

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Согласование значений фундаментальных физических констант

УДК 004.415.2:53.08

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Галсанова Людмила Викторовна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	К.Т.Н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Суханов Алексей Викторович	К.Х.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

«Стандартизация и метрология»

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

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

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

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

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

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Галсановой Людмиле Викторовне

Тема работы:

Согласование значений фундаментальных физических констант

Утверждена приказом директора (дата, номер)

12.02.19 г., 1097/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

03.06.2019 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.).

1 Bodnar. O., Elster C., Fischer J., Possolo A., Toman B. Evaluation of uncertainty in the adjustment of fundamental constants // Metrologia. – 2016. – V 53. – Issue 1. – P. S46-S54;

2 Mana G., Massa E., Predescu M. Model selection in the average of inconsistent data: An analysis of the measured Planck-constant values // Metrologia. – 2012. – V 49. – Issue 4. – P. 492-500;

3 Toman B, Fischer J and Elster C Alternative analyses of measurements of the Planck constant // Metrologia. – 2012. – V 49. – P. 567-571;

	4 Mana G. Model uncertainty and reference value of the Planck constant // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. – 2016. – V 94. – P. 26-30; 5 Rukhin A. Weighted means statistics in interlaboratory studies // Metrologia. – 2009. – V 46. – P. 323-331.
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>	1 Фундаментальные физические константы 1.1 Методы согласования значений фундаментальных физических констант 1.2 Модели для Байесовского вывода 1.2.1 Модель масштаба-местоположения на основе метода Бирджа (Location-scale model with Birge ratio) 1.2.2 Модель со случайными эффектами (Random effects model) 1.3 Согласование значений фундаментальных физических констант 2 Процедура объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант 2.1 Процедура согласования на основе метода IF&PA 2.2 Расчет неопределенности 3 Программное обеспечение для согласования значений фундаментальных физических констант 3.1 Среда разработки LabVIEW 3.2 Назначение и функции программы Adjustment 3.3 Интерфейс пользователя 3.4 Реализация моделей согласования 3.5 Экспериментальные исследования процедур согласования 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Социальная ответственность
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В.С. Николаенко
Социальная ответственность	Н.А. Атепаева
Раздел, выполненный на английском языке	А.В. Диденко
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: 1 Согласование значений фундаментальные физические константы Adjusting the values of the fundamental physical constants	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	24.09.2018 г.
---	----------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	К.Т.Н.		24.09.2018

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Галсанова Людмила Викторовна		24.09.2018

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Галсановой Людмиле Викторовне

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

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость расходных материалов
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчета заработной платы
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	– отчисления во внебюджетные фонды (27,1 %); – расчет дополнительной заработной платы (15 %).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	– потенциальные потребители результатов исследования; – анализ конкурентных технических решений; – SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	– структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ; – разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно-технического исследования.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	– определение интегральный финансового показателя; – определение интегрального показателя ресурсоэффективности; – определение сравнительной эффективности проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	29.03.2019
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОСГН ШБИП	Николаенко Валентин Сергеевич			29.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Галсанова Людмила Викторовна		29.03.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ71	Галсановой Людмиле Викторовне

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

Тема ВКР:

Согласование значений фундаментальных физических констант	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования являются методы согласования значений фундаментальных физических констант. Методы реализуются с помощью программного пакета LabVIEW, поэтому особое внимание необходимо уделить организации рабочего места.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78. Организация работ должна проводиться в соответствии с требованиями НТД: – ГОСТ 12.0.003-2015; – ГОСТ 12.1.004-91; – ГОСТ 12.1.010-76; – СП 52.13330.2016; – СП 2.2.2.1327-03; – СанПиН 2.2.4.548-96; – СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03; – СанПиН 2.2.4.3359-16; – НПБ 105-03.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Отклонение показателей микроклимата; – Превышение уровня шума; – Недостаточная освещенность рабочей зоны; – Превышение уровня электромагнитных излучений.
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия на литосферу: образование отходов при поломке или утилизации компьютера.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Существует вероятность возникновения техногенных ЧС, особенно пожаров.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Атепаева Наталья Александровна			14.03.2019

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Галсанова Людмила Викторовна		14.03.2019

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

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

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.11.2018	Анализ процедуры согласования значений фундаментальных физических констант	
20.01.2019	Программная реализация процедуры согласования	
09.03.2019	Исследование свойств процедуры согласования	
22.03.2019	Реализация программы для процедуры согласования	
10.04.2019	Экспериментальные исследования процедуры согласования	
15.04.2019	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
25.04.2019	Социальная ответственность	
18.05.2019	Оформление графического материала	
22.05.2019	Оформление расчетно-пояснительной записки	

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

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

Реферат

Выпускная квалификационная работа 102 страницы, 17 рисунков, 20 таблиц, 41 источников, 6 приложений.

Ключевые слова: согласование, фундаментальные физические константы, метод Бирджа, модель со случайными эффектами, комплексирование интервальных данных.

Объектом исследования являются процедуры согласования значений фундаментальных физических констант.

Цель работы – разработка процедуры объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант и проверка ее применимости для определения значения величины на основе несогласованных исходных данных.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- теоретическое исследование процедур согласования значений фундаментальных физических констант;
- разработка процедуры объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант;
- разработка программного обеспечения в графической среде разработки LabVIEW;
- проведение экспериментальных исследований;
- анализ полученных результатов.

В процессе исследования проводились: теоретическое ознакомление с процедурами согласования, основанными на Байесовском подходе и методе Бирджа, практическая реализация процедур согласования значений фундаментальных физических констант, и численные экспериментальные исследования процедур.

В результате работы были выявлены свойства исследованных процедур и сделан вывод об их применимости для согласования значений

фундаментальных физических констант, таких как постоянная Планка, гравитационная постоянная и др.

Область применения: согласование значений фундаментальных констант без применения критериев согласованности исходных данных.

Оглавление

	С.
Введение	14
1 Фундаментальные физические константы	16
1.1 Методы согласования значений фундаментальных физических констант	19
1.2 Модели для Байесовского вывода	19
1.2.1 Модель масштаба-местоположения на основе метода Бирджа (Location-scale model with Birge ratio)	24
1.2.2 Модель со случайными эффектами (Random effects model)	28
1.3 Согласование значений фундаментальных физических констант	31
2 Процедура объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант	34
2.1 Процедура согласования на основе метода IF&PA	37
2.2 Расчет неопределенности	42
3 Программное обеспечение для согласования значений фундаментальных физических констант	46
3.1 Среда разработки LabVIEW	46
3.2 Назначение и функции программы Adjustment	47
3.3 Интерфейс пользователя	47
3.4 Реализация моделей согласования	49
3.5 Экспериментальные исследования процедур согласования	52
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	56
4.2 Анализ конкурентных технических решений	57
4.3 SWOT-анализ	57
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	58
4.5 Структура работ в рамках научного исследования	59
4.6 Определение трудоемкости выполнения работ	59
4.7 Разработка графика проведения научного исследования	60
4.8 Определение бюджета научно-технического исследования	60
4.8.1 Расчет материальных затрат	60
4.8.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы	61
4.8.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы	63
4.8.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды	64

4.8.5	Расчет накладных расходов	64
4.8.6	Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	64
4.9	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	65
5	Социальная ответственность	67
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	67
5.1.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	68
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	69
5.2	Профессиональная социальная безопасность	70
5.2.1	Отклонение показателей микроклимата	71
5.2.2	Превышение уровня шума	73
5.2.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны	74
5.2.4	Повышенный уровень электромагнитных излучений	76
5.3	Экологическая безопасность	77
5.3.1	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	78
5.3.2	Обоснование мероприятий по защите окружающей среды	78
5.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	79
5.4.1	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований	80
5.4.2	Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС	81
	Выводы по разделу «Социальная ответственность»	82
	Заключение	83
	Список публикаций студента	84
	Список использованных источников	85
	Приложение А. Adjusting the values of the fundamental constants	90
	Приложение Б. Оценочная карта	98
	Приложение В. Интерактивная матрица	99
	Приложение Г. SWOT-анализ	100
	Приложение Д. Временные показатели проведения разработки	101
	Приложение Е. Календарный план-график	102
	CD-диск. Магистерская диссертация. Согласование значений фундаментальных физических констант. Файл ВКР Галсанова.pdf	

Введение

В связи с научно-техническим прогрессом, возникла необходимость переопределения основных величин Международной системы единиц (СИ). В настоящее время все единицы измерения в соответствии с СИ определяются с помощью фундаментальных физических свойств и законов. Основную роль в этом процессе играют фундаментальные физические константы. В ноябре 2018 года на Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ) утвердили новые определения базовых единиц СИ, при этом четыре величины были переопределены через фундаментальные константы.

Фундаментальными физическими константами (ФФК) называют постоянные, которые входят в уравнения, описывающие фундаментальные законы природы. В силу этого эти константы являются основным инструментом, позволяющим сравнить теорию с экспериментом. Точность значений фундаментальных физических констант определяет пределы возможностей теоретических расчетов.

