рисунке 2.

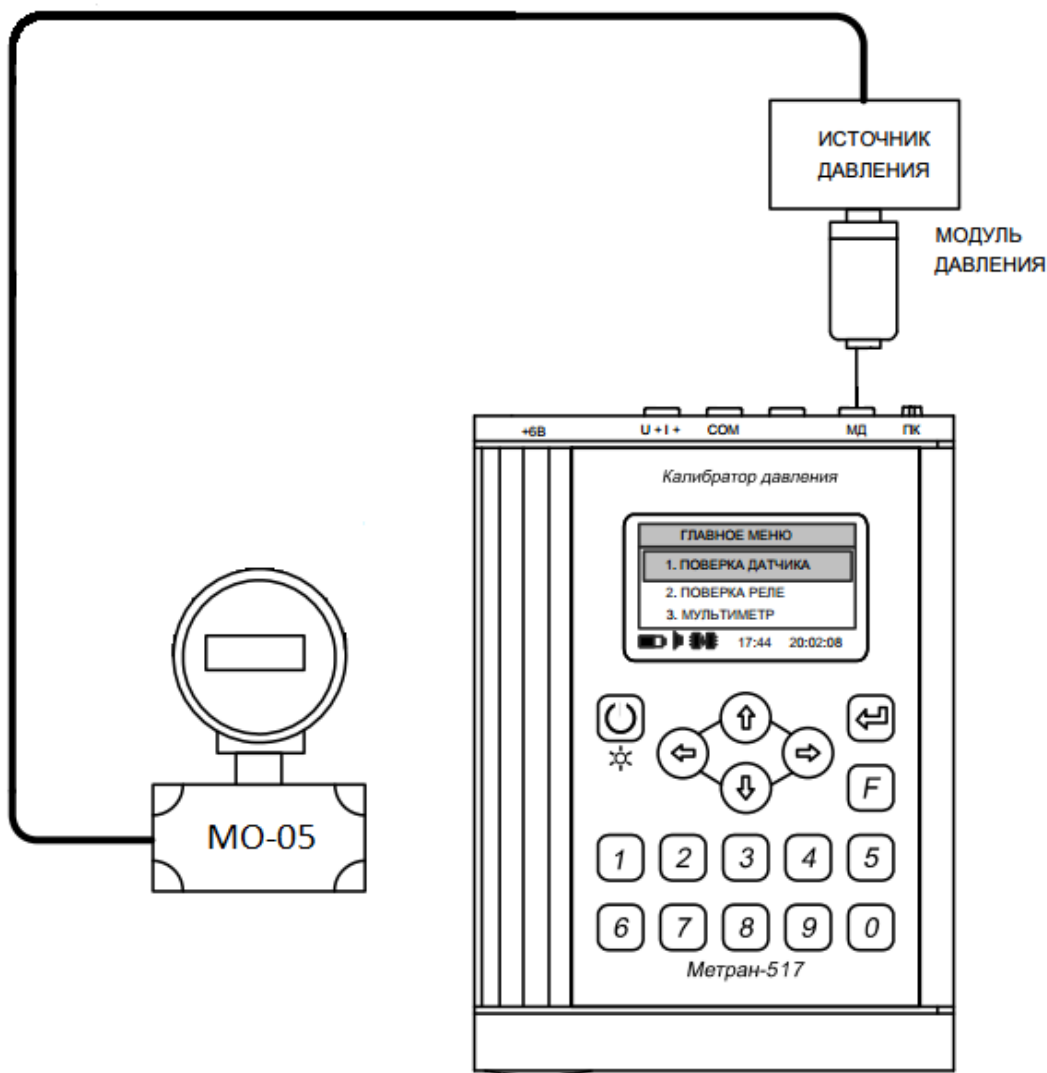


Рисунок 2 – Схема подключения манометра для определения действительных метрологических характеристик давления разрежения

10.2.3 Для работы калибратора в режиме калибровки давления разрежения выбрать пункт «ПОВЕРКА ДАТЧИКА» клавишами «Вверх», «Вниз» нажать клавишу «Ввод» или цифровую клавишу «1».

10.2.4 Убедиться в наличии связи калибратора с модулем давления с помощью вывода на дисплей кратковременного сообщения о подключенном модуле давления.

10.2.5 Для входа в меню «Режим» нажать клавишу «Ввод». В меню «РЕЖИМ» выбрать пункт «3. ОБНУЛИТЬ МОДУЛЬ» и нажать клавишу «Ввод».

10.2.6 Для выбора предела измерений абсолютного давления калибруемого манометра в меню «РЕЖИМ» нажать цифровую клавишу «1» или выбрать пункт «1. ДАТЧИК» и нажать клавишу «Вперед» или «Ввод».

10.2.7 Для выбора значения верхнего предела измерений абсолютного давления, единиц измерений и отображаемой разрядности нажать клавишу «Вперед» или «Ввод» на строке «ВПИ». Клавишами «Вверх», «Вниз» или цифровыми клавишами установить предел измерений - 0,1 МПа. Для сохранения значения верхнего предела измерений нажать клавишу «Ввод».

10.2.8 Более подробная инструкция по подготовке калибратора к калибровке приведена в руководстве эксплуатации.

10.2.9 На манометре нажать и удерживать более 1 секунды кнопку «ВЫБОР», выбрать единицу измерения МПа. Нажать на кнопку «ВЫБОР» кратковременным нажатием и выбрать диапазон измерений 0,4 МПа.

10.2.10 Проведите по десять измерений воспроизводимого калибратором абсолютного давления в каждой точке поддиапазона при прямом и обратном ходе:

- для поддиапазона от 0 до 0,4 МПа: 0,04; 0,08; 0,12; 0,16; 0,20; 0,24; 0,28; 0,32; 0,36; 0,40 МПа;
- для поддиапазона от 0 до 0,6 МПа: 0,06; 0,12; 0,18; 0,24; 0,30; 0,36; 0,42; 0,48; 0,54; 0,60 МПа;
- для поддиапазона от 0 до 1,0 МПа: 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10 МПа;
- для поддиапазона от 0 до 1,6 МПа: 0,16; 0,32; 0,48; 0,64; 0,80; 0,96; 1,12; 1,28; 1,44; 1,60 МПа;
- для поддиапазона от 0 до 2,5 МПа: 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00; 2,25; 2,50 МПа.

10.2.11 Уравнение измерений абсолютного давления определяют по формуле:

$$P_x = \overline{P_m} - P_k - (\Delta_{\partial(m)} + \Delta_{\partial\partial\partial(m)} + \delta P_{вар(m)}), \quad (2)$$

где P_x – оценка результата измерений, МПа;

$\overline{P_m}$ – среднее значение измеренного давления разрежения, МПа;

P_k – значения давления разрежения, выдаваемого эталонным калибратором, МПа;

$\Delta_{\partial(m)}$ – погрешность, обусловленная дискретностью манометра, МПа;

$\Delta_{\partial\partial\partial(m)}$ – значение допускаемой основной приведенной погрешности калибратора, МПа;

$\delta P_{вар(m)}$ – поправка давления разрежения из-за вариации показаний, МПа.

10.2.12 Перед калибровкой при обратном ходе манометр выдерживают в течении 1 мин под воздействием верхнего предельного значения измеряемого абсолютного давления.

10.2.13 Погрешность воспроизведения абсолютного давления не должна превышать значений, указанных в технической документации на манометр. В противном случае манометр бракуется и направляется в ремонт.

10.3.1 Обработку результатов калибровки проводят согласно п.11 настоящей методики, результаты расчетов заносят в таблицу соответственно.

10.3.2 Результаты определения метрологических характеристик считают положительными, если относительная расширенная неопределенность измерений в каждой контрольной точке не превышает значений, установленных в п.2.

10.3.3 Результаты измерений заносят в протокол калибровки.

11 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ

11.1 Оценивание неопределенности по типу А применяется, когда имеются результаты m независимых измерений одной из входных величин x_i , проведенных в одинаковых условиях: $x_{i1}, \dots, x_{im}$. В качестве значения x_i этой величины принимают среднее арифметическое значение.

11.2 Средние арифметические значения m -независимых измерений i -ой входной величины рассчитывают по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m x_{ij}, \quad (4)$$

где i – порядковый номер средних арифметических значений величин в точках измерений, $i = 1, \dots, n$;

j – результаты m -независимых измерений в каждой точке входной величины, $j = 1, \dots, m$.

m – число независимых измерений в каждой точке поддиапазона входной величины, $m = 10$.

11.3 Оценивание стандартной неопределенности по типу А (в единицах измеряемой величины) вычисляют по формуле СКО среднего арифметического значения:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{m \cdot (m - 1)} \cdot \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2},$$

где i – порядковый номер значений входных величин в точках измерений, $i = 1, \dots, n$;

j – порядковый номер результата m -го измерения в каждой точке входной величины;

m – число независимых измерений в каждой точке входной величины, $m = 1, \dots, k$;

x_{ij} – j -ое значение входной величины в i -ой точке измерений;

$\bar{x}_i$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в каждой точке.

11.4 Исходными данными для оценивания значения величины и ее стандартной неопределенности по типу В (в единицах измеряемой величины) являются следующие источники неопределенности:

- неопределенность, обусловленная погрешностью калибратора;
- вариация показаний;
- дискретность отсчета;

11.5 Стандартную неопределенность по типу В u_{B1} , обусловленную погрешностью калибратора, рассчитывают по формуле:

$$u_{B1}(x_i) = \frac{\Delta_{\text{эт}}}{\sqrt{3}}, \quad (6)$$

где $\Delta_{\text{эт}}$ – абсолютная погрешность калибратора, МПа.

11.6 Стандартную неопределенность по типу В u_{B3} , обусловленную дискретностью отсчета калибратора, рассчитывают по формуле:

$$u_{B2}(x_i) = \frac{D}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (8)$$

где D – дискретность (разрешение) калибратора.

11.7 Стандартную неопределенность по типу В u_{B3} , обусловленную дискретностью отсчета манометра, рассчитывают по формуле:

$$u_{B3}(x_i) = \frac{D}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (9)$$

где D – дискретность (разрешение) манометра.

11.8 Стандартную неопределенность по типу В u_{B2} , обусловленную вариацией показаний манометра, рассчитывают по формуле:

$$u_{B4}(x_i) = \frac{\Delta_{\text{вар}(M)}}{\sqrt{3}}, \quad (10)$$

где $\Delta_{\text{вар}(M)}$ – значение вариации показаний манометра, МПа.

11.9 Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$u_c(x_i) = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2}, \quad (12)$$

где $u_A(x_i)$ – неопределенность по типу А i -ой входной величины, МПа;

$u_{B1}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная погрешностью калибратора, МПа;

$u_{B2}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная дискретностью калибратора, МПа;

$u_{B3}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная дискретностью манометра, МПа;

$u_{B4}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная вариацией манометра, МПа.

11.10 Абсолютная погрешность манометра приведена в п.2 настоящей методики, калибратора – в эксплуатационной документации. Абсолютная погрешность, обусловленная отклонением температуры от нормальной, указана в эксплуатационной документации на данный калибратор. Дискретность калибратора также находится в эксплуатационной документации.

11.11 Расширенную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$U = k \cdot u_c, \quad (13)$$

где k – коэффициент охвата, принимаем равным двум.

12 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ

12.1 Оформление записи оценок измеряемых величин проводят в соответствии с требованиями ПМГ 96-2009.

12.2 Округление при обработке результатов измерений выполняют в соответствии с ПМГ 96-2009.

12.3 Результат измеряемой i -ой входной величины единицы измерений для каждой точки поддиапазона представляют в форме:

$$\bar{X}_i, \text{ единица величины; } U; k = 2 \quad (15)$$

где $\bar{X}_i$ – оценка измеряемой величины, единица величины;

U – относительная расширенная неопределенность измерений единицы величины, %;

k – коэффициент охвата при уровне вероятности $P = 0,95, k = 2$.

Приложение Б

(обязательное)

Документы для аттестации манометра цифрового «МО-05» в качестве эталона

Открытое акционерное общество «Интер-РАО – Электрогенерация»
Филиал «Гусиноозерская ГРЭС» ОАО «Интер РАО – Электрогенерация»

ПАСПОРТ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН ДАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЯ 3 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ МИНУС 0,1 ДО 0 МПА, ИЗБЫТОЧНОГО
ДАВЛЕНИЯ 3 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 2,4 МПА

№ 001-0001

ПАСПОРТ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН ДАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЯ 3 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ МИНУС 0,1 ДО 0 МПа, ИЗБЫТОЧНОГО
ДАВЛЕНИЯ 3 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 2,4 МПа

СОСТАВ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Рабочий эталон состоит из комплекса основных и вспомогательных технических средств, приведенных в эксплуатационной документации на эталон и указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Состав эталона

№	Наименование	Тип	Заводской номер	Примечание
001	Манометр цифровой	МО-05	503430	

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Диапазон значений давления разрежения, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от минус 0,1 до 0 МПа.

Диапазон значений избыточного давления, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от 0 до 2,5 МПа.

Таблица 2 – Метрологические характеристики рабочего эталона

Измеряемая величина	Ед. изм.	Диапазон min ... max	Абсолютная погрешность, Δ	
			Значение	Ед.изм.
Абсолютное давление	МПа	0-0,4	$\pm 0,0006$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-0,6	$\pm 0,0009$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-1	$\pm 0,0015$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-1,6	$\pm 0,0024$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-2,5	$\pm 0,00375$	МПа

Межаттестационный интервал рабочего эталона единиц давления разрежения 3 разряда в диапазоне значений от минус 0,1 до 0 МПа, избыточного давления 3 разряда в диапазоне значений от 0 до 2,5 МПа составляет 12 месяцев.

ГОД ВЫПУСКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Эталон изготовлен ООО «Гидрогазкомплект», г. Москва в 2014 г.

МЕСТО И УСЛОВИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Эталон содержат и применяют в Филиале «Гусиноозерская ГРЭС» АО «Интер-РАО – Электрогенерация» в условиях, соответствующих Правилам содержания и применения эталона (ПрС № 001-0001).

ОТДЕЛ (ЛАБОРАТОРИЯ), ОТВЕСТВЕННЫЙ ЗА РАБОЧИЙ ЭТАЛОН

Лаборатория метрологии цеха АСУ ТП

Директор филиала
«Гусиноозерская ГРЭС»
АО «Интер-РАО-Электрогенерация»

_____ М.Ю. Человечкин
подпись Инициалы, фамилия

Инженер по метрологии 2 категории
цеха АСУТП

_____ А.Н.Суранова
подпись Инициалы, фамилия

Эталон утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ № _____ .

ВКЛАДНОЙ ЛИСТ К ПАСПОРТУ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

№ 3.4.XXX.0001.2017

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

ЕДИНИЦ ДАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЯ, АБСОЛЮТНОГО ДАВЛЕНИЯ

[illegible]

ИЗМЕНЕНИЯ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

[illegible]

ПРАВИЛА СОДЕРЖАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

(ПрС № 001-0001)

ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН ДАВЛЕНИЯ РАЗРЕЖЕНИЯ 3 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ МИНУС 0,1 ДО 0 МПа, ИЗБЫТОЧНОГО
ДАВЛЕНИЯ 3 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 2,4 МПа

СОСТАВ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Таблица 1 – Состав рабочего эталона

№	Наименование	Тип	Заводской номер
1	Манометр цифровой	МО-05	503430

1. Обязательные метрологические и технические требования к рабочему эталону.

1.1. Метрологические требования.

1.1.2. Метрологические характеристики рабочего эталона соответствуют требованиям, предъявляемым к эталонам 3-го разряда по ГОСТ Р 8.802-2012 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа».

1.1.2. Вид измеряемого давления, диапазоны измерений давления должны соответствовать указанным в таблице 2.

Таблица 2 – Диапазоны измерений давления

Измеряемый параметр	Пределы измерений, МПа
Давление разрежения	от -0,1 до 0
Абсолютное давление	от 0 до 0,4
Абсолютное давление	от 0 до 0,6
Абсолютное давление	от 0 до 1,0
Абсолютное давление	от 0 до 1,6
Абсолютное давление	от 0 до 2,5

1.1.3. Пределы допускаемой приведенной погрешности γ , % от верхнего предела измерений (ВПИ) для поддиапазонов:

- от минус 0,1 до 0 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 0,4 МПа: $\pm 0,15$ %;
- от 0 МПа до 0,6 МПа: $\pm 0,15$ %;

- от 0 МПа до 1 МПа: $\pm 0,15 \%$;
- от 0 МПа до 1,6 МПа: $\pm 0,15 \%$;
- от 0 МПа до 2,5 МПа: $\pm 0,15 \%$.

1.1.4. Вариация не должна превышать $\pm 0,5 \cdot \gamma$.

1.1.5. Максимальное допускаемое давление: не более 25 % от ВПИ.

1.1.6. Рабочий эталон должен быть устойчив к воздействию синусоидальных вибраций высокой частоты (с частотой перехода от 57 до 62 Гц) со следующими параметрами:

- частота, Гц 50 – 80
- амплитуда смещения для частоты ниже частоты перехода, мм 0,15
- амплитуда ускорения для частоты выше частоты перехода, м/с 19,6

1.1.7. Дополнительная погрешность, вызванная воздействием вибрации с параметрами, указанными в п.1.1.5, не должна превышать γ .

1.1.8. При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$ 23 ± 2
- относительная влажность воздуха, % 30 – 80
- атмосферное давление, кПа 84 – 106,7

1.1.9. Дополнительная погрешность от изменения температуры окружающей среды, % / 10°C : $\pm 0,5 \cdot \gamma$.

1.1.10. Дополнительная погрешность манометра абсолютного давления, вызванная изменением атмосферного давления на ± 10 кПа (75 мм.рт.ст.) от установившегося значения в пределах от 84 до 106,7 кПа (от 630 до 800 мм.рт.ст.), не должна превышать $\pm 0,2 \cdot \gamma$.

1.1.11. Рабочая среда – нейтральный газ при калибровке рабочего эталона с верхними пределами измерений более 0,6 МПа при условии соблюдения соответствующих правил безопасности.

1.1.12. Вибрация, тряска, удары, наклоны, магнитные поля (кроме земного) и другие воздействия, влияющие на работу и метрологические характеристики рабочего эталона должны отсутствовать.

1.2. Технические требования.

1.2.1. Потребляемая мощность должна быть не более 0,117 Вт (при максимальной яркости индикатора).

1.2.2. Электрическое питание рабочего эталона осуществляется от трех литиевых батареек АА, при отрицательных температурах питание осуществляется от автономного источника питания $U = 220$ В и подключается к разъему mini USB манометра.

1.2.3. Масса рабочего эталона не должна превышать 0,8 кг.

1.2.4. Габаритные размеры должны соответствовать следующим значениям: 180x108x50.

1.2.5. Средняя наработка на отказ составляет 150000 часов.

1.2.6. Степень защиты рабочего эталона от воздействия воды и пыли – IP65 по ГОСТ 14254-96.

1.2.7. Изоляция электрических цепей относительно корпуса должна выдерживать в течение 1 мин действие испытательного напряжения практически синусоидальной формы частотой от 45 до 65 Гц:

- 500 В при температуре окружающего (20 ± 5) °С и относительной влажности от 30 до 80 %;

- 300 В при температуре окружающего (35 ± 3) °С и относительной влажности (95 ± 3) %.

1.2.8. Сопротивление изоляции электрических цепей рабочего эталона относительно корпуса при испытательных напряжениях 100 В должно быть не менее:

- 20 МОм при температуре окружающего воздуха (20 ± 5) °С и относительной влажности от 30 до 80 %;

- 5 МОм при верхнем значении рабочей температуры окружающего воздуха и относительной влажности от 30 до 80 %;

- окружающего воздуха (35 ± 3) °С.

1.2.9. Рабочий эталон в транспортной таре должен выдерживать воздействие температуры окружающего воздуха от минус 50 °С до плюс 50 °С и относительную влажность 98 % при температуре 35 °С.

1.2.10. Рабочий эталон в транспортной таре должны выдерживать воздействие относительной влажности окружающего воздуха 98 % при температуре 35 °С.

1.2.11. Рабочий эталон в транспортной таре должен выдерживать воздействие:

- вибрации по группе F3 ГОСТ Р 52931-2008;

- ударной тряски с числом ударов в минуту 80, средним квадратическим значением ускорения 98 м/с^2 и продолжительностью воздействия 1 ч.

2. Межаттестационный интервал рабочего эталона единиц давления разрежения 3 разряда, избыточного давления 3 разряда составляет 12 месяцев.

3. Требования к помещениям и условиям содержания и применения рабочего эталона.

3.1. Условия транспортирования и хранения рабочего эталона должны соответствовать условиям хранения 5 по ГОСТ 15150.

3.2. Рабочий эталон в упаковке предприятия-изготовителя может транспортироваться любым видом закрытого транспорта, в том числе воздушным транспортом в отопливаемых герметизированных отсеках, в соответствии с правилами перевозки грузов, действующими на каждом виде транспорта.

3.3. Во время погрузочно-разгрузочных работ и транспортирования ящики не должны подвергаться резким ударам и воздействию атмосферных осадков. Способ укладки ящиков на транспортное средство должен исключить их перемещение при транспортировании.

3.4. Срок пребывания рабочего эталона в условиях транспортирования: не более 3 мес.

3.5. Рабочий эталон может храниться как в транспортной таре, так и в потребительской, условия хранения – 2 по ГОСТ 15150.

3.6. В зимнее время распаковку рабочего эталона производят в отопливаемом помещении. Для исключения оседания влаги на рабочем эталоне, ящики следует открывать лишь после того, как рабочий эталон примет температуру окружающего воздуха.

3.7. Хранение рабочего эталона в упаковке должно соответствовать условиям хранения 1 по ГОСТ 15150 и осуществляться на стеллажах в сухом вентилируемом помещении при температуре от плюс 5 °С до 40 °С и относительной влажности воздуха до 80 %.

3.8. Требования по хранению относятся к складским помещениям поставщика и потребителя.

3.9. В помещениях для хранения не должно быть пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию деталей рабочего эталона.

3.10. Расстояние между стенами, полом хранилища и рабочего эталона должно быть не менее 100 мм.

4. Требования по установке, регулировке и подготовке рабочего эталона единиц давления разрежения 3 разряда, избыточного давления 3 разряда к его эксплуатации.

4.1. При использовании рабочего эталона после хранения его при температуре, отличающейся от температуры эксплуатации, манометр выдержать в течение 3 часов при температуре эксплуатации перед включением.

4.2. Установить рабочий эталон в вертикальное положение. Включить питание, нажав кнопку «ВКЛ» удерживая более 2 секунд. Нажатие более 2 секунд кнопки «ВКЛ» при включенном состоянии рабочего эталона отключает прибор. Во включенном состоянии кратковременное нажатие кнопки «ВКЛ» увеличивает яркость свечения экрана.

4.3. После включения питания в течение 20 секунд производится самодиагностика рабочего эталона, о чем свидетельствует мигание светодиодов. Во время самодиагностики атмосферное давление (давление, подведенное к штуцеру) принимается за нулевое значение. Рабочий эталон переключается на максимальный диапазон.

4.4. Через 15 минут рабочий эталон (время, необходимое для прогрева сенсора и электронных компонентов), необходимо выключить и включить, после самодиагностики он готов к работе на максимальном диапазоне в единицах измерения МПа.

Примечание: При включении, рабочий эталон самокалибруется, поэтому не допустимо подавать на него давление до ее окончания. Перед тем как начать работу с давлением разрежения, его необходимо выключить и включить для дополнительной калибровки (привязка «нуля» к атмосферному давлению).

4.5. Кнопкой «ВЫБОР» выбрать нужный диапазон и единицу измерения давления.

4.6. При кратковременном нажатии на кнопку «ВЫБОР» происходит выбор диапазона измерений, при нажатии и удержании более 1 сек на кнопку «ВЫБОР» происходит выбор единиц измерения.

4.7. После проведения указанных процедур настройки рабочий эталон готов к работе. При работе следует помнить:

- через 30 минут после включения питания отображения на индикаторе гаснет, для возобновления индикации необходимо нажать любую кнопку;

- при давлении больше выбранного диапазона на 2% индикатор мигает, включается зуммер, предупреждая о необходимости выбрать другой диапазон.

4.8. При внешнем осмотре должно быть установлено отсутствие механических повреждений корпуса, штуцера, препятствующих присоединению и не обеспечивающих герметичность и прочность соединения, стекла и индикатора, влияющих на метрологические характеристики.

4.9. Среда, окружающая рабочий эталон, не должна содержать примесей, вызывающих коррозию деталей.

4.10. Стекло индикатора должно быть чистым и не иметь дефектов, препятствующих правильному отсчету показаний.

4.11. Соединение корпуса со штуцером должно быть прочным, не допускающим смещение корпуса.

4.12. Резьбы на штуцере рабочего эталона не должны иметь сорванных ниток.

4.13. Рабочий эталон, имеющие дефекты, дальнейшей калибровке не подвергается, бракуется и направляется в ремонт.

4.14. На рабочем эталоне должна быть нанесена маркировка, соответствующая паспорту.

4.15. При опробовании проверяют его работоспособность и герметичность, правильность функционирования индикатора и кнопок.

4.16. Работоспособность рабочего эталона проверяют, изменяя измеряемое давление от нижнего предельного значения до верхнего. Для единицы давления-разрежения работоспособность проверяют только при избыточном давлении, для единицы разрежения с верхним пределом измерений 100 кПа - при изменении разрежения до значения, равного не менее чем 0,9 атмосферного давления.

4.17. Проверку герметичности рабочего эталона рекомендуется совмещать с операцией определения метрологических характеристик.

4.18. Методика проверки герметичности аналогична методике проверки герметичности системы со следующими особенностями:

- изменение давления или разрежения определяют по изменению показаний цифрового индикатора калибруемого средства измерений, включенного в систему;

- в случае обнаружения негерметичности системы с калибруемым средством измерения следует проверить отдельно систему и рабочий эталон.

5. Процедура контроля технического состояния рабочего эталона и условий его содержания и применения.

5.1. При контроле технического состояния рабочего эталона фиксируют условия окружающей среды в Журнале регистрации условий окружающей среды в помещении лаборатории метрологии ЦТАИ, а также выполняется комплекс работ по подготовке, включающий в себя:

- проверку комплектности установки;
- проверку исправности и работоспособности рабочего эталона;
- проверку отсутствия механических повреждений корпуса;
- осмотр внешнего и внутреннего состояния рабочего эталона,

включающий в себя проверку сохранности органов управления, переключателей диапазонов и выбора единиц измерений.

6. Процедура технического обслуживания средств измерений, используемых для передачи значения величины, вспомогательных средств измерений и дополнительного оборудования.