Согласованием значений фундаментальных физических констант называют процедуру получения на основании данных измерений наиболее точных и надёжных значений для всей совокупности ФФК. Необходимость согласования для нахождения значений фундаментальных констант носит важный характер для обеспечения высокого уровня точности. Важной задачей является объединение результатов измерений при согласовании значений физической константы. Согласование значений фундаментальных физических констант важно не только в физике, но и в метрологии. Метрологическая значимость определяется как ролью, которую фундаментальные константы играют для эталонов единиц, так и ролью, которую эталоны единиц играют для определения значений констант. Несмотря на важность этой проблемы, Руководство (Руководство по выражению неопределенности измерения) и его приложения не дают соответствующих указаний, и в настоящее время применяются многие различные методы. Методы требуют проверки

согласованности начальных предположений о законе распределения и других критерий, которые не всегда выполняются. А значит, существует необходимость исследования различных методов процедуры согласования.

Цель работы – разработка процедуры объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант и проверка ее применимости для определения значения величины на основе несогласованных исходных данных.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- теоретическое исследование процедур согласования значений фундаментальных физических констант;
- разработка процедуры объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант;
- разработка программного обеспечения в графической среде разработки LabVIEW;
- проведение экспериментальных исследований;
- анализ полученных результатов.

В первом разделе проведен аналитический обзор фундаментальных физических констант, а также методов процедуры согласования.

Во втором разделе рассмотрена процедура объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант.

Третий раздел содержит описание программы Adjustment, предназначенной для экспериментальных исследований рассматриваемых процедур согласования, а также проанализированы результаты экспериментальных исследований.

1 Фундаментальные физические константы

Фундаментальные физические константы (ФФК) – постоянные величины, входящие в уравнения, описывающие фундаментальные законы природы и свойства материи. ФФК возникают в теоретических моделях наблюдаемых явлений в виде универсальных коэффициентов в соответствующих математических выражениях. К ФФК относятся: скорость света, постоянная Планка, заряд электрона, постоянные тонкой структуры, Авогадро, Ридберга и т.д. В таблице 1 приведены основные константы и их значения.

Таблица 1 – Значения универсальных физических констант

Величина	Символ	Численное значение	Единица измерения	Стандартная относительная неопределенность u_r
Скорость света в вакууме	c	299792458	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$	(точно)
Магнитная постоянная	μ_0	$1,25663706212(19) \cdot 10^{-6}$	$\text{Н} \cdot \text{А}^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,854187817 \dots \cdot 10^{-12}$	$\text{Ф} \cdot \text{м}^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-10}$
Характеристический импеданс вакуума	Z_0	376,730313461...	Ом	(точно)
Гравитационная постоянная	G	$6,67430(15) \cdot 10^{-11}$	$\text{м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Постоянная Планка	h	$6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$	Дж $\cdot$ с	(точно)

Численные значения ФФК или их комбинаций находят на основе экспериментальных измерений и выражают в единицах какой-либо системы единиц. Количество ФФК зависит от физической теории, принятой за «фундаментальную». В настоящее время это теория общей теории относительности для гравитации и стандартная модель для электромагнитных, слабых и сильных ядерных взаимодействий, и материальных полей. Между ними эти теории насчитывают в общей сложности 19 независимых фундаментальных констант. Однако не существует единого «правильного» способа их перечисления, так как это вопрос произвольного выбора, какие величины считаются «основными», а какие – «производными».

Вопрос о том, какие константы являются «фундаментальными» является вопросом интерпретации физической теории, рассматриваемой как фундаментальная; как указывалось Леви-Леблондом в 1979 году, не все физические константы имеют одинаковое значение, причем некоторые играют более глубокую роль, чем другие [1]. Он предложил схемы классификации трех типов фундаментальных постоянных:

А: характеристика конкретной системы;

В: характеристика класса физических явлений;

С: универсальные константы.

Одна и та же физическая константа может переходить из одной категории в другую по мере углубления понимания ее роли: например, скорость света, которая была константой класса А (характеристика света), когда она была впервые измерена, но стала константой класса В (характеристика электромагнитных явлений) с развитием классического электромагнетизма, и, наконец, константой класса С с открытием специальной теории относительности.

Таким образом, в зависимости от теории, ФФК объясняют поведение физической системы как на микроскопическом, так и на макроскопическом уровне. Набор ФФК тесно связан с выбором системы единиц физических величин и не является фиксированным. Он может увеличиваться посредством открытия новых физических явлений или сокращаться при использовании более общих фундаментальных теорий [2].

На сегодняшний день ФФК затрагивают принципиальные вопросы определения основных единиц физических величин, такие как построение систем единиц, их недостатки и достоинства при использовании в повседневной жизни, промышленности, науке и высоких технологиях. Международная система единиц (СИ), получившая свое нынешнее название на XI ГКМВ, в основном была сформирована в 1960 г. В эту систему входят семь основных единиц: метр, секунда, килограмм, ампер, кельвин, моль и кандела. За все время, прошедшее с момента ее принятия, определения основных единиц неоднократно

корректировались по мере развития науки и наших представлений о природе тех или иных физических явлений, связанных с соответствующими величинами. Например, килограмм, основная единица массы, теперь определяется квантовой величиной, известной как постоянная Планка. Эта неизменная константа природы одинакова везде в пространстве и времени. В соответствии с соглашением, достигнутым в ноябре 2018 года на 26-й ГКМВ в Версале, Франция, также были определены Кельвин, единица измерения температуры; ампер, единица электрического тока; и моль, единица измерения количества вещества [3].

На рисунке 1 представлены семь единиц в Международной системе единиц (внутренний круг) будут определены семью константами (внешний круг).

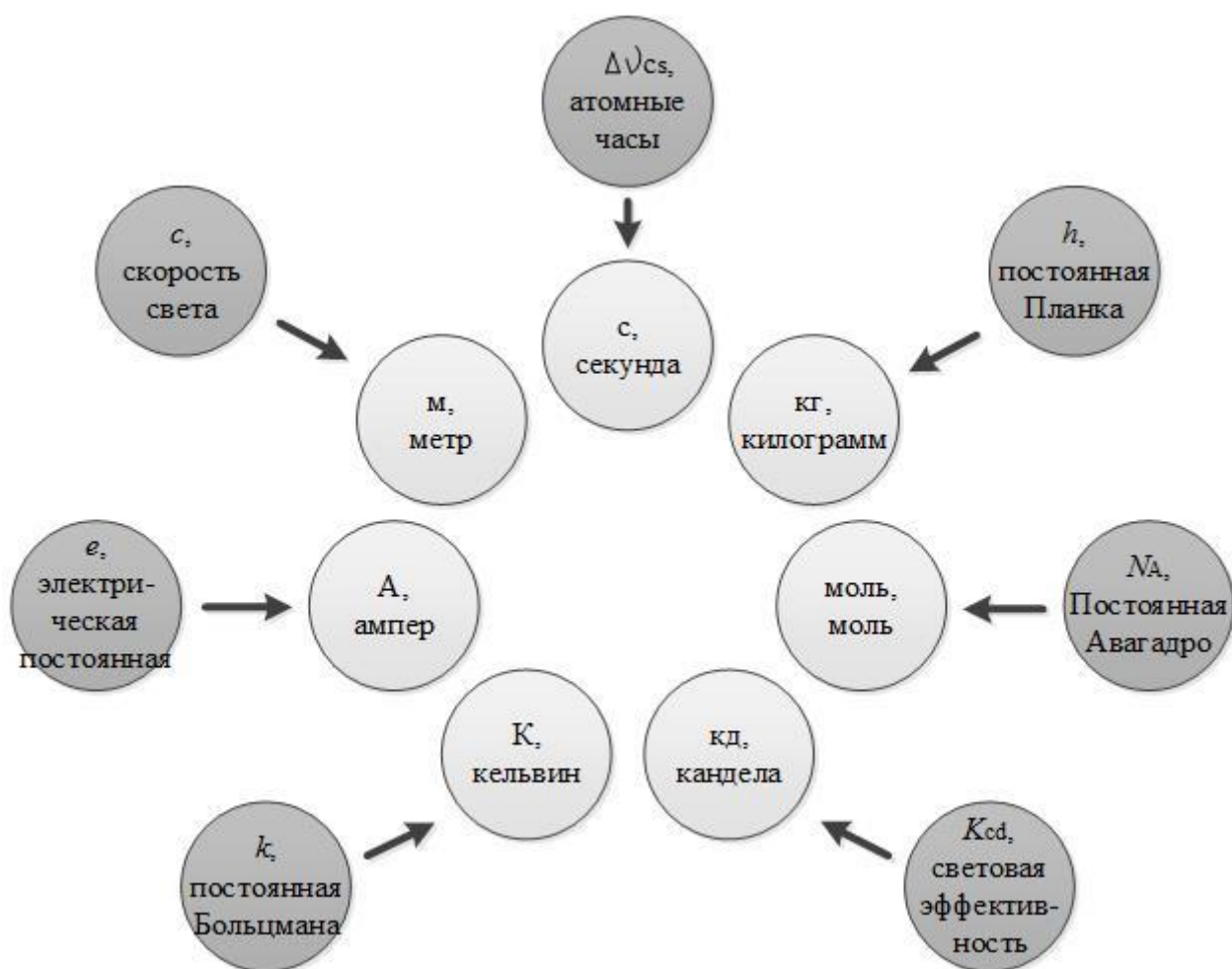


Рисунок 1 – Система единиц

Проблемы, возникающие в метрологии при построении и использовании СИ, следует решать на двух уровнях: *фундаментальном* (теоретическом) и *практическом*, соответственно вводя фундаментальную и практическую системы

единиц, обеспечив возможность проведения согласования последней с фундаментальной системой без существенной потери точности [4].

1.1 Методы согласования значений фундаментальных физических констант

Объединение нескольких результатов измерений для одной и той же величины является важной задачей в метрологии и во многих других областях, включая согласование значений ФФК, расчет контрольных значений в межлабораторных сличениях или мета-анализ клинических исследований. Однако ни Руководство по выражению неопределенности в измерении, ни его приложения не дают никаких указаний для этой задачи. Применяются различные подходы, такие как метод взвешенных наименьших квадратов в сочетании с коэффициентом Бирджа или модель со случайными эффектами. Хотя первый подход, основанный на модели масштаба местоположения, особенно популярен в метрологии, последний представляет собой стандартный инструмент, используемый в статистике для мета-анализа.

Далее рассмотрим данные модели.

1.2 Модели для Байесовского вывода

Перед тем, как начать рассматривать различные методы для объединения результатов измерений, выясним, что же такое Байесовский вывод, поскольку многие методы основываются на данном подходе. Теория принятия решений, теория вероятности и байесовский вывод помогают преодолеть несоответствие между указанной неопределенностью и разбросом данных.

Байесовский вывод – метод статистического вывода, в котором теорема Байеса используется для обновления вероятности гипотезы по мере появления большего количества доказательств или информации. Байесовский вывод является важным методом в статистике, и особенно в математической

статистике. Байесовский вывод особенно важен для динамического анализа последовательности данных.

Суть Байесовского вывода состоит в том, что неизвестный параметр θ рассматривается как *случайная величина* с некоторой плотностью распределения $q(t)$, $t \in \Theta$, относительно меры λ , которая представляет собой считающую меру. Плотность $q(t)$ называется *априорной*, т.е. данной до эксперимента. Байесовский вывод предполагает, что неизвестный параметр θ выбран случайным образом из распределения с плотностью $q(t)$.

Пусть, $f_t(x)$, $t \in \Theta$, $x \in X^n$, есть функция правдоподобия, тогда $f_t(x)$ при каждом t есть плотность распределения в X^n . Поэтому функция $f(x, t) = f_t(x) \cdot q(t)$ есть плотность некоторого распределения в $X^n \times \Theta$ относительно меры $\mu^n \times \lambda$, которую можно интерпретировать как *плотность совместного распределения* X и θ . Тогда функция $f_t(x)$, $x \in X^n$, есть условная плотность X при условии, что $\theta = t$: $f_t(x) = f(x|t)$.

Аналогично с $f(x|t)$ можно выписать условную плотность $q(t|x)$ величины θ при условии $X = x$:

$$q(t|x) = \frac{f_t(x)q(t)}{f(x)}, \quad f(x) = \int f_t(x)q(t)\lambda(dt) \quad (1)$$

Эта плотность определяет так называемое *апостериорное* (т.е. после эксперимента) распределение θ . Равенство (1) называется *формулой Байеса*, для плотности апостериорного распределения [5].

Говоря языком теории вероятностей, формула Байеса имеет следующий вид:

$$P(A|B) = \frac{P(A) \cdot P(B|A)}{P(B)} \quad (2)$$

где A и B – события;

$P(A)$ и $P(B)$ – вероятности A и B без учета друг друга;

$P(A|B)$ – условная вероятность события A при условии, что B истинно;

$P(B|A)$ – условная вероятность B , если A истинно.

Результат вычислений – это просто нормализованное взвешенное значение на основе первоначального предположения. Итак, возьмем первоначальное предположение, взвесим его по отношению к другим первоначальным возможностям и нормализуем на основе наблюдения, т.е. по формуле (1): $P(A)$ – взвешивание, $P(B|A)$ – предположение и $P(B)$ – нормализация.

Для решения различных задач с использованием формулы Байеса можно пользоваться следующим алгоритмом:

- 1) Определить, какую из вероятностей вычисляем, а какую наблюдаем.
- 2) Оценить начальные вероятности для всех возможных вариантов.
- 3) Предположив истинность некоего начального варианта, рассчитать вероятность искомого наблюдения; и так для всех начальных вариантов.
- 4) Найти взвешенную величину, как произведение начальной вероятности (шаг 2) и условной вероятности (шаг 3), и так для каждого из начальных вариантов.
- 5) Нормализовать результаты: разделить каждую взвешенную вероятность (шаг 4) на сумму всех взвешенных вероятностей; сумма нормализованных вероятностей равна 1.
- 6) Повторить шаги 2–5 для каждого нового наблюдения.

Далее рассмотрим пример: Предположим, у вашего друга есть 3 кости: с 4, 6 и 8 гранями. Он случайным образом выбирает одну из них, не показывает вам, бросает и сообщает результат – 2. Нужно вычислить вероятность того, что был выбран 4-гранник, 6-гранник, 8-гранник.

Шаг 1. Нужно вычислить вероятность выбора 4-гранника, 6-гранника или 8-гранника. Наблюдаем выпавшее число – 2.

Шаг 2. Поскольку костей было 3, исходная вероятность выбора каждой из них – $1/3$.

Шаг 3. Наблюдение – кость упала гранью 2. Если был взят 4-гранник, шансы этого равны $1/4$. Для 6-гранника шансы выпадения 2-ки – $1/6$. Для 8-гранника – $1/8$.

Шаг 4. Выпадение 2-ки для 4-гранника равняется: $1/3 \cdot 1/4 = 1/12$, для 6-гранника: $1/3 \cdot 1/6 = 1/18$ и для 8-гранника: $1/3 \cdot 1/8 = 1/24$.

Шаг 5. Общая вероятность выпадении 2-ки: $1/12 + 1/18 + 1/24 = 13/72$. Это число меньше 1, потому что шансы бросить 2-ку меньше 1. Но мы знаем, что уже бросили именно 2-ку. Таким образом, нам нужно разделить шансы каждого варианта из шага 4 на $13/72$, чтобы сумма всех шансов для всех костей лечь 2-ой равнялась 1. Этот процесс называется нормализацией.

Нормализуя каждую взвешенную вероятность, мы находим вероятность того, что именно эта кость была выбрана:

- 4-гранник: $(1/12) / (13/72) = 6/13 = 0,461$;
- 6-гранник: $(1/18) / (13/72) = 4/13 = 0,308$;
- 8-гранник: $(1/24) / (13/72) = 3/13 = 0,231$.

И это ответ. Когда мы начали решать задачу, мы предположили, что вероятность выбрать определенную кость равна 33,3 %. После выпадения 2-ки, мы рассчитали, что шансы, что первоначально был выбран 4-гранник выросли до 46,1 %, шансы выбора 6-гранника снизились до 30,8 %, а шансы, что был выбран 8-гранник и вовсе упали до 23,1 %.

Если сделать еще один бросок, то нужно было бы использовать новые рассчитанные проценты в качестве наших начальных предположений и уточнить вероятности на основе второго наблюдения [6].

В Байесовском выводе применяются различные подходы, такие как метод наименьших квадратов в сочетании с коэффициентами Бирджа или моделей со случайными эффектами. В статье автор рассматривает две модели [7]:

- модель масштаба-местоположения на основе метода Бирджа (Location-scale model with Birge ratio, BR);
- модель со случайными эффектами (Random effects model, REM).

Эти модели рассматривают наблюдаемые данные $x = (x_1 \dots x_n)^T$ как реализацию случайных величин $X = (X_1 \dots X_n)^T$. Обе модели предполагают, что

случайные величины X распределены по нормальному закону (обозначаемым N , с вектором неизвестных математических ожиданий $(\mu, \dots, \mu)^T$), при этом ковариационная матрица зависит от указанных неопределенностей и коэффициентов корреляции.

Первая модель – это *модель BR*:

$$X | \mu, \sigma_B, M_{BR} \sim N(\mu 1, \sigma_B^2 V), \quad (3)$$

т. е. случайные величины X распределены по нормальному закону распределения со средним вектором $\mu 1$ и ковариационной матрицей $\sigma_B^2 V$, где $1 = (1, \dots, 1)^T$ – вектор, состоящий из единиц. Из обозначения $X | \mu, \sigma_B, M_{BR}$ видно, что распределение X условно зависит от неизвестных параметров μ и σ_B , а также от предполагаемой модели M_{BR} . Матрица V содержит указанные неопределенности и ковариации, где диагональные элементы этой матрицы равны квадрату стандартных неопределенностей $V_{ii} = u_i^2$, а внедиагональные элементы определяются согласно $V_{ij} = \rho_{ij} u_i u_j$. Согласно этой модели, несогласованность будет рассматриваться путем увеличения всех указанных неопределенностей по одному и тому же коэффициенту. Зависимость распределения X от V опускается, поскольку V задана.