6.1. Периодичность технического обслуживания рабочего эталона устанавливается на усмотрение предприятия. В процессе профилактического осмотра должны быть выполнены следующие мероприятия:

- чистка контактов соединителей;
- проверка целостности пайки, крепления и изоляции соединительного кабеля;
- проверка сопротивления изоляции соединительного кабеля;
- проверку прочности и герметичности корпуса.

6.2. Мероприятия по техническому обслуживанию регистрируют в Журнале «Техническое обслуживание средств калибровки и СИ, подлежащих ГРОЕИ».

6.3. Ежедневно ведется фиксация условий окружающей среды в «Журнале регистрации условий окружающей среды в помещении лаборатории метрологии ЦТАИ».

7. Методика периодической аттестации рабочего эталона.

7.1. При проведении периодической аттестации рабочего эталона должны быть выполнены следующие операции:

- калибровку рабочего эталона;
- контроль условий содержания и применения рабочего эталона;
- оценка соответствия рабочего эталона требованиям поверочной схемы и требованиям к содержанию и применению рабочего эталона, изложенным в Правилах содержания и применения эталона.

7.2. На калибровку рабочего эталона должны быть представлены следующие документы:

- сертификат и протокол предыдущей калибровки (при наличии);
- эксплуатационная документация на манометр;
- действующие сертификаты калибровки и эксплуатационная документация на средства измерений, применяемые при калибровке.

7.3. Калибровку рабочего эталона проводят в соответствии с методикой калибровки МК 410200.012-2017 «Манометры цифровые МО-05. Методика калибровки».

7.4. При контроле условий содержания и применения рабочего эталона выполняются измерения параметров среды содержания и применения рабочего эталона, указанных в п.3 настоящих Правил. При положительных результатах оценки соответствия держатель эталона оформляет Свидетельство об аттестации рабочего эталона.

7.5. В случае признания рабочего эталона несоответствующим требованиям поверочной схемы и требованиям к содержанию и применению рабочего эталона, изложенным в Правилах содержания и применения рабочего эталона, держатель эталона оформляет Извещение о непригодности рабочего

эталона к применению установленного образца, копию которого в недельный срок направляет во ФГУП «ВНИИМС».

7.6. Восстановленный после ремонта рабочий эталон подлежит повторной периодической аттестации в полном объеме.

Директор филиала

«Гусиноозерская ГРЭС»

АО «Интер-РАО-Электрогенерация»

_____ М.Ю. Человечкин
подпись Инициалы, фамилия

Инженер по метрологии 2 категории
цеха АСУТП

_____ А.Н.Суранова
подпись Инициалы, фамилия

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН

01 Наименование эталона (в соответствии с паспортом)
Рабочий эталон единиц величин давления разрежения 3 разряда в диапазоне значений от минус 0,1 до 0 МПа, избыточного давления 3 разряда в диапазоне значений от 0 до 2,4 МПа
02 Наименование и обозначение стандарта (документа) на государственную или локальную поверочную схему.
ГОСТ Р 8.802-2012 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа»
03 Статус или разряд (уровень) эталона по государственной или локальной поверочной схеме
3 разряд
04 Форма собственности (государственный или принадлежащий указанной организации)
Принадлежащий открытому акционерному обществу «Интер-РАО – Электрогенерация» филиалу «Гусиноозерская ГРЭС» ОАО «Интер РАО – Электрогенерация»
05 Межаттестационный интервал (кол. месяцев)
12 месяцев
06 Регистрационный номер эталона
3.4.XXX.0001.2017
07 Наименование организации-держателя эталона, имеющего более высокие показатели точности, осуществивший поверку эталона
Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Бурятия»
08 Регистрационные номера утвержденных эталонов, от которых осуществлена передача единицы
3.1.ZAB.0265.2015
09 Вид измерений в соответствии с рекомендациями по метрологии МИ 2314-2006 «ГСИ. Кодификатор групп средств измерений»
30
10 Регистрационный(ые) номер(а) государственного первичного эталона, к которому осуществляют прослеживаемость эталона
ГЭТ23-2010

11. Диапазоны значений величин, в которых рабочий эталон хранит и передает единицу. Характеристики точности рабочего эталона.

Измеряемая величина	Ед. изм.	Диапазон min ... max	Абсолютная погрешность, Δ	
			Значение	Ед.изм.
Абсолютное давления	МПа	0-0,4	$\pm 0,0006$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-0,6	$\pm 0,0009$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-1	$\pm 0,0015$	МПа

Абсолютное давление	МПа	0-1,6	$\pm 0,0024$	МПа
Абсолютное давление	МПа	0-2,5	$\pm 0,00375$	МПа

12. Состав рабочего эталона

Наименование, тип СИ	N в Госреестре СИ	Изготовитель, зав. N, год выпуска	МПИ (межповерочный интервал)	Сведения о поверке СИ		
				Дата последней поверки	Название организации, выполнявшей поверку	Эталон, используемый для поверки
Манометр цифровой МО-05	54409-13	ООО «Гидрогазкомплект», г. Москва	12 месяцев	05.02.2016	ФБУ «Бурятский ЦСМ»	Калибратор давления портативный Метран-517

Открытое акционерное общество «Интер-РАО – Электрогенерация»
Филиал «Гусиноозерская ГРЭС» ОАО «Интер РАО – Электрогенерация»,
671160, Республика Бурятия, г.Гусиноозерск

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об аттестации рабочего эталона

№ 0001

Дата выдачи «02» июня 2017 г.

Действительно до «02» июня 2018 г.

--

Рабочий эталон

единиц давления разрежения 3 разряда в диапазоне значений от минус 0,1 до 0 МПа, избыточного давления 3 разряда в диапазоне значений от 0 до 2,4 МПа
аттестован на соответствие обязательным требованиям (метрологическим и техническим требованиям, требованиям к содержанию и применению рабочего эталона), утвержденным приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ N _____.

Метрологические требования

Рабочий эталон соответствует уровню 3 разряда государственной поверочной схемы ГОСТ Р 8.802-2012 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа».

Технические требования

Комплектность и программное обеспечение государственного эталона соответствуют характеристикам, определенным в Паспорте эталона, требованиям Правил содержания и применения эталона и иной технической документации и обеспечивают безопасность эксплуатации эталона.

Требования к содержанию и применению

Условия эксплуатации соответствуют требованиям ГКМТ 410200.012-012 ПС. «Манометры цифровые МО-05.Руководство по эксплуатации».

Директор филиала
«Гусиноозерская ГРЭС»
АО «Интер-РАО-Электрогенерация»

_____	<u>М.Ю. Человечкин</u>
подпись	Инициалы, фамилия

Инженер по метрологии 2 категории
цеха АСУТП

_____	<u>А.Н.Суранова</u>
подпись	Инициалы, фамилия

Данное свидетельство может быть воспроизведено только полностью. Любые публикации или частичное воспроизведение содержания свидетельства возможны только с письменного разрешения организации, выдавшей данное свидетельство.

Неотъемлемой частью данного Свидетельства являются приложения в виде Сертификата калибровки.

Приложение В

(обязательное)

Методика калибровки калибратора многофункционального «Fluke 5520A»

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой СУМ Федерального
государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный
исследовательский Томский
политехнический университет»

«__» _____ 20__

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ

КАЛИБРАТОР МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ «FLUKE 5520A»

МК ФЮРА.001-2017

Содержание

Вводная часть

- 1 Нормативные ссылки
- 2 Технические требования
 - 2.1 Требования к неопределенностям измерений
 - 2.2 Требования к средствам калибровки и вспомогательному оборудованию
 - 2.3 Требования к условиям проведения калибровки
- 3 Требования к квалификации калибровщиков
- 4 Требования по обеспечению безопасности
- 5 Подготовка к процедуре калибровки
- 6 Внешний осмотр
- 7 Опробование
- 8 Процедура проведения калибровки
 - 8.1 Определение метрологических характеристик калибратора
- 9 Обработка результатов калибровки
- 10 Оформление результатов калибровки
- 11 Подтверждение соответствия программного обеспечения

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Настоящая методика калибровки (далее – методика) распространяется на калибратор многофункциональный Fluke 5520A и устанавливает методы и средства их калибровки с последующей аттестацией калибратора в качестве эталона следующих единиц величин:

- напряжения постоянного тока;
- силы постоянного тока;
- электрического сопротивления постоянному току;
- напряжения переменного тока;
- силы переменного тока;

Рекомендуемый межкалибровочный интервал – 1 год.

1 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей методике имеются ссылки на следующие нормативные документы:

- Приказ Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления»;
- ГОСТ 8.879-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению;
- ГОСТ 8.022-91 ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А;
- ГОСТ 8.027-2001 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы;
- ГОСТ 8.832-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ.
- ГОСТ Р 8.648-2015 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц.

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1 Требования к метрологическим характеристикам калибратора

Основные метрологические характеристики калибратора многофункционального Fluke 5520A приведены в таблицах 1 – 5.

Таблица 1 – Напряжение постоянного тока

Диапазон воспроизведения U_0	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха (21 ± 2) °С	Разрешение
--------------------------------	--	------------

Таблица 1 – Напряжение постоянного тока

Диапазон воспроизведения $U_{\pm}$	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$	Разрешение
от 0 до 329,9999 мВ	$\pm (U \cdot 20 \times 10^{-6} + 1 \text{ мкВ})$	0,1 мкВ
от 0 до 3,299999 В	$\pm (U \cdot 11 \times 10^{-6} + 2 \text{ мкВ})$	1 мкВ
от 0 до 32,99999 В	$\pm (U \cdot 12 \times 10^{-6} + 20 \text{ мкВ})$	10 мкВ
от 30 до 329,9999 В	$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 150 \text{ мкВ})$	100 мкВ
от 100 до 1020 В	$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 1500 \text{ мкВ})$	1000 мкВ

Таблица 2 – Сила постоянного тока

Диапазон воспроизведения $I_{\pm}$	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$	Разрешение
от 0 до 329,999 мкА	$\pm (I \cdot 150 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ мкА})$	1 нА
от 0 до 3,29999 мА	$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 0,05 \text{ мкА})$	10 нА
от 0 до 32,9999 мА	$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 0,25 \text{ мкА})$	0,1 мкА
от 0 до 329,999 мА	$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 2,5 \text{ мкА})$	1 мкА
от 0 до 1,09999 А	$\pm (I \cdot 200 \times 10^{-6} + 40 \text{ мкА})$	10 мкА
от 1,1 до 2,99999 А	$\pm (I \cdot 380 \times 10^{-4} + 40 \text{ мкА})$	10 мкА
от 0 до 10,9999 А	$\pm (I \cdot 500 \times 10^{-4} + 500 \text{ мкА})$	100 мкА
от 11 до 20,5 А	$\pm (I \cdot 1000 \times 10^{-4} + 750 \text{ мкА})$	100 мкА

Таблица 3 – Электрическое сопротивление постоянному току

Диапазон воспроизведения R	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха $(21 \pm 2) ^\circ\text{C}$	Разрешение
от 0 до 10,9999 Ом	$\pm (R \cdot 40 \times 10^{-6} + 0,01 \text{ Ом})$	0,0001 Ом
от 11 до 32,9999 Ом	$\pm (R \cdot 30 \times 10^{-6} + 0,015 \text{ Ом})$	0,0001 Ом
от 33 до 109,9999 Ом	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,015 \text{ Ом})$	0,0001 Ом
от 110 до 329,9999 Ом	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ Ом})$	0,0001 Ом
от 330 Ом до 1,099999 кОм	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ Ом})$	0,001 Ом
от 1,1 до 3,299999 кОм	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,2 \text{ Ом})$	0,001 Ом
от 3,3 до 10,99999 кОм	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,1 \text{ Ом})$	0,01 Ом
от 11 до 32,99999 кОм	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 1,0 \text{ Ом})$	0,01 Ом
от 33 до 109,9999 кОм	$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 1,0 \text{ Ом})$	0,1 Ом
от 110 до 329,9999 кОм	$\pm (R \cdot 32 \times 10^{-6} + 10,0 \text{ Ом})$	0,1 Ом,
от 330 кОм до 1,099999 МОм	$\pm (R \cdot 32 \times 10^{-6} + 10,0 \text{ Ом})$	1 Ом
от 1,1 до 3,299999 МОм	$\pm (R \cdot 60 \times 10^{-6} + 50,0 \text{ Ом})$	1 Ом
от 3,3 до 10,99999 МОм	$\pm (R \cdot 130 \times 10^{-6} + 250 \text{ Ом})$	10 Ом
от 11 до 32,99999 МОм	$\pm (R \cdot 250 \times 10^{-6} + 2500 \text{ Ом})$	10 Ом
от 33 до 109,9999 МОм	$\pm (R \cdot 5 \times 10^{-4} + 3000 \text{ Ом})$	100 Ом
от 110 до 329,999 МОм	$\pm (R \cdot 3 \times 10^{-3} + 100 \text{ кОм})$	1000 Ом
от 330 до 1100 МОм	$\pm (R \cdot 1,5 \times 10^{-2} + 500 \text{ кОм})$	10000 Ом