Вторая модель – *модель REM*:

$$X | \mu, \sigma_\lambda, M_{REM} \sim N(\mu 1, V + \sigma_\lambda^2 I), \quad (4)$$

где V и 1 имеют то же значение, что и для модели BR. В этой модели несогласованность будет учитываться добавлением общего члена σ_λ^2 ко всем указанным (квадратичным) неопределенностям. Подобно тому, как σ_B является дополнительным параметром для модели BR, σ_λ является дополнительным параметром для модели REM.

Ковариационная матрица V в обоих случаях соответствует оценке неопределенности, сделанной относительно x . В метрологии неопределенности оцениваются в соответствии с Руководством, а V обычно представляет информацию, полученную как из наблюдений, так и из экспертных знаний.

Руководство объединяет элементы из классической и байесовской статистики, и, следовательно, V не может рассматриваться как (оценка) ковариационной матрицы распределения выборки, которая представляет собой реальный процесс выборки.

Модели BR и REM актуальны в метрологии. Например, была предложена модель со случайными эффектами REM для определения эталонного значения, необходимого для анализа межлабораторных сравнений, или для определения фундаментальной постоянной.

Обе модели аналогичны тем, что они содержат увеличение позиций в ковариационной матрице: модель BR применяет общий коэффициент ко всем отклонениям и ковариациям, а модель REM – аддитивную поправку ко всем дисперсиям. Однако выводы, основанные на этих двух моделях, могут оказаться совершенно разными.

Байесовский вывод разработан для обеих моделей. Чтобы количественно оценить эту устойчивость модели при наличии нарушений в допущениях, считается, что показатели успешной работы модели (при повторной выборке) составляют 95 % доверительных интервалов.

Байесовский вывод для двух моделей BR и REM с использованием априорной информации, который определяется принципом Бергера и Бернарда [8], когда μ – параметр, представляющий интерес, σ_B и σ_L являются параметрами помехами, т. е. не представляют непосредственного интереса. Полученная результирующая информация будет называться базовой апостериорной информацией.

1.2.1 Модель масштаба-местоположения на основе метода Бирджа (Location-scale model with Birge ratio, BR)

Базовая апостериорная информация для модели масштаба-местоположения (и группировка $\{\mu, \sigma_B\}$) представляет собой масштабированное и смещенное t -распределение, выраженное как

$$\mu|x, M_{BR} \sim t_{n-1} \left(\frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1}, \frac{1}{n-1} \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1} \right), \quad (5)$$

где $Q = V^{-1} - \frac{V^{-1} 1 1^T V^{-1}}{1^T V^{-1} 1}$ отсюда следует, что первый или второй моменты предельной апостериорной информации $\pi(\mu|x, M_{BR})$ существуют при условии, что $n \geq 3$ или $n \geq 4$. По соображениям численной устойчивости член $x^T Q x$ в (5) следует оценивать в численных расчетах как $(x - \hat{\mu} 1)^T V^{-1} (x - \hat{\mu} 1)$, где $\hat{\mu} = \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1}$.

Из (5) получаем

$$E(\mu|x, M_{BR}) = \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1} \quad (6)$$

и

$$\text{Var}(\mu|x, M_{BR}) = \frac{1}{n-3} \cdot \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1} \quad (7)$$

Наконец, 95 % доверительный интервал рассчитывается

$$\left[\frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1} - t_{n-1; 0,975} \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1}}, \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1} + t_{n-1; 0,975} \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1}} \right] \quad (8)$$

где $t_{d,\beta}$ обозначает β -размерность t -распределения с d степенями свободы.

Для модели BR распределение выборки X можно записать в виде:

$$p(x|\mu, \sigma_B, M_{BR}) \propto \frac{1}{\sigma_B^n} \exp \left(-\frac{1}{2\sigma_B^2} \left[(\mu - \hat{\mu}(x))^2 (1^T V^{-1} 1) + x^T Q x \right] \right), \quad (9)$$

где $\hat{\mu}(x) = \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1}$. Поскольку $\hat{\mu}(X)$ и $X^T Q X$ независимые достаточные статистики (т. е. $\hat{\mu}(X)$ и $X^T Q X$ независимы и содержат всю информацию,

которую X предоставляет о неизвестных параметрах) с

$(\hat{\mu}(X) - \mu) \times (1^T V^{-1} 1)^{1/2} \sim N(0, 1)$ и $\frac{X^T Q X}{\sigma_B^2} \sim \chi_{n-1}^2$, получаем

$$\frac{(\hat{\mu}(X) - \mu)(1^T \sigma_B^{-2} V^{-1} 1)^{1/2}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \frac{1}{\sigma_B^2} X^T Q X}} \sim t_{n-1}. \quad (10)$$

Таким образом, базовая апостериорная информация предшествует точной сопоставлению вероятностей и, следовательно, доверительный интервал также составляет 95 %.

Данная модель была идентифицирована в [9] как статистическая модель, лежащая в основе отношения Бирджа, которое популярно в метрологии для корректировки противоречивых данных.

Проверка согласованности Бирджа основан на следующих трех предположениях:

1) Результаты $x_1, \dots, x_n$ можно рассматривать как реализации случайных величин с выборкой функцией плотности вероятности (pdf) неизвестных ожидаемых значений;

2) Стандартные неопределенности $u(x_1), \dots, u(x_n)$ можно рассматривать как известные стандартные отклонения pdf для $x_1, \dots, x_n$ соответственно;

3) Выборочные pdf для $x_1, \dots, x_n$ могут рассматриваться как нормальные (гауссовские) и взаимно независимые [10].

Наиболее часто используемая оценка измеряемой величины в экспериментах, это взвешенное среднее:

$$\hat{\mu}_{wm} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{u_i^2}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{u_i^2}. \quad (11)$$

Проверка согласованности набора данных при этом осуществляется с помощью критерия хи-квадрат.

В предположении, что данные являются нормально распределенными, независимыми случайными величинами с одинаковым средним значением μ и дисперсиями u_i^2 , χ_{obs}^2 – наблюдаемое значение случайной величины хи-квадрат с $(n - 1)$ степенями свободы.

Проверка согласованности Бирджа, наиболее часто используемая для увеличения размера неопределенностей измерений, т.е. измерение i обычно распределено с дисперсией $c^2 u_i^2$ и средним μ . Тогда выражение для консенсусного среднего (11) остается тем же, но выражение для стандартной неопределенности становится: $u_B = c \cdot u$.

Целью проверки Бирджа является оценка c . Обычная оценка основана на том, что при этих допущениях

$$\frac{1}{c^2} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i - \hat{\mu}_{\text{WM}}}{u_i} \right)^2 = \frac{\chi_{\text{obs}}^2}{c^2} \quad (12)$$

является наблюдаемой величиной случайной величины хи-квадрат с $(n - 1)$ степенями свободы. Поскольку ожидаемое значение такой случайной величины в виде квадрата равно $(n - 1)$:

$$E \left(\frac{\chi_{\text{obs}}^2}{n - 1} \right) = \frac{(n - 1)c^2}{n - 1} = c^2 \quad (13)$$

и поэтому $\frac{\chi_{\text{obs}}^2}{n - 1}$ – является несмещенной оценкой c^2 , и u_B можно оценить как

$$\sqrt{\frac{\chi_{\text{obs}}^2}{n - 1}} \cdot u.$$

Ключевым свойством проверки согласованности Бирджа является то, что неопределенности увеличиваются пропорционально, и поэтому обычная средневзвешенная оценка остается неизменной. Корректировка основывается на допущении, что заниженная оценка неопределенности пропорциональна по различным измерениям.

1.2.2 Модель со случайными эффектами (Random effects model)

Далее рассмотрим байесовский эталонный анализ для модели со случайными эффектами REM. В данном случае, апостериорное значение $\pi(\mu, \sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}})$ существует всякий раз, когда $n \geq 2$, а предельное апостериорное значение $\pi(\mu | x, M_{\text{REM}})$ имеет первый и второй моменты при условии, что $n \geq 3$ и $n \geq 4$ выполняются соответственно. Условное апостериорное значение $\pi(\mu, \sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}})$ является

$$\mu | \sigma_\lambda, x, M_{\text{REM}} \sim N \left(\frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}, \frac{1}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} \right), \quad (14)$$

и для $\pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}})$ получаем

$$\pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) \propto \frac{\sqrt{\sigma_\lambda^2 \cdot \text{tr} \left((V + \sigma_\lambda^2 I)^{-2} \right)}}{\sqrt{\det(V + \sigma_\lambda^2 I)} \sqrt{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}} \times \exp \left(-\frac{1}{2} x^T R(\sigma_\lambda) x \right), \quad (15)$$

$$\text{где } R(\sigma_\lambda) = (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} - \frac{(V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1 1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1}}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}.$$

Применив (14) вместе с (15) получим

$$E(\mu | x, M_{\text{REM}}) = \int_0^\infty \frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} \pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) d\sigma_\lambda, \quad (16)$$

и

$$\begin{aligned} \text{Var}(\mu | x, M_{\text{REM}}) = & \int_0^\infty \left\{ \frac{1}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} + \left(E(\mu | x, M_{\text{REM}}) - \frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} \right)^2 \right\} \times \\ & \times \pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) d\sigma_\lambda \end{aligned} \quad (17)$$

В результате, самый короткий интервал при доверительной вероятности 95 % получается путем минимизации более $\beta \in (0; 0,05)$ длины интервала $[a_{0,05-\beta}, a_{1-\beta}]$, где a_γ является решением следующего выражения:

$$\gamma = \int_0^\infty \Phi \left(a_\gamma; \frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}, \frac{1}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} \right) \times \pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) d\sigma_\lambda \quad (18)$$

В (18) символ $\Phi(y; a, b^2)$ обозначает функцию нормального распределения со средним значением a и дисперсией b^2 для y [7].

Модель со случайными эффектами REM предполагает, что i -е измерение может быть записано как

$$x_i = \mu + \lambda_i + e_i \quad (19)$$

где μ – измеряемая величина, λ_i – это так называемый случайный эффект, то есть гауссова случайная величина со средним значением 0 и дисперсией σ_λ^2 , а e_i – обычный член ошибки измерения, также является гауссовой случайной величиной со средним значением 0 и дисперсией u_i^2 . Случайный эффект объясняет дополнительную изменчивость измерений, которая не учитывается указанным значением u_i^2 . Считается, что эта изменчивость вызвана, возможно, неизвестными или плохо понятыми факторами, которые одинаково влияют на все измерения.

Согласно этой модели, определенное измерение считается нормально распределенным со средним значением μ и дисперсией $u_i^2 + \sigma_\lambda^2$. Таким образом, индивидуальная неопределенность увеличивается аддитивно слагаемым σ_λ^2 . Этот дополнительный член отклонения оценивается с использованием измерений. Одним из естественных последствий аддитивной корректировки неопределенности является то, что оценка $\hat{\mu}$, приведенная в (11), также изменяется.

Различные методики были предложены в статистической литературе для оценки σ_λ^2 [11]. Большинство из них используют тот факт, что величина $\sum_{i=1}^n \omega_i (x_i - \hat{\mu}_R)^2$ имеет распределение хи-квадрат с $(n - 1)$ степенями свободы при

модель (19). Где $\omega_i = 1 / (u_i^2 + \sigma_\lambda^2)$, $\hat{\mu}_R = u_R^2 \sum_{i=1}^n (x_i / (u_i^2 + \sigma_\lambda^2))$ и

$u_R^2 = \left(\sum_{i=1}^n (1 / (u_i^2 + \sigma_\lambda^2)) \right)^{-1}$. Версия этой процедуры, в которой использовалась

оценка максимального правдоподобия, была применена в [12] для вычисления гравитационной постоянной из набора данных CODATA 1998 года. Ни одна из классических процедур оценки не дает решения в замкнутой форме для оценки σ_λ^2 , и все используют различные упрощающие предположения или приближения. Компромисс, конечно, заключается в том, что байесовский метод требует предварительного распределения для μ и σ_λ^2 . Поскольку не предполагается никакой дополнительной информации о каком-либо параметре, априорная информация для $p(\mu, \sigma)$ получается как

$$p(\mu, \sigma_\lambda) \propto \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\sigma_\lambda^2}{(u_i^2 + \sigma_\lambda^2)^2}} \quad (20)$$

Эта априори гарантирует, что апостериорное распределение для μ может быть получено, но его вывод требует числовых средних. Таким образом, оценка очень похожа на оценку, основанную на проверке согласованности Бирджа.

Основным недостатком данных моделей является то, что обе модели предполагают реализацию исходных данных по нормальному закону распределения. А также для количественной оценки устойчивости моделей, необходимо учитывать, что показатели успешной работы (при повторной выборке) удовлетворяют условиям при доверительном интервале в 95 %.

1.3 Согласование значений фундаментальных физических констант

ФФК носят универсальный характер и входят в самые разнообразные уравнения физики с разнообразными взаимосвязанными комбинациями. Их нахождение представляет собой нетривиальную задачу, которая осуществляется на регулярной основе рабочей группой CODATA (от Committee on Data) по фундаментальным константам. И их рекомендованные значения ФФК публикуются с периодичностью в четыре года данной международной рабочей группой.

CODATA по фундаментальным физическим константам определяет политику обработки данных, особенно несоответствующих данных, которые будут использоваться при корректировке фундаментальных констант с учетом национальных, международных и разнообразных научных интересов. CODATA признана на международном уровне в качестве авторитетного органа в обработке данных, рекомендуя значения ФФК. Цель CODATA по ФФК состоит в том, чтобы предоставлять научно-техническим сообществам согласованный набор рекомендуемых на международном уровне значений основных констант и коэффициентов преобразования физики и химии на основе всех соответствующих данных, доступных на данный момент времени [13].

Согласование значений ФФК – это процедура получения из данных измерений наиболее точных и надёжных значений для всей совокупности ФФК. Оно включает анализ неопределенностей измерений, определение надёжности измерений и вычисление наиболее согласующихся значений ФФК. Суть согласования заключается не в статистической обработке данных, а в критическом осмыслении прецизионных результатов как входных данных согласования. Различные физические теории, а также экспериментальные методики основаны на приближениях. И возможно, согласование значений ФФК является единственной попыткой проверить разумность и согласованность приближений в целом.

Для идеальной ситуации значимость измерений и вычислений с недостаточной точностью – незначительна. Как и в различных вычислениях по методу наименьших квадратов, вес таких данных резко убывает с увеличением их погрешности. Однако для неидеальной ситуации, с имеющимися проблемами с согласием данных, все меняется, а при большом объеме данных подобные проблемы возникают неизбежно. В «простой» обработке однотипных данных данная проблема разрешается статистически. Если же данные разнородны и результаты двух отличных методов измерений, реализованных с разной точностью, не согласуются, то такую проблему невозможно решить из общих статистических соображений. Необходимо анализировать данные.

А значит, основная работа при согласовании значений ФФК заключается в анализе данных и попытке понять, можно ли доверять тем или иным результатам, каковы корреляции между результатами и как поступать в случае различных противоречий [14].

На протяжении последнего десятилетия структура согласования остается неизменной:

1) Известны несколько ФФК с абсолютной точностью, т.к. их значения фиксированы при определении единиц СИ или внесистемных единиц. А значит, при согласовании эти константы (таблица 1) не меняются и их неопределенности не исчезают, а переносятся с их численных значений на определение размерных единиц, в которых они выражены, и через них в неопределенности других величин.

2) Значения некоторых ФФК, которые известны с высокой степенью точности, не влияют на определение значений остальных фундаментальных констант, т.е. при согласовании они играют роль вспомогательных констант, т.к. находятся до основной процедуры согласования и при согласовании не меняются.

3) ФФК сортируются в два больших блока данных:

- наиболее точно измеренный блок;
- менее точно измеренный блок.

В связи с полностью изолированными экспериментами, существуют ФФК не входящие ни в какие блоки.

4) Также существуют ФФК, измеренные со слишком низкой точностью, и их экспериментальные данные практически не участвуют в согласовании, а в качестве результата приводится некоторая производная из согласованных значений других констант.

Сравнение точности различных данных ФФК хоть и играет важную роль при их разбиении на блоки, но не определяющую. Процедура согласования аналогична процедуре нахождения средневзвешенного значения, только с разницей, что данные многообразны и имеют многочисленные корреляции. Если данные в целом находятся в согласии, то доминируют наиболее точные значения и данные, уступающие им по точности на полпорядка, практически не играют роли. Однако если существенно менее точная величина отличается от более точной на несколько стандартных отклонений, то она влияет на среднее.

Необходимо понимать, что настоящая цель согласования заключается не в выработке таблиц наиболее точных значений ФФК, а в степени согласованности прецизионных теоретических и экспериментальных методов из разных областей измерений и теории.

2 Процедура объединения данных при согласовании значений фундаментальных физических констант

Как было изложено ранее, имеется сравнительно небольшое число действительно независимых фундаментальных констант в связи с этим в экспериментах используют их самые различные комбинации, для которых точность ФФК имеет немаловажное значение. Объединение результатов измерений для одной и той же физической константы является типичной задачей в метрологии. С переопределением основных единиц СИ через ФФК, объединение результатов измерений ФФК, сделанных в национальных метрологических институтах (или расчет эталонного значения в ключевом сравнении на основе результатов, представленных участвующими метрологическими институтами), а также в различных исследовательских лабораториях становится важной задачей. Данной задачей занимается рабочая группа CODATA.

Для процедуры согласования входными данными являются результаты измерений ФФК, представленные в виде интервалов (I_k), где центр – это измеренное значение ФФК, а границы – неопределенность значения ФФК. И при согласовании которых необходимо вычислить результирующий интервал (I_r), удовлетворяющий процедуре согласования. На рисунке 2 представлен пример согласования.

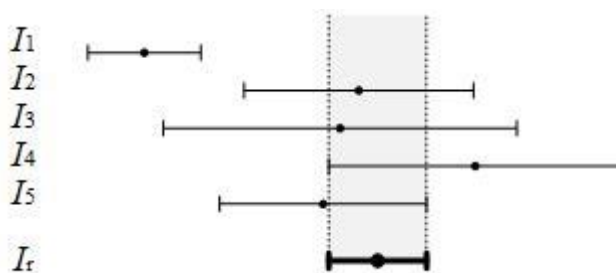


Рисунок 2 – Процедура согласования

Таким образом, возникает обширный массив данных по разным комбинациям фундаментальных констант. Поскольку ничто не бывает ни абсолютно точным, ни абсолютно правильным, результаты не находятся в

идеальном согласии и их необходимо согласовать, т.е. выработать набор значений фундаментальных констант, которые обладают высокой точностью и которые не противоречат друг другу. Существенным метрологическим элементом этого массива данных является вовлечение эталонов нескольких единиц СИ. А значит, помимо полученных данных, необходимо согласовать используемые при их измерении эталоны.