Таблица 4 – Напряжение переменного тока

Диапазон воспроизведения $U_{\sim}$	Частота	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$	Разрешение
от 1,0 до 32,999 мВ	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 600 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$	1 мкВ
	от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 120 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$	
	от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 160 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$	
	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$	
	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 3 \times 10^{-3} + 12 \text{ мкВ})$	
	от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 6 \times 10^{-3} + 50 \text{ мкВ})$	
от 33 до 329,999 мВ	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 500 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$	1 мкВ
	от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 130 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$	
	от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 150 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$	
	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 350 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$	
	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 8 \times 10^{-4} + 32 \text{ мкВ})$	
	от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$	
от 0,33 до 3,29999 В	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$	10 мкВ
	от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 120 \times 10^{-6} + 25 \text{ мкВ})$	
	от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 190 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$	
	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$	
	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 700 \times 10^{-6} + 125 \text{ мкВ})$	
	от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2,4 \times 10^{-3} + 600 \text{ мкВ})$	
от 3,3 до 32,9999 В	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 650 \text{ мкВ})$	100 мкВ
	от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 150 \times 10^{-6} + 200 \text{ мкВ})$	
	от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 240 \times 10^{-6} + 600 \text{ мкВ})$	
	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 350 \times 10^{-6} + 600 \text{ мкВ})$	
	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 900 \times 10^{-6} + 1600 \text{ мкВ})$	
	от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$	
от 33 до 329,999 В	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (U \cdot 190 \times 10^{-6} + 2000 \text{ мкВ})$	100 мкВ
	от 1 до 10 кГц	$\pm (U \cdot 200 \times 10^{-6} + 6000 \text{ мкВ})$	
	от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 250 \times 10^{-6} + 6000 \text{ мкВ})$	
	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 20 \text{ мВ})$	
	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 50 \text{ мВ})$	
	от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$	
от 330 до 1020 В	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$	10 мВ
	от 1 до 5 кГц	$\pm (U \cdot 250 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$	
	от 5 до 10 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$	
	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 20 \text{ мВ})$	
	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 50 \text{ мВ})$	
	от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$	

Таблица 5 – Сила переменного тока

Диапазон воспроизведения $I_{\sim}$	Частота	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$
от 29,00 до 329,99 мкА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
	от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,125 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$

Таблица 5 – Сила переменного тока

Диапазон воспроизведения I_x	Частота	Пределы допускаемой основной погрешности при температуре окружающего воздуха $(21 \pm 2)^\circ\text{C}$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,3 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
	от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,8 \times 10^{-2} + 0,2 \text{ мкА})$
	от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 1,6 \times 10^{-2} + 0,4 \text{ мкА})$
от 0,33 до 3,2999 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
	от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,125 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,2 \text{ мкА})$
	от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,5 \times 10^{-2} + 0,3 \text{ мкА})$
	от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 1,0 \times 10^{-2} + 0,6 \text{ мкА})$
от 3,3 до 32,999 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
	от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,09 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,04 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,08 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
	от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 3,0 \text{ мкА})$
	от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 0,4 \times 10^{-2} + 4,0 \text{ мкА})$
от 33 до 329,99 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
	от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,09 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,04 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 50 \text{ мкА})$
	от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
	от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 0,4 \times 10^{-2} + 200 \text{ мкА})$
от 0,33 до 1,09999 А	от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,05 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,6 \times 10^{-2} + 1000 \text{ мкА})$
	от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
от 1,1 до 2,99999 А	от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,06 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,6 \times 10^{-2} + 1000 \text{ мкА})$
	от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
от 3 до 10,9999 А	от 45 до 100 Гц	$\pm (I \cdot 0,06 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
	от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
от 11 до 20,5 А	от 45 до 100 Гц	$\pm (I \cdot 0,12 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
	от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$

2.2 Требования к средствам калибровки и вспомогательному оборудованию

2.2.1 При проведении калибровки проводят операции, указанные в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень операций калибровки

Наименование операции	Номер пункта методики калибровки	Проведение операции при	
		первичной калибровке	периодической калибровке

Таблица 6 – Перечень операций калибровки

Наименование операции	Номер пункта методики калибровки	Проведение операции при	
		первичной калибровке	периодической калибровке
Внешний осмотр	6.1	Да	Да
Опробование	6.2	Да	Да
Определение метрологических характеристик:	7.1	Да	Да
Определение погрешности воспроизведения напряжения постоянного тока	7.1.1	Да	Да
Определение погрешности воспроизведения силы постоянного тока	7.1.2	Да	Да
Определение погрешности воспроизведения электрического сопротивления	7.1.3	Да	Да
Определение погрешности воспроизведения силы переменного тока	7.1.4	Да	Да
Подтверждение соответствия программного обеспечения			

2.2.2 При несоответствии характеристик калибратора установленным требованиям по любому из пунктов таблицы 6 их к дальнейшей калибровке не допускают.

2.2.3 При проведении калибровки применяют следующие средства калибровки, которые представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Средства калибровки	
Номер пункта методики поверки	Наименование и тип основного или вспомогательного средства поверки; обозначение нормативного документа, регламентирующего технические требования и метрологические и основные технические характеристики средства поверки
7	Осциллограф TDS3052C; РЭ
8.1.1	Мультиметр 3458A; РЭ
8.1.2	Мультиметр 3458A; РЭ
8.1.3	Мультиметр 3458A; РЭ
8.1.4	Мультиметр цифровой Fluke 8846A; РЭ
8.1.5	Компаратор напряжений Р3017, 10 нВ – 10 В; 0,0002 %. Милливольтметр ВЗ-60, 10 мкВ – 1000 В, 20 Гц – 100 кГц, 0,035 – 0,2 %. Комплекты термоэлектрических преобразователей напряжения ПНТЭ-6А, ТПН-1, КПП-1 1-го разряда. Делитель напряжения трансформаторный ДНТ-9
2.3	Компактный термогигрометр; $\Delta = \pm 1^\circ\text{C}$
2.3	Барометр-анероид БР-52; Диапазон значений: от 720 до 780 мм.рт.ст.; $\Delta = \pm 3$ мм рт.ст. на участке шкалы от 730 до 770 мм и $\Delta = \pm 5$ мм рт.ст. в остальном диапазоне значений

2.2.4 Средства измерений, применяемые при калибровке, должны быть внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений и иметь действующие свидетельства о поверке и (или) знаки поверки.

2.2.5 Прослеживаемость к государственным первичным эталонам может быть обеспечена использованием в качестве средств калибровки аттестованных эталонов утвержденного типа.

2.2.6 Прослеживаемость измерений реализуется в соответствии с документами:

- Приказ Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления»;

- ГОСТ 8.022-91 ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А;

- ГОСТ 8.027-2001 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы;

- ГОСТ 8.832-2013 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ.

- ГОСТ Р 8.648-2015 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц.

2.2.7 Допускается применение других средств калибровки, обеспечивающих определение действительных значений метрологических характеристик с требуемой точностью.

2.3 Требования к условиям проведения калибровки

2.3.1 При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия:

- температура окружающего воздуха, °С..... 20 ± 5
- относительная влажность воздуха, %.....30 – 80
- атмосферное давление, кПа.....84 – 106

Средства калибровки подготавливают к работе согласно указаниям, приведенным в соответствующих эксплуатационных документах.

3 ТРЕБОВАНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ КАЛИБРОВЩИКОВ

К калибровке калибратора допускают лиц, аттестованных на право калибровки средств измерений электрических и магнитных величин.

Калибровщик должен пройти инструктаж по технике безопасности и иметь удостоверение на право работы на электроустановках с напряжением до 1000 В с группой допуска не ниже III.

4 ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ

При проведении калибровки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.007.3, ГОСТ 12.3.019, "Правил эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденных Главгосэнергонадзором.

Также должны быть обеспечены требования безопасности, указанные в эксплуатационных документах на средства калибровки.

5 ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ КАЛИБРОВКИ

5.1 При подготовке к процедуре калибровки проверяют наличие и состояние средств калибровки согласно их эксплуатационной документации.

6 ВНЕШНИЙ ОСМОТР

6.1 При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие поверяемого калибратора следующим требованиям:

- комплектности измерителя в соответствии с руководством по эксплуатации;
- не должно быть механических повреждений корпуса, лицевой панели, органов управления, все надписи на панелях должны быть четкими и ясными;
- все разъемы не должны иметь повреждений и должны быть чистыми.

6.2 Калибраторы, имеющие дефекты, дальнейшей калибровке не подвергаются, бракуются и направляются в ремонт.

7 ОПРОБОВАНИЕ

7.1 При опробовании калибраторов проверяется работоспособность калибратора в основных режимах работы, правильность функционирования табло и кнопок, правильность прохождения встроенных тестовых программ по отсутствию индицируемых ошибок. Тестовые программы проходят автоматически после включения кнопки питания калибратора. Неисправные калибраторы бракуются и направляются в ремонт.

7.2 Перед началом проведения измерений калибратор необходимо прогреть в течении 30 минут.

7.3 При опробовании калибратора используют осциллограф цифровой TDS3052C и подключают по схеме, приведенной на рисунке 1, соединяя клемму «Scope OUT» калибратора с разъемом «1» или «2» осциллографа.

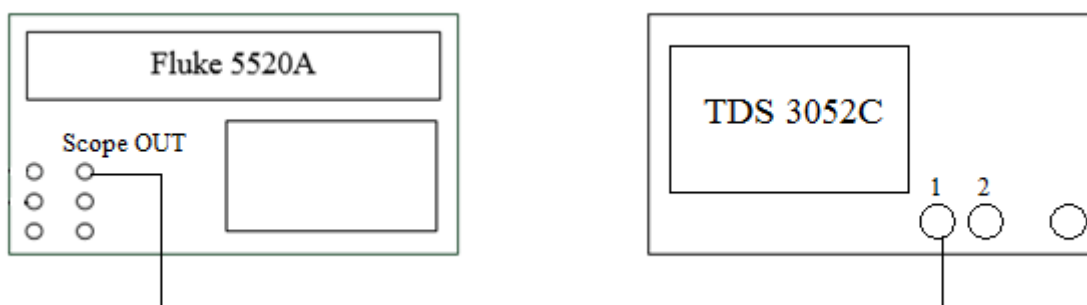


Рисунок 1 – Схема подключения калибратора для его опробования

8 ПРОЦЕДУРА ПРОВЕДЕНИЯ КАЛИБРОВКИ

8.1 Определение метрологических характеристик калибратора

8.1.1 Определение погрешности воспроизведения напряжения постоянного тока

8.1.1.1 Погрешность воспроизведения напряжения постоянного тока на клеммах «NORMAL» калибратора определяется методом прямых измерений.

8.1.1.2 Соедините клеммы «NORMAL» калибратора с входными клеммами «1000 V MAX» мультиметра 3458А (далее – мультиметр) по схеме, представленной на рисунке 2.

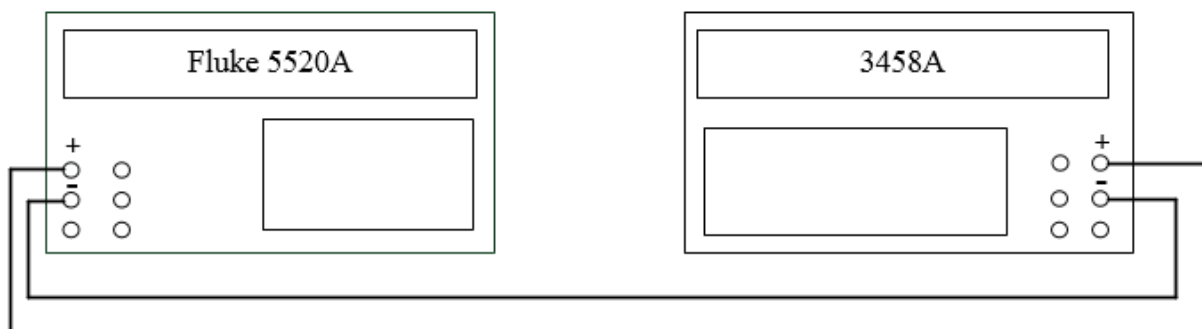


Рисунок 2 – Схема подключения для воспроизведения напряжения постоянного тока

8.1.1.3 На мультиметре нажмите кнопку «DCV» для того, чтобы перейти в режим измерения напряжения постоянного тока.

8.1.1.4 На калибраторе нажать кнопку «RESET», далее «CE» для сброса предыдущих значений. С помощью набора цифр и единиц измерений, расположенных на передней панели калибратора, выберите необходимый размер и род физической величины. Затем нажмите кнопку «ENTER» и «OPR», с помощью которых запускается режим измерения и мультиметр принимает информацию.

8.1.1.5 Проведите по десять измерений воспроизводимых калибратором напряжений в каждой точке поддиапазона:

- для поддиапазона 330 мВ: 100 мВ; 200 мВ; 300 мВ;
- для поддиапазона 3,3 В: 1 В; 2 В; 3 В;
- для поддиапазона 33 В: 10 В; 20 В; 30 В;
- для поддиапазона 330 В: 100 В; 200 В; 300 В;

– для поддиапазона 1020 В: 300 В; 600 В; 900 В.

8.1.1.6 После окончания измерений нажать на кнопку «STBY», расположенную на калибраторе.

8.1.1.7 Уравнение измерений напряжения постоянного тока определяют по формуле:

$$U_x = U_k - U_{\text{эт}} - (\Delta_{\partial(\text{эт})} + \Delta_{\text{доп}(\text{эт})} + \delta \cdot U_{\text{изм}}), \quad (1)$$

где U_x – оценка результата измерения, В;

U_k – среднее измеренное значение напряжения калибратора, В;

$U_{\text{эт}}$ – напряжение на выходе эталона, В;

$\Delta_{\partial(\text{эт})}$ – погрешность, вызванная дискретностью эталона, В;

$\Delta_{\text{доп}(\text{эт})}$ – предел допускаемой основной погрешности эталона, В;

$\delta U_{\text{шум}}$ – поправка измеренного напряжения из-за шума, В.