Определим основные требования к разрабатываемой процедуре согласования:

- отсутствие необходимости проверки входных данных на согласованность;
- робастность (устойчивость к выбросам);
- независимость от вида закона распределения;
- отсутствие весовых показателей для интервалов;
- применимость к малому количеству интервалов;
- отсутствие необходимости исключения несогласованных интервалов;
- универсальность (применимость для любой ФФК).

В ходе выполнения бакалаврской работы [15] были рассмотрены методы комплексирования интервальных данных, в котором метод агрегирования предпочтений на основе правила Кемени (IF&PA) был выявлен, как наилучший.

Данный метод обладает следующими свойствами:

1) Высокая точность (Рисунок 3) по сравнению с признанными робастными методами одобрительного голосования на основе правил относительного и абсолютного большинства;

2) Устойчивость к выбросам (Рисунок 4), т.е. метод IF&PA является наиболее робастным, т.к. пороговая точка (доля неправильных значений в выборке, которые может обработать определенный алгоритм, прежде чем давать неверный результат) составила 50 %.

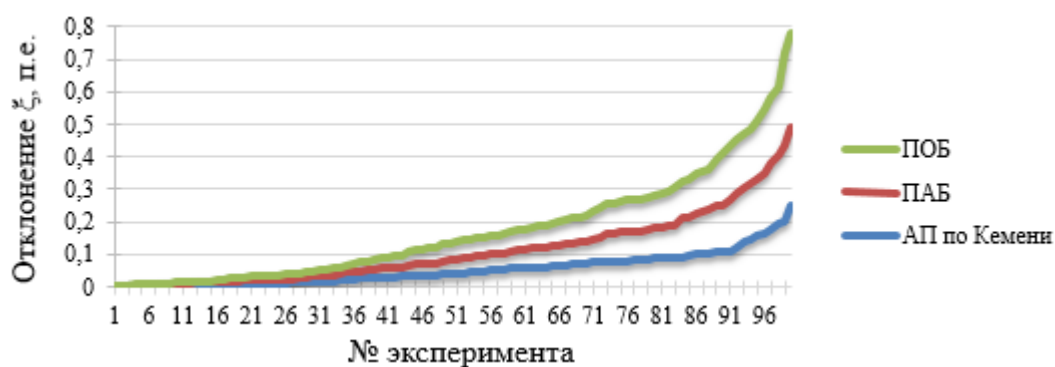


Рисунок 3 – Сравнение точности алгоритмов

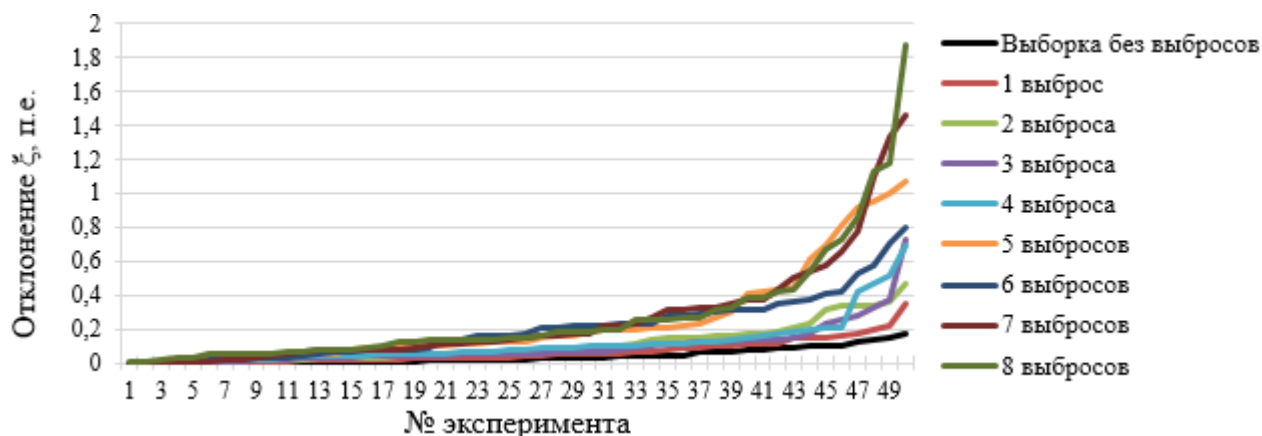


Рисунок 4 – Устойчивость к выбросам

3) Результаты исследования устойчивости к изменению вида закона распределения приведены на рисунке 5. Для сравнения методов в каждой точке рассчитывалась разность отклонений между нормальным и равномерным законами распределения, затем среднее арифметическое значение этих отклонений, который являлся индикатором чувствительности к закону распределения: чем меньше среднее значение отклонений, тем робастнее метод.

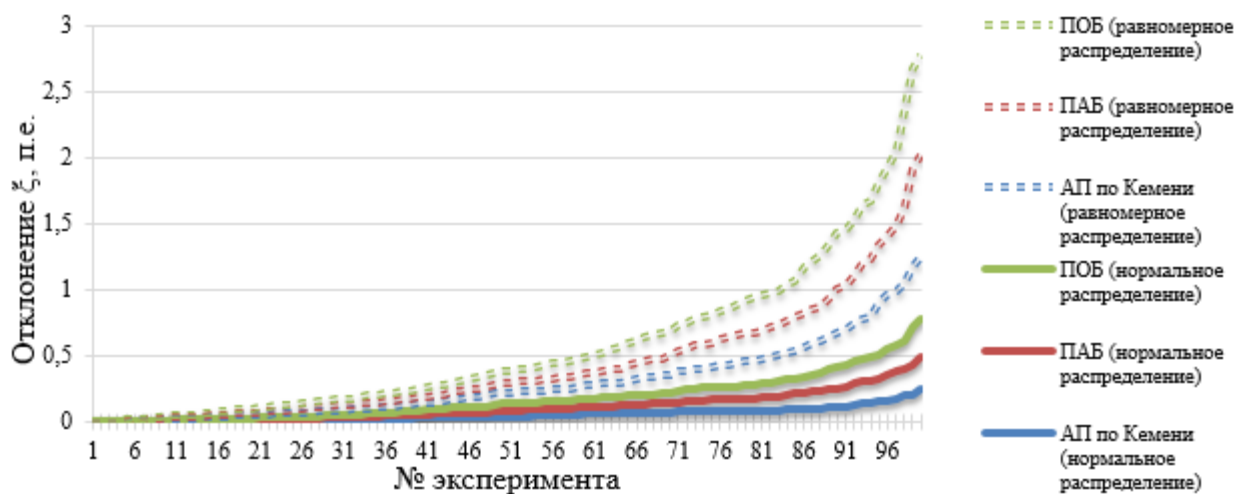


Рисунок 5 – Сравнение чувствительности к виду закона распределения

4) Исключение возможности появления парадокса в результатах;

5) Вычислительная сложность – NP-полная (задачи, для которых не доказано ни то, что они могут быть решены за полиномиальное время, ни то, что они не могут быть решены за полиномиальное время), т.е. для нахождения результирующего интервала требуется много времени.

Так как в процедуре согласования используются данные значений ФФК в виде интервала (результат измерения с неопределенностью), то данный метод подходит для объединения значений ФФК.

Таким образом метод IF&PA будет положен в основу разрабатываемой процедуры объединения данных при согласовании значений ФФК.

2.1 Процедура согласования на основе метода IF&PA

Для начала рассмотрим правило Кемени. Пусть задано множество m ранжирований $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ n альтернатив из множества $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. Каждое ранжирование имеет вид цепочки и задает отношение предпочтения $\lambda_k = \{a_1 \succ a_2 \dots \sim a_s \sim a_t \succ \dots \sim a_n\}$ на множестве A . Отношение предпочтения λ является объединением двух отношений: отношения *строгого предпочтения* ρ , т.е. $a_i \prec a_j$, и отношения *эквивалентности* τ , т.е. $a_i \sim a_j$, т.е. $\lambda = \rho \cup \tau$. Множество ранжирований (отношений предпочтения) Λ будем называть *профилем предпочтения* для заданных m и n .

Классическая проблема определения единого *ранжирования консенсуса* (отношения слабого порядка на вещественной числовой оси множества дискретных значений) для m ранжирований n альтернатив, имеет потенциал для широкого применения в информационных технологиях и, в частности, в измерениях и контрольно-измерительных приборах. Правило Кемени является одним из глубоко обоснованных способов решения проблемы, позволяющей найти такой линейный порядок (ранжирование Кемени) альтернатив, что расстояние (определенное при попарном сравнении между ранжированиями) от него до исходного ранжирования минимально [16].

Агрегировать m предпочтений, заданных на множестве n альтернатив, – это значит определить единственное отношение предпочтения β , называемое *ранжированием консенсуса*, которое обеспечивает между ранжированиями исходного профиля наилучший компромисс.

Пусть пространство Π является множеством всех $n!$ отношений строгого порядка $\succ$ на A . Тогда задача правила Кемени состоит в том, чтобы найти такой строгий порядок $\beta \in \Pi$ элементов $a_1, \dots, a_n$, что расстояние $D(\lambda, \Lambda)$ от него до профиля предпочтения Λ является минимальным, то есть.

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda). \quad (21)$$

Расстояние $D(\lambda, \Lambda)$ между некоторым ранжированием λ и профилем Λ определяется как:

$$D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad (22)$$

где

$$d_{ij}^k = \begin{cases} 0 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k \\ 1 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k, \\ 2 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k \end{cases}, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (23)$$

Чтобы описать все ранжирования профиля предпочтений, будем использовать *матрицу профиля* P , строки и столбцы которой обозначены номерами альтернатив, где

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (24)$$

В результате получаем, что правило Кемени, описанное формулой (21), изменяется на

$$\beta = \arg \min_{i < j} \sum p_{ij}, \quad (25)$$

что означает определение такой перестановки строк и столбцов матрицы профиля, что сумма элементов ее подматрицы верхнего треугольника минимальна [17].

В работе [18] предложен алгоритм, позволяющий применять правило Кемени для комплексирования интервальных данных.

Метод комплексирования IF&PA работает на множестве ранжирований элементов конечного множества, поэтому необходимо представлять исходные интервалы (I_k) набором дискретных элементов a_i . Для этого необходимо перейти от пространства непрерывных функций к дискретному пространству.

Для этой цели введем понятие **диапазона актуальных значений** (ДАЗ) $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$. При формировании ДАЗ $[a_1, a_n]$ из исходных интервалов $\{I_k\}_{k=1}^m$ в качестве нижней границы a_1 выбирается наименьшая нижняя граница l_k для всех интервалов, т.е.

$$a_1 = \min\{l_k \mid k = 1, \dots, m\}, \quad (26)$$

а в качестве верхней границы a_n – наибольшая верхняя граница u_k этих интервалов, т.е.

$$a_n = \max\{u_k \mid k = 1, \dots, m\}. \quad (27)$$

Далее ДАЗ разбивается на $n - 1$ равных подынтервалов длиной h , где

$$h = \frac{a_n - a_1}{n - 1}. \quad (28)$$

ДАЗ представляется элементами дискретного множества $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, где $A \subset [a_1, a_n]$, а i -й элемент множества определяется как

$$a_i = a_{i-1} + h, \quad (29)$$

при $i = 2, \dots, n$. Таким образом, результатом разбиения ДАЗ является дискретное множество $A_n = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, которое может быть использовано для формирования ранжирований, представляющих исходные интервалы $\{I_k\}$.

Ранжирования формируются в соответствии со следующими условиями:

$$\begin{cases} \text{(i)} & a_i \in I_k \wedge a_j \notin I_k \Rightarrow a_i \succ a_j; \\ \text{(ii)} & a_i, a_j \in I_k \vee a_i, a_j \notin I_k \Rightarrow a_i \sim a_j; \\ \text{(iii)} & a_i \notin I_k \wedge a_j \in I_k \Rightarrow a_i \prec a_j; \\ \text{(iv)} & a_i, a_j \in A_k - \text{соседние элементы} \Rightarrow j \equiv i + 1. \end{cases} \quad (30)$$

Поскольку результатом x_r становится получивший наивысший ранг элемент a_i множества A , выбор подходящего числа n должен гарантировать

необходимую и достаточную точность представления дискретных значений a_i множества A .

Таким образом, процедура согласования значений ФФК на основе комплексирования интервальных данных, названная IFAM (interval fusion with adjustment model), включает в себя следующие этапы:

1) Формирование интервальных данных на основе измеренных значений ФФК (x_k) с полученными неопределенностями (u_k).

2) Построение диапазона актуальных значений $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$.

На этом этапе происходит формирование ДАЗ из набора исходных интервалов $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, разбиение ДАЗ на $(n - 1)$ равных подынтервала длиной h для получения множества дискретных значений $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ по формуле (29).

3) Представление интервалов ранжированиями и построение профиля предпочтений $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$. На основании исходных интервалов $\{I_k\}$ в соответствии с формулой (30) формируются ранжирования λ_k и профиль предпочтения Λ , состоящий из m ранжирований.

4) Определение результирующего значения x_r как лучшей альтернативы в ранжировании консенсуса для профиля Λ .

Этап включает в себя нахождение ранжирования консенсуса β_{fin} по правилу Кемени и выбор наиболее предпочтительной альтернативы a_i в полученном ранжировании в качестве результата комплексирования x_r . При наличии в β_{fin} нескольких наилучших альтернатив за результат x_r принимается их медиана.

5) Расчет относительной неопределенности u^* результата комплексирования x_r определяется как наименьшее из двух значений: максимальная нижняя граница l_k и минимальная верхняя граница u_k исходных интервалов, т.е.:

$$u^* = \min \left(\max_{k=1, \dots, m} \{l_k \leq x_r\}, \min_{k=1, \dots, m} \{u_k \geq x_r\} \right). \quad (31)$$

б) Расчет относительной неопределенности u_r значения x_r по следующей формуле:

$$u_r = \frac{u^*}{x_r}. \quad (32)$$

Графическое представление процедуры согласования значений ФФК приведено на рисунке 6. Основной целью процедуры согласования IFAM является расчет границы неопределенности. В данном методе границы неопределенности находят, как ближайшую границу исходных интервалов ФФК к полученному результату согласования (x_r).

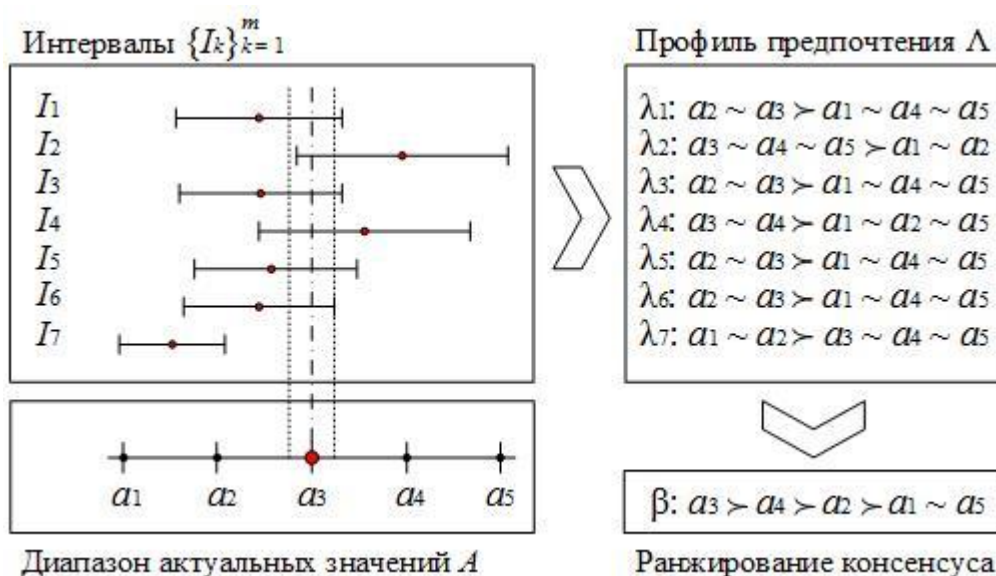


Рисунок 6 – Процедура согласования на основе комплексирования интервальных данных

2.2 Расчет неопределенности

Как было изложено ранее, для комплексирования интервальных данных на основе метода IF&PA границы неопределенности находят, как ближайшую границу исходных интервалов ФФК к полученному результату согласования (x_r). Получаемое по данному способу значение неопределенности является достаточно оптимистичным вариантом и не всегда корректно, т.к. в конечном итоге границы неопределенности результирующего интервала могут быть намного меньше, чем средняя неопределенность всех исходных значений ФФК.

Также можно воспользоваться вторым способом, при котором границы неопределенности находят, как самую дальнюю границу исходных интервалов ФФК. Тогда границы неопределенности результирующего интервала могут быть намного больше, чем средняя неопределенность всех исходных значений ФФК, что является излишне пессимистичным вариантом. Таким образом, основной целью процедуры согласования IFAM является расчет границы неопределенности.

Так как используемая процедура согласования находит результат согласования путем разбиения всей области исходных данных на $(n - 1)$ интервалов, то данную область можно сравнить со шкалой. Далее подробнее рассмотрим градуировку шкал.

Градуировкой называется процесс нанесения отметок на шкалы средств измерений, а также определение значений измеряемой величины, соответствующих уже нанесенным отметкам для составления градуировочных кривых или таблиц.

Линейные градуированные измерительные приборы включают в себя интервалы градуировки, представляющие известные расстояния. Они используются для прямых измерений определенных расстояний в пределах их диапазона производительности. Чувствительность измерения зависит в первую очередь от наименьшего расстояния между отдельными градациями. Точность измерения зависит от исходной точности градуировки, уровня разрешения градуировочных линий и считывающих элементов, чрезмерной толщины или плохого определения градуировочных линий, конструкции прибора и общего качества изготовления, использованного при его изготовлении. Точность измерений, выполненных с помощью инструментов с линейной градуировкой, также будет зависеть от того, насколько точно фактические расстояния, которые должны быть измерены, связаны с соответствующими градуировками инструментов [19].