8.1.1.8 Погрешность воспроизведения напряжения постоянного тока не должна превышать значений, указанных в технической документации на калибратор. В противном случае калибратор бракуется и направляется в ремонт.

8.1.2 Определение погрешности воспроизведения силы постоянного тока

8.1.2.1 Погрешность воспроизведения силы постоянного тока на клеммах «NORMAL» калибратора определяется методом прямых измерений.

8.1.2.2 Соедините клеммы «AUX» калибратора с входными клеммами «1.5 А MAX» мультиметра, как показано на рисунке 3.

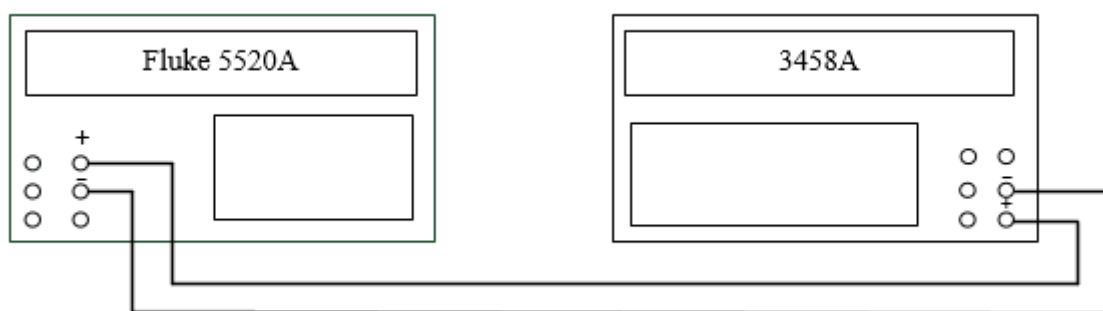


Рисунок 3 - Схема подключения для воспроизведения силы постоянного тока

8.1.2.3 На мультиметре нажмите кнопку «DCI» для того, чтобы перейти в режим измерения силы постоянного тока.

8.1.2.4 На калибраторе нажать кнопку «RESET», далее «CE» для сброса предыдущих значений. С помощью набора цифр и единиц измерений, расположенных на передней панели калибратора, выберите необходимый размер и род физической величины. Затем нажмите кнопку «ENTER» и «OPR», с помощью которых запускается режим измерения и мультиметр принимает информацию.

8.1.2.5 Проведите по десять измерений падения напряжения на мультиметре при

выдаваемых калибратором токах в каждой точке поддиапазона:

- для поддиапазона 330 мкА: 100 мкА; 200 мкА; 300 мкА;
- для поддиапазона 3,3 мА: 1 мкА; 2 мкА; 3 мкА;
- для поддиапазона 33 мА: 10 мА; 20 мА; 30 мА;
- для поддиапазона 330 мА: 100 мА; 200 мА; 300 мА;
- для поддиапазона 1 А: 0,4 А; 0,6 А; 0,8 А.

8.1.2.6 Уравнение измерений силы постоянного тока определяют по формуле:

$$I_x = I_k - I_{эт} - (\Delta_{\partial(эт)} + \Delta_{доп(эт)} + \delta I_{шум}), \quad (2)$$

где I_x – оценка результата измерения, мА;

I_k – среднее измеренное значение силы постоянного тока калибратора, мА;

$I_{эт}$ – сила тока на выходе эталона, мА;

$\Delta_{д(эт)}$ – погрешность, вызванная дискретностью эталона, мА;

$\Delta_{доп(эт)}$ – предел допускаемой основной погрешности эталона, мА;

$\delta I_{шум}$ – поправка, вызванная шумом в сети, мА.

8.1.2.7 После окончания измерений нажать на кнопку «STBY», расположенную на калибраторе.

8.1.2.8 Основная погрешность воспроизведения не должна превышать значений, указанных в таблице 2. В противном случае калибратор бракуется и направляется в ремонт.

8.1.3 Определение погрешности воспроизведения электрического сопротивления

8.1.3.1 Погрешность воспроизведения электрического сопротивления определяется методом прямых измерений.

8.1.3.2 Выберите 4-х проводную схему измерений сопротивления на калибраторе и мультиметре и соберите ее.

8.1.3.3 Соедините клеммы «NORMAL» калибратора с входными клеммами мультиметра, как показано на рисунке 4.

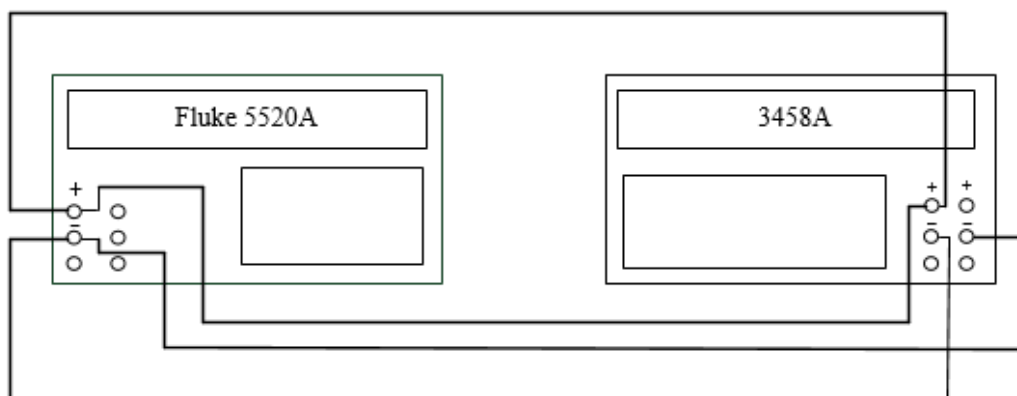


Рисунок 4 – Схема подключения для воспроизведения электрического сопротивления

8.1.3.4 На мультиметре сначала нажмите кнопку синего цвета, а затем кнопку «ОНМ» для того, чтобы перейти в режим измерения электрического сопротивления.

8.1.3.5 На калибраторе нажать кнопку «RESET», далее «CE» для сброса предыдущих значений. С помощью набора цифр и единиц измерений, расположенных на передней панели калибратора, выберите необходимый размер и род физической величины. Затем нажмите кнопку «ENTER» и «OPR», с помощью которых запускается режим измерения и мультиметр принимает информацию.

8.1.3.6 Проведите десять измерений сопротивления в каждой точке поддиапазона:

- для поддиапазона 11 Ом: 3 Ом; 6 Ом; 9 Ом;
- для поддиапазона 33 Ом: 18 Ом; 25 Ом; 32 Ом;
- для поддиапазона 110 Ом: 40 Ом; 70 Ом; 100 Ом;
- для поддиапазона 330 Ом: 180 Ом; 250 Ом; 329 Ом;
- для поддиапазона 1,1 кОм: 600 Ом; 800 Ом; 1 кОм;
- для поддиапазона 3,3 кОм: 1,8 кОм; 2,5 кОм; 3,2 кОм;
- для поддиапазона 11 кОм: 6 кОм; 8 кОм; 10 кОм;
- для поддиапазона 33 кОм: 18 кОм; 25 кОм; 32 кОм;
- для поддиапазона 110 кОм: 60 кОм; 80 кОм; 100 кОм;
- для поддиапазона 1 А: 0,4 А; 0,6 А; 0,8 А.
- для поддиапазона 330 кОм: 180 кОм; 250 кОм; 320 кОм;
- для поддиапазона 3,3 мА: 1 мкА; 2 мкА; 3 мкА;
- для поддиапазона 1,1 МОм: 600 кОм; 800 кОм; 1 МОм.

8.1.3.7 Уравнение измерений электрического сопротивления для четырехпроводной схемы определяют по формуле:

$$R_x = R_k - R_{эт} - (\Delta_{доп(эт)} + \Delta_{\partial(эт)}), \quad (3)$$

где R_x – оценка результата измерения, Ом;

R_k – среднее измеренное значение электрического сопротивления калибратора, Ом;

$R_{эт}$ – значение электрического сопротивления на выходе эталона, Ом;

$\Delta_{д(эт)}$ – погрешность, обусловленная дискретностью эталона, Ом;

$\Delta_{доп(эт)}$ – предел допускаемой основной погрешности эталона, Ом.

8.1.3.8 Перейдите на двухпроводную схему измерений, отключив два кабеля от клемм «NORMAL».

8.1.3.9 Проведите десять измерений сопротивления в каждой точке поддиапазона:

- для поддиапазона 3,3 МОм: 1,8 МОм; 2,5 МОм; 3,2 МОм;
- для поддиапазона 11 МОм: 6 МОм; 8 МОм; 10 МОм;
- для поддиапазона 33 МОм: 18 МОм; 25 МОм; 32 МОм;
- для поддиапазона 110 МОм: 60 МОм; 80 МОм; 100 МОм;
- для поддиапазона 330 МОм: 180 МОм; 250 МОм; 320 МОм.

– для поддиапазона 1100 МОм: 600 МОм; 800 МОм; 1000 МОм.

8.1.3.10 Уравнение измерений электрического сопротивления для двухпроводной схемы определяют по формуле:

$$R_x = R_k - R_{эт} - (\Delta_{доп(к)} + \Delta_{доп(эт)} + \delta R_{изм}), \quad (4)$$

где R_x – оценка результата измерения, Ом;

R_k – среднее измеренное значение электрического сопротивления калибратора, Ом;

$R_{эт}$ – значение электрического сопротивления на выходе эталона, Ом;

$\Delta_{д(эт)}$ – погрешность, обусловленная дискретностью эталона, Ом;

$\Delta_{доп(эт)}$ – предел допускаемой основной погрешности эталона, Ом.

8.1.3.11 После окончания измерений нажать на кнопку «STBY», расположенную на калибраторе.

8.1.3.12 Погрешность воспроизведения не должна превышать значений, указанных в таблице 3. В противном случае калибратор бракуется и направляется в ремонт.

8.1.4 Определение погрешности воспроизведения напряжения переменного тока

8.1.4.1 Погрешность воспроизведения напряжения переменного тока на клеммах «NORMAL» определяется методом прямых измерений напряжения, воспроизводимого калибратором.

8.1.4.2 Соедините клеммы «NORMAL» калибратора с входными клеммами «INPUT» калибратора Fluke 8846A по схеме, представленной на рисунке 5.

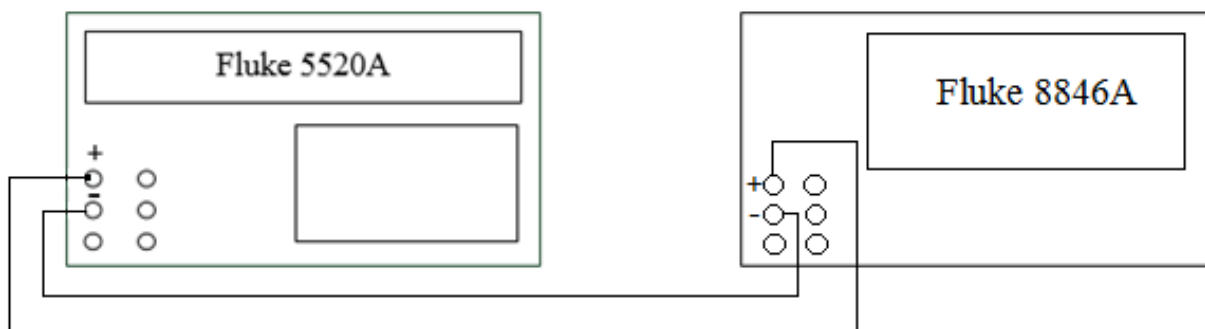


Рисунок 5 – Схема подключения для воспроизведения напряжения переменного тока

8.1.4.3 На калибраторе Fluke 8846A нажмите кнопку «ACV» для того, чтобы перейти в режим измерения напряжения переменного тока.

8.1.4.4 На калибраторе нажать кнопку «RESET», далее «CE» для сброса предыдущих значений. С помощью набора цифр и единиц измерений, расположенных на передней панели калибратора, выберите необходимый размер и род физической величины. Затем нажмите кнопку «ENTER» и «OPR», с помощью которых запускается режим измерения и мультиметр принимает информацию.

8.1.4.5 Проведите по десять измерений воспроизводимых калибратором напряжений в каждой точке поддиапазона:

- для поддиапазона 33 мВ при частотах 45 Гц; 5 кГц; 10 кГц; 25 кГц; 50 кГц; 100 кГц; 10 мВ; 20 мВ; 30 мВ;
- для поддиапазона 330 мВ при частотах 45 Гц; 5 кГц; 10 кГц; 25 кГц; 50 кГц; 250 кГц; 100 мВ; 200 мВ; 300 мВ;
- для поддиапазона 3,3 В при частотах 45 Гц; 5 кГц; 15 кГц; 35 кГц; 75 кГц; 300 кГц; 1 В; 2 В; 3 В;
- для поддиапазона 33 В при частотах 45 Гц; 5 кГц; 15 кГц; 35 кГц; 75 кГц; 100 кГц; 10 В; 20 В; 30 В;
- для поддиапазона 330 В при частотах 500 Гц; 5 кГц; 10 кГц; 35 кГц; 75 кГц; 100 кГц; 100 В; 200 В; 300 В;
- для поддиапазона 1020 В при частотах 500 Гц; 3 кГц; 7 кГц; 35 кГц; 75 кГц; 300 кГц; 400 В; 600 В; 800 В.

8.1.4.6 Уравнение измерений напряжения переменного тока определяют по формуле:

$$U_x = U_k - U_{эт} - (\Delta_{доп(эт)} + \Delta_{д(эт)}), \quad (5)$$

где U_x – оценка результата измерения, В;

U_k – среднее измеренное значение напряжения переменного тока калибратора, В;

$U_{эт}$ – напряжение на выходе эталона, В;

$\Delta_{д(эт)}$ – погрешность, обусловленная дискретностью эталона, В;

$\Delta_{доп(эт)}$ – предел допускаемой основной погрешности эталона, В;

8.1.4.7 После окончания измерений нажать на кнопку «STBY», расположенную на калибраторе.

8.1.4.8 Погрешность воспроизведения не должна превышать значений, указанных в таблице 4. В противном случае калибратор бракуется и направляется в ремонт.

8.1.5 Определение погрешности воспроизведения силы переменного тока

8.1.5.1 Погрешность воспроизведения силы переменного тока на клеммах «AUX» определяется методом прямых измерений силы тока, воспроизводимой калибратором.

8.1.5.2 Соедините клеммы «AUX» калибратора с входными клеммами «1.5 А MAX» мультиметра по схеме, представленной на рисунке 6.

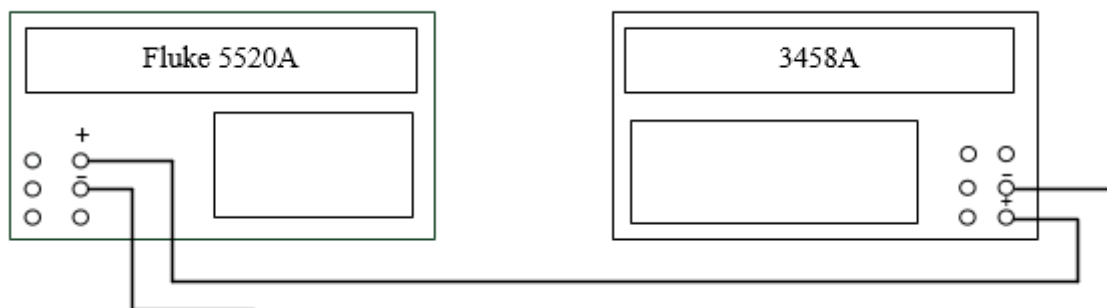


Рисунок 6 - Схема подключения для воспроизведения силы переменного тока

8.1.5.3 На мультиметре нажмите кнопку «ACI» для того, чтобы перейти в режим измерения силы переменного тока.

8.1.5.4 На калибраторе нажать кнопку «RESET», далее «CE» для сброса предыдущих

значений. С помощью набора цифр и единиц измерений, расположенных на передней панели калибратора, выберите необходимый размер и род физической величины. Затем нажмите кнопку «ENTER» и «OPR», с помощью которых запускается режим измерения и мультиметр принимает информацию.

8.1.5.5 Проведите по десять измерений воспроизводимой калибратором силы тока в каждой точке поддиапазона:

- для поддиапазона 330 мкА при частотах 20 Гц; 45 Гц; 500 Гц; 3 кГц; 7 кГц; 20 кГц; 100 мкА; 200 мкА; 300 мкА;
- для поддиапазона 3,3 мА при частотах 20 Гц; 45 Гц; 500 Гц; 3 кГц; 7 кГц; 20 кГц; 1 мА; 2 мА; 3 мА;
- для поддиапазона 33 мА при частотах 20 Гц; 45 Гц; 500 Гц; 3 кГц; 7 кГц; 20 кГц; 10 мА; 20 мА; 30 мА;
- для поддиапазона 330 мА при частотах 20 Гц; 45 Гц; 500 Гц; 3 кГц; 7 кГц; 20 кГц; 100 мА; 200 мА; 300 мА;
- для поддиапазона 1,1 А при частотах 45 Гц; 500 Гц; 3 кГц; 7 кГц; 0,5 А; 0,8 А; 1,0 А.

8.1.5.6 Уравнение измерений силы переменного тока определяют по формуле:

$$I_x = I_k - I_{\text{эт}} - (\Delta_{\text{доп(эт)}} + \Delta_{\text{д(эт)}}), \quad (6)$$

где I_x – оценка результата измерения, мА;

I_k – среднее измеренное значение силы переменного тока, мА;

$I_{\text{эт}}$ – сила тока на выходе эталона, мА;

$\Delta_{\text{д(эт)}}$ – погрешность, обусловленная дискретностью эталона, мА;

$\Delta_{\text{доп(эт)}}$ – предел допускаемой основной погрешности эталона, мА;

$\delta I_{\text{шум}}$ – поправка, вызванная шумом в сети, мА.

8.1.5.7 После окончания измерений нажать на кнопку «STBY», расположенную на калибраторе.

8.1.5.8 Погрешность воспроизведения не должна превышать значений, указанных в таблице 5. В противном случае калибратор бракуется и направляется в ремонт.

8.1.6 Результаты измерений заносят в протокол калибровки.

9 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ

9.1 Оценивание неопределенности по типу А применяется, когда имеются результаты m независимых измерений одной из входных величин x_i , проведенных в одинаковых условиях: $x_i, \dots, x_{im}$. В качестве значения x_i этой величины принимают среднее арифметическое значение.

9.2 Средние арифметические значения n -независимых измерений i -ой входной величины рассчитывают по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m x_{ij}, \quad (7)$$

где i – результаты m независимых измерений одной из входных величин, $i = 1, \dots, n$;

m – число независимых измерений в каждой точке поддиапазона входной величины, $m = 10$;

j – порядковый номер результата m -го измерения поддиапазона.

9.3 Оценивание стандартной неопределенности по типу А (в единицах измеряемой величины) вычисляют по формуле СКО среднего арифметического значения:

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{m \cdot (m - 1)} \cdot \sum_{j=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}, \quad (8)$$

где m – число независимых измерений в каждой точке поддиапазона входной величины, $m = 10$;

j – порядковый номер результата m -го измерения поддиапазона;

i – результаты m независимых измерений одной из входных величин, $i = 1, \dots, n$;

$\bar{x}_i$ – среднее арифметическое значение m независимых измерений в каждой точке поддиапазона.

9.4 Исходными данными для оценивания значения величины и ее стандартной неопределенности по типу В (в единицах измеряемой величины) являются следующие источники неопределенности:

- неопределенность, обусловленная погрешностью мультиметра;
- неопределенность, обусловленная погрешностью калибратора;
- дискретность отсчета.

9.5 Стандартную неопределенность по типу В u_{B1} , обусловленную погрешностью мультиметра, рассчитывают по формуле:

$$u_{B1}(x_i) = \frac{\Delta_{\text{эт}}}{\sqrt{3}}, \quad (9)$$

где $\Delta_{\text{эт}}$ – абсолютная погрешность мультиметра.

9.6 Стандартную неопределенность по типу В u_{B3} , обусловленную дискретностью отсчета калибратора, рассчитывают по формуле:

$$u_{B2}(x_i) = \frac{D}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (11)$$

где D – дискретность (разрешение) калибратора.

9. Стандартную неопределенность по типу В u_{B4} , обусловленную отклонением температуры от нормальной, рассчитывают по формуле:

$$u_{B3}(x_i) = \frac{\Delta_{\text{шум}}}{2 \cdot \sqrt{3}}, \quad (12)$$

где $\Delta_{\text{шум}}$ – погрешность, обусловленная отклонением температуры от нормы.

9.8 Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$u_c(x_i) = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2}, \quad (13)$$

где $u_A(x_i)$ – неопределенность по типу А i -ой входной величины;

$u_{B1}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная погрешностью мультиметра;

$u_{B2}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная погрешностью калибратора;

$u_{B3}(x_i)$ – неопределенность по типу В i -ой входной величины, обусловленная шумом в сети.

9.10 Абсолютная погрешность мультиметра указана в таблице 7, калибратора – в таблицах 1-5 настоящей методики. Абсолютная погрешность, обусловленная отклонением температуры от нормальной, указана в эксплуатационной документации на данный калибратор. Дискретность калибратора также находится в эксплуатационной документации.

9.11 Расширенную неопределенность рассчитывают по формуле:

$$U = k \cdot u_c(x_i), \quad (14)$$

где k – коэффициент охвата, принимаем равным 2.

10 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КАЛИБРОВКИ

10.1 Оформление записи оценок измеряемых величин проводят в соответствии с требованиями ПМГ 96-2009.

10.2 Округление при обработке результатов измерений выполняют в соответствии с ПМГ 96-2009.

10.3 Результат измеряемой i -ой входной величины единицы измерений для каждой точки поддиапазона представляют в форме:

$$\bar{X}_i, \text{ единица величины; } U; k = 2 \quad (15)$$

где $\bar{X}_i$ – оценка измеряемой величины, единица измерений;

U – относительная расширенная неопределенность измерений единицы величины, %;

k – коэффициент охвата при уровне вероятности $P = 0,95$, $k = 2$.

11 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

11.1 Подтверждение соответствия программного обеспечения калибраторов проводят следующим образом:

- для определения номера версии ПО калибратора нужно включить питание калибратора, а при этом на дисплее на несколько секунд отобразится номер версии программного обеспечения.

Результат проверки считать положительным, если номер версии ПО совпадает с таблицей 13.

Для определения цифрового идентификатора калибраторов нужно включить питание калибратора при нажатой клавише «SETUP», при этом на дисплее отобразится номер цифрового идентификатора.

11.2 Результаты проверки считать положительным, если версия идентификатора программного обеспечения совпадает с указанной в эксплуатационной документацией.

Приложение Г

(обязательное)

Документы для аттестации калибратора многофункционального «Fluke 5520A» в качестве эталона

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

ПАСПОРТ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

ЕДИНИЦ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА 2
РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 1020 В, СИЛЫ
ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ
ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 20,5 А, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ 1
РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 1100 МОМ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 1 МВ ДО 1020 В В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ
10 ГЦ ДО 500 КГЦ, СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 29 МКА ДО 20,5 А В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ
ОТ 10 ГЦ ДО 30 КГЦ

№ 001-0001

2017 г.

ПАСПОРТ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО
ТОКА 2 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 1020 В, СИЛЫ
ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ
ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 20,5 А, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ 1
РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 1100 МОМ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 1 мВ ДО 1020 В В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ
10 ГЦ ДО 500 КГЦ, СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 29 мКА ДО 20,5 А В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ
ОТ 10 ГЦ ДО 30 КГЦ

СОСТАВ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Рабочий эталон состоит из комплекса основных и вспомогательных технических средств, приведенных в эксплуатационной документации на эталон.

Таблица 1 – Состав эталона

№	Наименование	Тип	Заводской номер	Примечание
001	Калибратор универсальный	Fluke 5520A	9741016	

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Диапазон значений электрического напряжения постоянного тока, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от 0 до 1020 В.

Диапазон значений силы постоянного электрического тока, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от 0 до 20,5 А.

Диапазон значений электрического сопротивления, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от 0 до 1100 МОм.

Диапазон значений электрического напряжения переменного тока, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от 1 мВ до 1020 В в диапазоне частот от 10 Гц до 500 кГц.

Диапазон значений силы переменного электрического тока, в котором рабочий эталон хранит и передает значение величины, составляет от 29 мкА до 20,5 А в диапазоне частот от 10 Гц до 30 кГц.

Таблица 2 – Метрологические характеристики рабочего эталона

Измеряемая величина	Диапазон значений		Абсолютная погрешность, $\pm \Delta$
Напряжение постоянного электрического тока	от 0 до 330 мВ		$\pm (U \cdot 20 \times 10^{-6} + 1 \text{ мкВ})$
	от 0 до 3,3 В		$\pm (U \cdot 11 \times 10^{-6} + 2 \text{ мкВ})$
	от 0 до 33 В		$\pm (U \cdot 12 \times 10^{-6} + 20 \text{ мкВ})$
	от 30 до 330 В		$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 150 \text{ мкВ})$
	от 100 до 1020 В		$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 1500 \text{ мкВ})$
Сила постоянного электрического тока	от 0 до 330 мкА		$\pm (I \cdot 150 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ мкА})$
	от 0 до 3,3 мА		$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 0,05 \text{ мкА})$
	от 0 до 33 мА		$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 0,25 \text{ мкА})$
	от 0 до 330 мА		$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 2,5 \text{ мкА})$
	от 0 до 1,1 А		$\pm (I \cdot 200 \times 10^{-6} + 40 \text{ мкА})$
	от 1,1 до 3 А		$\pm (I \cdot 380 \times 10^{-4} + 40 \text{ мкА})$
	от 0 до 11 А		$\pm (I \cdot 500 \times 10^{-4} + 500 \text{ мкА})$
	от 11 до 20,5 А		$\pm (I \cdot 1000 \times 10^{-4} + 750 \text{ мкА})$
Электрическое сопротивление постоянному току	от 0 до 11 Ом		$\pm (R \cdot 40 \times 10^{-6} + 0,01 \text{ Ом})$
	от 11 до 33 Ом		$\pm (R \cdot 30 \times 10^{-6} + 0,015 \text{ Ом})$
	от 33 до 109,9999 Ом		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,015 \text{ Ом})$
	от 110 до 329,9999 Ом		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ Ом})$
	от 330 Ом до 1,099999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ Ом})$
	от 1,1 до 3,299999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,2 \text{ Ом})$
	от 3,3 до 10,99999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,1 \text{ Ом})$
	от 11 до 32,99999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 1,0 \text{ Ом})$
	от 33 до 109,9999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 1,0 \text{ Ом})$
	от 110 до 329,9999 кОм		$\pm (R \cdot 32 \times 10^{-6} + 10,0 \text{ Ом})$
	от 330 кОм до 1,099999 МОм		$\pm (R \cdot 32 \times 10^{-6} + 10,0 \text{ Ом})$
	от 1,1 до 3,299999 МОм		$\pm (R \cdot 60 \times 10^{-6} + 50,0 \text{ Ом})$
	от 3,3 до 10,99999 МОм		$\pm (R \cdot 130 \times 10^{-6} + 250 \text{ Ом})$
	от 11 до 32,99999 МОм		$\pm (R \cdot 250 \times 10^{-6} + 2500 \text{ Ом})$
	от 33 до 109,9999 МОм		$\pm (R \cdot 5 \times 10^{-4} + 3000 \text{ Ом})$
	от 110 до 329,999 МОм		$\pm (R \cdot 3 \times 10^{-3} + 100 \text{ кОм})$
	от 330 до 1100 МОм		$\pm (R \cdot 1,5 \times 10^{-2} + 500 \text{ кОм})$
	Напряжение	Частота	Абсолютная погрешность, $\pm \Delta$
	от 1,0 до 33 мВ	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 600 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 120 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 160 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 3 \times 10^{-3} + 12 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 6 \times 10^{-3} + 50 \text{ мкВ})$
		от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 500 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 130 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 150 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$

Таблица 2 – Метрологические характеристики рабочего эталона

Напряжение переменного электрического тока	от 33 до 330 мВ	от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 350 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 8 \times 10^{-4} + 32 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	от 0,33 до 3,3 В	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 120 \times 10^{-6} + 25 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 190 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 700 \times 10^{-6} + 125 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2,4 \times 10^{-3} + 600 \text{ мкВ})$
	от 3,3 до 33 В	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 650 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 150 \times 10^{-6} + 200 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 240 \times 10^{-6} + 600 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 350 \times 10^{-6} + 600 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 900 \times 10^{-6} + 1600 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	от 33 до 330 В	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (U \cdot 190 \times 10^{-6} + 2000 \text{ мкВ})$
		от 1 до 10 кГц	$\pm (U \cdot 200 \times 10^{-6} + 6000 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 250 \times 10^{-6} + 6000 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 20 \text{ мВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 50 \text{ мВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	от 330 до 1020 В	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (U \cdot 250 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 20 \text{ мВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 50 \text{ мВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	Значение тока	Частота	Абсолютная погрешность, $\pm \Delta$
	от 29 до 330 мкА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,125 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,3 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,8 \times 10^{-2} + 0,2 \text{ мкА})$
		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 1,6 \times 10^{-2} + 0,4 \text{ мкА})$
	от 0,33 до 3,3 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,125 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,2 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,5 \times 10^{-2} + 0,3 \text{ мкА})$

Таблица 2 – Метрологические характеристики рабочего эталона

Сила переменного электрического тока		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 1,0 \times 10^{-2} + 0,6 \text{ мкА})$
	от 3,3 до 33 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,09 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,04 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,08 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 3,0 \text{ мкА})$
	от 33 до 330 мА	от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 0,4 \times 10^{-2} + 4,0 \text{ мкА})$
		от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,09 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,04 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 50 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 0,4 \times 10^{-2} + 200 \text{ мкА})$
	от 0,33 до 1,1 А	от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,05 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,6 \times 10^{-2} + 1000 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
	от 1,1 до 3 А	от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,06 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,6 \times 10^{-2} + 1000 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
	от 3 до 11 А	от 45 до 100 Гц	$\pm (I \cdot 0,06 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
		от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
	от 11 до 20,5 А	от 45 до 100 Гц	$\pm (I \cdot 0,12 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$

Межаттестационный интервал рабочего эталона единиц величин электрического напряжения постоянного тока, силы постоянного электрического тока, электрического сопротивления, электрического напряжения переменного тока, силы переменного тока составляет 12 месяцев.

ГОД ВЫПУСКА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Эталон изготовлен фирмой «Fluke Corporation», США.

МЕСТО И УСЛОВИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Эталон содержат и применяют в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете» в условиях, соответствующих Правилам содержания и применения эталона (ПрС № 001-0001).

ОТДЕЛ (ЛАБОРАТОРИЯ), ОТВЕСТВЕННЫЙ ЗА РАБОЧИЙ ЭТАЛОН

Аудитория № 206, корпус 10, кафедра СУМ НИ ТПУ.

_____	_____	_____
	подпись	инициалы, фамилия

Эталон утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ № _____ .

ВКЛАДНОЙ ЛИСТ К ПАСПОРТУ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

№ 3.4.XXX.0001.2017

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

ЕДИНИЦ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА,
СИЛЫ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОСТОЯННОМУ ТОКУ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО
НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА, СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

[illegible]

ИЗМЕНЕНИЯ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

[illegible]

ПРАВИЛА СОДЕРЖАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

(ПрС № 001-0001)

ЕДИНИЦ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА 2
РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 1020 В, СИЛЫ
ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ
ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 20,5 А, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ 1
РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 0 ДО 1100 МОМ,
ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В
ДИАПАЗОНЕ ЗНАЧЕНИЙ ОТ 1 ДО 1020 В В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 10
ГЦ ДО 500 КГЦ, СИЛЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА 1 РАЗРЯДА В ДИАПАЗОНЕ
ЗНАЧЕНИЙ ОТ 29 МКА ДО 20,5 А В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 10 ГЦ ДО 30
КГЦ

СОСТАВ РАБОЧЕГО ЭТАЛОНА

Таблица 1 – Состав рабочего эталона

№	Наименование	Тип	Заводской номер
1	Калибратор универсальный	Fluke 5520A	9741016

1. Обязательные метрологические и технические требования к рабочему эталону.

1.1. Метрологические требования.

1.1.1 Метрологические характеристики рабочего эталона соответствуют требованиям, предъявляемым к эталонам 1-го и 2-го разряда, и установленным в следующих документах:

- ГОСТ 8.027-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы»;

- ГОСТ 8.022-91 «ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А»;

- Приказ Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления»;

- ГОСТ Р 8.648-2015 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц;

- ГОСТ Р 8.823-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ.

1.1.1. Основные метрологические характеристики рабочего эталона приведены в МК ФЮРА.001-2017 «Калибраторы универсальные модели 5520А. Методика калибровки».

1.1.2. Пределы допускаемой дополнительной погрешности измерения, вызванной изменением температуры окружающей среды более чем на 5 °С от температуры 20 °С, не более 0,1 предела основной допускаемой погрешности измерения.

1.2. Технические требования.

1.2.1 Технические характеристики рабочего эталона приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики рабочего эталона

Время прогрева	Удвоенное время с момента последнего прогрева до (максимум) 30 минут
Время установления	Менее 5 секунд для всех функций и диапазонов, если не указано иное
Стандартный интерфейс	IEEE-488 (GPIB), RS-232
Температура	Рабочая: от 0 °С до 50 °С Калибровочная: от 15 °С до 35 °С Хранения: от -20 °С до 70 °С [3]
Температурный коэффициент	Температурный коэффициент для температуры вне диапазона $t_{cal} \pm 5$ °С равен 10 % от указанной спецификации на 1 °С для диапазона температур от 15 °С до 35 °С. Для температур выше 35 °С температурный коэффициент равен 20 % от указанной в спецификации на 1 °С.
Относительная влажность [1]	Рабочая: <80 % до 30 °С, <70 % до 40 °С, <40 % до 50 °С Хранения: <95 %, отсутствие конденсата
Высота	Рабочая: 3050 м максимум Не рабочая: 12200 м максимум
Безопасность	В соответствии с IEC 1010-1 (1992-1); ANSI/ISA-S82.01-1994; CAN/CSA-C22.2 No. 1010.1-92
Низковольтная аналоговая изоляция	20 В
Электромагнитная совместимость (EMC)	В соответствии с EN 61326-1/1997, Class A (EMC); термопарная симуляция и измерения не специфицированы для работы в электромагнитных полях выше 0,4 В/м. Данный измерительный прибор может быть восприимчив к разряду электростатического электричества (ESD) при прямом контакте с клеммами. Хорошие знания методов защиты от

Таблица 2 – Технические характеристики рабочего эталона

	статического электричества должны применяться при работе с этим и другим электронным оборудованием.
Питание [2]	Напряжение питания (по выбору): 100 В, 120 В, 220 В, 240 В Частота сети: от 47 до 63 Гц Изменение напряжения сети: $\pm 10\%$ относительно номинального значения
Потребляемая мощность	600 ВА
Размеры	Высота, 17,8 см, стандартный шаг при монтаже в стойку, плюс 1,5 см для ножек под прибором Ширина: 43,2 см, стандартная ширина стойки Глубина: 47,3 см (общая)
Вес	22 кг
<i>Примечания:</i> 1) После длительного хранения при высокой влажности требуется время как минимум одна неделя для высыхания (с включенным питанием) 2) Для оптимальных характеристик при полном использовании обоих выходов (т.е. 1000 В, 20 А) напряжение сети должно изменяться не более $\pm 7.5\%$ относительно номинального значения. 3) Диапазоны от 0 до 1,09999 А и от 1.1 до 2,99999 А для постоянного тока чувствительны к температурам хранения выше 50 °С. Если 5520А хранился при температуре выше 50 °С более 30 минут, то эти диапазоны должны быть перекалиброваны. В противном случае погрешности для интервалов времени 90 дней и 1 год должны быть удвоены.	

1.2.2. Данные технические характеристики применимы после прогрева рабочего эталона в течение 30 минут, или удвоенного времени, в течение которого рабочий эталон был выключен. (Например, если 5520А был выключен 5 минут, время прогрева - 10 минут).

1.2.3. Данные технические характеристики применимы для указанной температуры и обозначенного периода времени. Для температур вне диапазона $t_{cal} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (t_{cal} - температура окружающей среды при калибровке 5520А), должен применяться температурный коэффициент, как указано в таблице 2.

1.2.4. Технические характеристики рабочего эталона также предполагают, что рабочий эталон обнуляется каждые семь дней или всякий раз, когда температура окружающей среды изменяется больше чем на $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Самые точные характеристики сохраняются в случае обнуления рабочего эталона каждые 12 часов в пределах температурного диапазона $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Межаттестационный интервал рабочего эталона единиц величин электрического напряжения постоянного тока, силы постоянного электрического тока, электрического сопротивления, электрического напряжения переменного тока, силы переменного тока составляет 12 месяцев.

3. Требования к помещениям и условиям содержания и применения рабочего эталона.

3.1. При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

- Температура окружающего воздуха, °C 20 ± 5
- Относительная влажность воздуха, % 30 – 80
- Атмосферное давление, кПа 84 – 106

3.2. При проведении калибровки должны быть соблюдены требования ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.3-75, ГОСТ 12.3.019-80, "Правил эксплуатации электроустановок потребителей" и "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей", утвержденных Главгосэнергонадзором.

3.3. Должны также быть обеспечены требования безопасности, указанные в эксплуатационных документах на средства калибровки, испытательное оборудование и измерители.

4. Требования по установке, регулировке и подготовке рабочего эталона единиц величин электрического напряжения постоянного тока, силы постоянного электрического тока, электрического сопротивления, электрического напряжения переменного тока, силы переменного тока к его эксплуатации.

4.1. При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие калибруемого рабочего эталона следующим требованиям:

- комплектности рабочего эталона в соответствии с руководством по эксплуатации;
- не должно быть механических повреждений корпуса, лицевой панели, органов управления, все надписи на панелях должны быть четкими и ясными;
- все разъемы не должны иметь повреждений и должны быть чистыми.

4.2. При опробовании рабочего эталона проверяется его работоспособность в основных режимах работы, правильность функционирования табло и кнопок, правильность прохождения встроенных тестовых программ по отсутствию индицируемых ошибок. Тестовые программы проходят автоматически после включения кнопки питания рабочего эталона.

4.3. Перед началом проведения измерений рабочий эталон необходимо прогреть в течении 30 минут.

5. Процедура контроля технического состояния рабочего эталона и условий его содержания и применения.

5.1. При контроле технического состояния рабочего эталона фиксируют условия окружающей среды, а также выполняется комплекс работ, включающий в себя:

- проверку комплектности установки;
 - проверку исправности и работоспособности рабочего эталона;
 - проверку отсутствия механических повреждений корпуса;
 - осмотр внешнего и внутреннего состояния рабочего эталона,
- включающий в себя проверку сохранности органов управления, переключателей диапазонов и выбора единиц измерений.

6. Процедура технического обслуживания средств измерений, используемых для передачи значения величины, вспомогательных средств измерений и дополнительного оборудования.

6.1. Техническое обслуживание рабочего эталона производится с целью обеспечения нормальной работы и сохранения параметров в течении всего срока эксплуатации. Техническое обслуживание рабочего эталона осуществляется после ознакомления с комплектом эксплуатационной документации.

6.2. Техническое обслуживание предусматривает:
удаление пыли и грязи с наружных поверхностей рабочего эталона – еженедельно;

проверка комплектности рабочего эталона – ежеквартально;
профилактические работы по п.6.3.

6.3. Профилактические работы проводятся раз в квартал, а также после ремонта и включают в себя:

- внешний осмотр рабочего эталона;
- состояние покрытия и надписей на корпусе рабочего эталона;
- исправность и надежность фиксации переключателя;
- состояние резиновых уплотнений камеры рабочего эталона;
- контроль состояния контактов батарейки.

7. Методика периодической аттестации рабочего эталона.

7.1. При проведении периодической аттестации рабочего эталона должны быть выполнены следующие операции:

- калибровку рабочего эталона;
- контроль условий содержания и применения рабочего эталона;
- оценка соответствия рабочего эталона требованиям поверочной схемы и требованиям к содержанию и применению рабочего эталона, изложенным в Правилах содержания и применения эталона.

7.2. На калибровку рабочего эталона должны быть представлены следующие документы:

- сертификат и протокол предыдущей калибровки (при наличии);
- эксплуатационная документация на рабочий эталон;
- действующие сертификаты калибровки и эксплуатационная документация на средства измерений, применяемые при калибровке.

7.3. Калибровку рабочего эталона проводят в соответствии с методикой калибровки МК ФЮРА.001-2017 ««Калибраторы универсальные модели 5520А. Методика калибровки»».

7.4. При контроле условий содержания и применения рабочего эталона выполняются измерения параметров среды содержания и применения рабочего эталона, указанных в п.3 настоящих Правил. При положительных результатах оценки соответствия держатель эталона оформляет Свидетельство об аттестации рабочего эталона.

7.5. В случае признания рабочего эталона несоответствующим требованиям поверочной схемы и требованиям к содержанию и применению рабочего эталона, изложенным в Правилах содержания и применения рабочего эталона, держатель эталона оформляет Извещение о непригодности рабочего эталона к применению установленного образца, копию которого в недельный срок направляет во ФГУП «ВНИИМС».

7.6. Восстановленный после ремонта рабочий эталон подлежит повторной периодической аттестации в полном объеме.

подпись

инициалы, фамилия

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН

01 Наименование эталона (в соответствии с паспортом)
Рабочий эталон единиц электрического напряжения постоянного тока 2 разряда в диапазоне значений от 0 до 1020 В, силы постоянного электрического тока 1 разряда в диапазоне значений от 0 до 20,5 А, электрического сопротивления 1 разряда в диапазоне значений от 0 до 1100 МОм, электрического напряжения переменного тока 1 разряда в диапазоне значений от 1 мВ до 1020 В в диапазоне частот от 10 Гц до 500 кГц, силы переменного тока 1 разряда в диапазоне значений от 29 мкА до 20,5 А в диапазоне частот от 10 Гц до 30 кГц
02 Наименование и обозначение стандарта (документа) на государственную или локальную поверочную схему.
- ГОСТ 8.027-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы»; - ГОСТ 8.022-91 «ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А»; - Приказ Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления»; - ГОСТ Р 8.648-2015 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц»; - ГОСТ Р 8.823-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ.
03 Статус или разряд (уровень) эталона по государственной или локальной поверочной схеме
1 разряд
04 Форма собственности (государственный или принадлежащий указанной организации)
Принадлежащий Федеральному государственному автономному образовательному учреждению высшего образования «Национальному исследовательскому Томскому политехническому университету»
05 Межаттестационный интервал (кол. месяцев)
12 месяцев
06 Регистрационный номер эталона
3.4.XXX.0001.2017
07 Наименование организации-держателя эталона, имеющего более высокие показатели точности, осуществивший поверку эталона
Федеральное бюджетное учреждение «Ростест-Москва»
08 Регистрационные номера утвержденных эталонов, от которых осуществлена передача единицы

09 Вид измерений в соответствии с рекомендациями по метрологии МИ 2314-2006 «ГСИ. Кодификатор групп средств измерений»		
34		
10 Регистрационный(ые) номер(а) государственного первичного эталона, к которому осуществляют прослеживаемость эталона		
ГЭТ 89-2008; ГЭТ 181-2010; ГЭТ 88-2014		

11. Диапазоны значений величин, в которых рабочий эталон хранит и передает единицу. Характеристики точности рабочего эталона.

Измеряемая величина	Диапазон значений		Абсолютная погрешность, $\pm \Delta$
Напряжение постоянного электрического тока	от 0 до 330 мВ		$\pm (U \cdot 20 \times 10^{-6} + 1 \text{ мкВ})$
	от 0 до 3,3 В		$\pm (U \cdot 11 \times 10^{-6} + 2 \text{ мкВ})$
	от 0 до 33 В		$\pm (U \cdot 12 \times 10^{-6} + 20 \text{ мкВ})$
	от 30 до 330 В		$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 150 \text{ мкВ})$
	от 100 до 1020 В		$\pm (U \cdot 18 \times 10^{-6} + 1500 \text{ мкВ})$
Сила постоянного электрического тока	от 0 до 330 мкА		$\pm (I \cdot 150 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ мкА})$
	от 0 до 3,3 мА		$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 0,05 \text{ мкА})$
	от 0 до 33 мА		$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 0,25 \text{ мкА})$
	от 0 до 330 мА		$\pm (I \cdot 100 \times 10^{-6} + 2,5 \text{ мкА})$
	от 0 до 1,1 А		$\pm (I \cdot 200 \times 10^{-6} + 40 \text{ мкА})$
	от 1,1 до 3 А		$\pm (I \cdot 380 \times 10^{-4} + 40 \text{ мкА})$
	от 0 до 11 А		$\pm (I \cdot 500 \times 10^{-4} + 500 \text{ мкА})$
	от 11 до 20,5 А		$\pm (I \cdot 1000 \times 10^{-4} + 750 \text{ мкА})$
Электрическое сопротивление постоянному току	от 0 до 11 Ом		$\pm (R \cdot 40 \times 10^{-6} + 0,01 \text{ Ом})$
	от 11 до 33 Ом		$\pm (R \cdot 30 \times 10^{-6} + 0,015 \text{ Ом})$
	от 33 до 109,9999 Ом		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,015 \text{ Ом})$
	от 110 до 329,9999 Ом		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ Ом})$
	от 330 Ом до 1,099999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,02 \text{ Ом})$
	от 1,1 до 3,299999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,2 \text{ Ом})$
	от 3,3 до 10,99999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 0,1 \text{ Ом})$
	от 11 до 32,99999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 1,0 \text{ Ом})$
	от 33 до 109,9999 кОм		$\pm (R \cdot 28 \times 10^{-6} + 1,0 \text{ Ом})$
	от 110 до 329,9999 кОм		$\pm (R \cdot 32 \times 10^{-6} + 10,0 \text{ Ом})$
	от 330 кОм до 1,099999 МОм		$\pm (R \cdot 32 \times 10^{-6} + 10,0 \text{ Ом})$
	от 1,1 до 3,299999 МОм		$\pm (R \cdot 60 \times 10^{-6} + 50,0 \text{ Ом})$
	от 3,3 до 10,99999 МОм		$\pm (R \cdot 130 \times 10^{-6} + 250 \text{ Ом})$
	от 11 до 32,99999 МОм		$\pm (R \cdot 250 \times 10^{-6} + 2500 \text{ Ом})$
	от 33 до 109,9999 МОм		$\pm (R \cdot 5 \times 10^{-4} + 3000 \text{ Ом})$
	от 110 до 329,999 МОм		$\pm (R \cdot 3 \times 10^{-3} + 100 \text{ кОм})$
	от 330 до 1100 МОм		$\pm (R \cdot 1,5 \times 10^{-2} + 500 \text{ кОм})$
	Напряжение	Частота	Абсолютная погрешность, $\pm \Delta$
		от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 600 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 120 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 160 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 6 \text{ мкВ})$

Напряжение переменного электрического тока	от 1,0 до 33 мВ	от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 3 \times 10^{-3} + 12 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 6 \times 10^{-3} + 50 \text{ мкВ})$
	от 33 до 330 мВ	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 500 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 130 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 150 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 350 \times 10^{-6} + 8 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 8 \times 10^{-4} + 32 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	от 0,33 до 3,3 В	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 120 \times 10^{-6} + 25 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 190 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 50 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 700 \times 10^{-6} + 125 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2,4 \times 10^{-3} + 600 \text{ мкВ})$
	от 3,3 до 33 В	от 10 до 45 Гц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 650 \text{ мкВ})$
		от 45 Гц до 10 кГц	$\pm (U \cdot 150 \times 10^{-6} + 200 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 240 \times 10^{-6} + 600 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 350 \times 10^{-6} + 600 \text{ мкВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 900 \times 10^{-6} + 1600 \text{ мкВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	от 33 до 330 В	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (U \cdot 190 \times 10^{-6} + 2000 \text{ мкВ})$
		от 1 до 10 кГц	$\pm (U \cdot 200 \times 10^{-6} + 6000 \text{ мкВ})$
		от 10 до 20 кГц	$\pm (U \cdot 250 \times 10^{-6} + 6000 \text{ мкВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 20 \text{ мВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 50 \text{ мВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	от 330 до 1020 В	от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (U \cdot 250 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (U \cdot 300 \times 10^{-6} + 10 \text{ мВ})$
		от 20 до 50 кГц	$\pm (U \cdot 800 \times 10^{-6} + 20 \text{ мВ})$
		от 50 до 100 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 50 \text{ мВ})$
		от 100 до 500 кГц	$\pm (U \cdot 2 \times 10^{-3} + 70 \text{ мкВ})$
	Значение тока	Частота	Абсолютная погрешность, $\pm \Delta$
	от 29 до 330 мкА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,125 \times 10^{-2} + 0,1 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,3 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,8 \times 10^{-2} + 0,2 \text{ мкА})$
		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 1,6 \times 10^{-2} + 0,4 \text{ мкА})$

Сила переменного электрического тока	от 0,33 до 3,3 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,125 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 0,15 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 0,2 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,5 \times 10^{-2} + 0,3 \text{ мкА})$
		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 1,0 \times 10^{-2} + 0,6 \text{ мкА})$
	от 3,3 до 33 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,09 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,04 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,08 \times 10^{-2} + 2,0 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 3,0 \text{ мкА})$
		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 0,4 \times 10^{-2} + 4,0 \text{ мкА})$
	от 33 до 330 мА	от 10 до 20 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
		от 20 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,09 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,04 \times 10^{-2} + 20 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 50 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 0,2 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 10 до 30 кГц	$\pm (I \cdot 0,4 \times 10^{-2} + 200 \text{ мкА})$
	от 0,33 до 1,1 А	от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,05 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,6 \times 10^{-2} + 1000 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,06 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
	от 1,1 до 3 А	от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 0,6 \times 10^{-2} + 1000 \text{ мкА})$
		от 5 до 10 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 10 до 45 Гц	$\pm (I \cdot 0,18 \times 10^{-2} + 100 \text{ мкА})$
		от 45 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,06 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
		от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,1 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 2000 \text{ мкА})$
	от 3 до 11 А	от 45 до 100 Гц	$\pm (I \cdot 0,12 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
	от 11 до 20,5 А	от 45 до 100 Гц	$\pm (I \cdot 0,12 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 100 Гц до 1 кГц	$\pm (I \cdot 0,15 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$
		от 1 до 5 кГц	$\pm (I \cdot 2,5 \times 10^{-2} + 5000 \text{ мкА})$

12. Состав рабочего эталона

Наименование, тип СИ	N в Госреестре СИ	Изготовитель, зав. N, год выпуска	МПИ (межповерочный интервал)	Сведения и поверке СИ		
				Дата последней поверки	Название организации, выполнявшей поверку	Эталон, используемый для поверки
Калибратор универсальный Fluke 5520A	29282-05	Фирма «Fluke Corporation», США	12 месяцев	04.05.2017	ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»	мультиметр 3458A

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», 634050, г. Томск,
проспект Ленина, дом 30

СВИДЕТЕЛЬСТВО

об аттестации рабочего эталона

№ 0001

Дата выдачи «02» июня 2017 г.

Действительно до «02» июня 2018 г.

--

Рабочий эталон

единиц электрического напряжения постоянного тока 2 разряда в диапазоне значений от 0 до 1020 В, силы постоянного электрического тока 1 разряда в диапазоне значений от 0 до 20,5 А, электрического сопротивления 1 разряда в диапазоне значений от 0 до 1100 МОм, электрического напряжения переменного тока 1 разряда в диапазоне значений от 1 мВ до 1020 В в диапазоне частот от 10 Гц до 500 кГц, силы переменного тока 1 разряда в диапазоне значений от 29 мкА до 20,5 А в диапазоне частот от 10 Гц до 30 кГц аттестован на соответствие обязательным требованиям (метрологическим и техническим требованиям, требованиям к содержанию и применению рабочего эталона), утвержденным приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от _____ N _____.

Метрологические требования

Рабочий эталон соответствует уровню 1 разряда:

- ГОСТ 8.022-91 «ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16} \div 30$ А»;

- Приказу Росстандарта от 15.02.2016 № 146 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электрического сопротивления»;

- ГОСТ Р 8.648-2015 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц;

ГОСТ Р 8.823-2013 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений электрического напряжения переменного тока промышленной частоты в диапазоне от 1 до 500 кВ.

Рабочий эталон соответствует уровню 2 разряда:

- ГОСТ 8.027-2001 «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы».

Технические требования

Комплектность и программное обеспечение государственного эталона соответствуют характеристикам, определенным в Паспорте эталона, требованиям Правил содержания и применения эталона и иной технической документации и обеспечивают безопасность эксплуатации эталона.

Требования к содержанию и применению

Условия эксплуатации соответствуют требованиям комплекта эксплуатационной документации.

подпись

инициалы, фамилия

Данное свидетельство может быть воспроизведено только полностью. Любые публикации или частичное воспроизведение содержания свидетельства возможны только с письменного разрешения организации, выдавшей данное свидетельство.

Неотъемлемой частью данного Свидетельства являются приложения в виде Сертификата калибровки.