Таким образом, инструментальная погрешность прибора обусловлена точностью его градуировки. Допустимая инструментальная погрешность

приводится заводом изготовителем в паспорте к данному прибору. Эти допустимые погрешности регламентируются ГОСТами. Если сведений о допустимой погрешности не имеется (например, у линейки), то в качестве этой погрешности (Δ) принимают половину цены деления (ц.д.). Пример определения инструментальной погрешности приведена на рисунке 7.

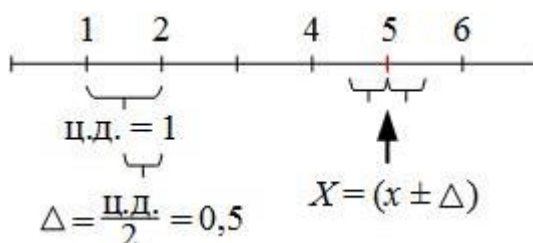


Рисунок 7 – Инструментальная погрешность

Градировка также может быть расположена с нелинейными интервалами, такими как логарифмические, где интервал между ними варьируется [20].

С другой стороны, разбиение ДАЗ может быть рассмотрено как процесс дискретизации. Разбиение ДАЗ, изначально содержащего бесконечное число вещественных значений, на конечное число подынтервалов, представляет собой процесс дискретизации данных, который сопровождается неизбежной потерей информации.

Процесс дискретизации представляет собой преобразование непрерывного сигнала в дискретный сигнал. Типичным примером является преобразование звуковой волны (непрерывного сигнала) в последовательность выборок (сигнал с дискретным временем). Выборка представляет собой значение или набор значений в определенный момент времени и (или) пространстве. Т.е. дискретизация – это подсистема или операция, которая извлекает выборки из непрерывного сигнала. Теоретически идеальная дискретизация производит выборки, эквивалентные мгновенному значению непрерывного сигнала в желаемых точках.

По теореме Котельникова следует, что любой сколь угодно сложный сигнал можно представить его дискретными отсчетами, следующими через интервал Δt , при этом частота следования этих отсчетов (частота

дискретизации) должна быть равна или больше удвоенной полосы частот сигнала. Частота дискретизации должна удовлетворять неравенству $F_D \geq 2 f_m$, а интервал дискретизации – $\Delta t \leq \frac{\pi}{\omega_m} = \frac{\pi}{2\pi f_m} = \frac{1}{2 f_m}$ [21].

Рассмотрим дискретизацию на примере аналого-цифрового преобразователя (АЦП). АЦП – это устройства, предназначенные для преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Для такого преобразования необходимо осуществить квантование аналогового сигнала, т. е. мгновенные значения аналогового сигнала ограничить определенными уровнями, называемыми уровнями квантования. Характеристика идеального квантования имеет вид, приведенный на рисунке 8.

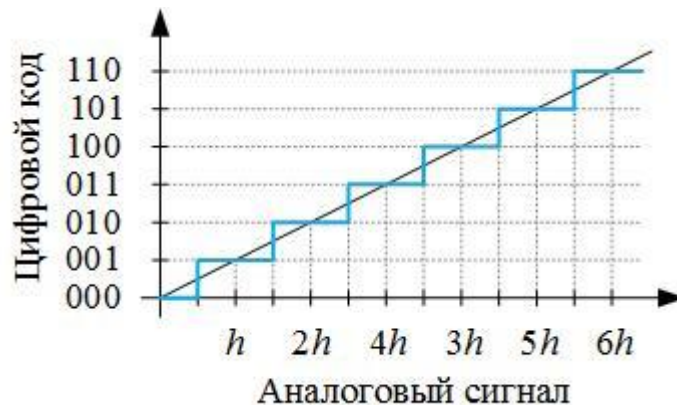


Рисунок 8 – Квантование АЦП

Квантование представляет собой округление аналоговой величины до ближайшего уровня квантования, т. е. максимальная погрешность квантования равна $\pm 0,5 \cdot h$ (h – шаг квантования) [22].

В следствии рассмотренных примеров, пользуясь аналогией, было принято решение присваивать неопределенность, как половина нормы разбиения (h) полученного интервала методом комплексирования IF&PA.

Таким образом 5й этап в пункте 2.1 – определение неопределенности результата комплексирования (Рисунок 9) будет рассчитываться по следующей формуле:

$$u^* = \frac{1}{2} h. \quad (33)$$

А расчет относительной неопределенности по формуле (32) будет иметь следующий вид:

$$u_r = \frac{0,5 \cdot h}{x_r} \quad (34)$$

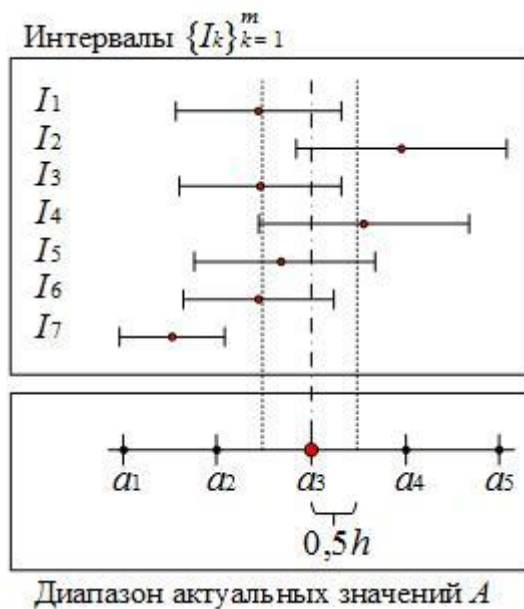


Рисунок 9 – Неопределенность процедуры согласования

3 Программное обеспечение для согласования значений фундаментальных физических констант

Для программной реализации процедуры согласования значений ФФК была выбрана среда разработки LabVIEW, т.к. имеются пользовательские навыки, лицензия и доступность данной платформы в НИ ТПУ. А также данная платформа используется в системах сбора и обработки данных, управления техническими объектами и технологическими процессами, таким образом она идеально подходит для решения поставленной задачи.

3.1 Среда разработки LabVIEW

LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**strumentation **E**ngineering **W**orkbench) – это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments. Первая версия LabVIEW была выпущена в 1986 году для Apple Macintosh, в настоящее время существуют версии для UNIX, Linux, Mac OS и пр.

LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами.

Программа, написанная в среде LabVIEW, называется виртуальным прибором и состоит из двух частей:

- блок-диаграммы, описывающей логику работы виртуального прибора;
- лицевой панели, описывающей внешний интерфейс виртуального прибора.

Виртуальные приборы могут использоваться в качестве составных частей для построения других виртуальных приборов.

Блок-диаграмма содержит функциональные узлы, являющиеся источниками, приемниками и средствами обработки данных. Также компонентами блок-диаграммы являются терминалы и управляющие структуры, которые объединены в единую схему линиями связей.

Лицевая панель виртуального прибора содержит средства ввода-вывода: кнопки, переключатели, светодиоды, верньеры, шкалы, информационные табло и т.п. Они применяются пользователем для управления виртуальным прибором, а также другими виртуальными приборами для обмена данными [23].

3.2 Назначение и функции программы Adjustment

Для исследования свойств алгоритмов согласования значений ФФК, на основе рассмотренных в разделе 1 методов согласования, была разработана программа Adjustment в графической среде разработки NI LabVIEW [24]. Данная программа выполняет следующие функции:

- генерация случайных интервальных данных по нормальному закону распределения;
- согласование интервалов в соответствии с процедурами на основе методов BR, REM и IFAM;
- визуализация результатов в графическом и числовом виде.

Генерация случайных интервальных данных осуществляется с использованием блока «Normal Random», который производит случайные значения, приближенные к значениям констант. Для экспериментальных исследований ФФК была выбрана гравитационная постоянная.

В 2014 году значение гравитационной постоянной, рекомендованное CODATA [7], стало равным: $G = 6,67408(31) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ неопределенностью $-u_r = 4,7 \cdot 10^{-5}$ [25].

В результате работы программы Adjustment для каждой процедуры согласования на основе методов BR, REM и IFAM находится результирующий интервал $I_r = [x_r \pm u_r]$, где средняя точка x_r – результат комплексирования, а u_r – соответствующая неопределенность результата.

3.3 Интерфейс пользователя

Лицевая панель программы Adjustment показана на рисунке 10.

Перед началом работы на лицевой панели программы пользователю необходимо указать количество интервалов и номинальное значение константы, которое используется в качестве математического ожидания.

Далее пользователь запускает программу с помощью нажатия кнопки «Run». На лицевой панели отображаются сгенерированные исходные данные (результаты измерений с неопределенностями) в графическом и числовом виде, а также график плотности распределения. Программа завершает работу после согласования значений ФФК. После завершения работы пользователь может сохранить данные, нажав кнопку «Сохранить». Данные сохраняются в формате документа MS Excel (*.xls), со следующими значениями:

- результат согласования;
- неопределенность результата согласования;
- отклонение результата от номинального значения.

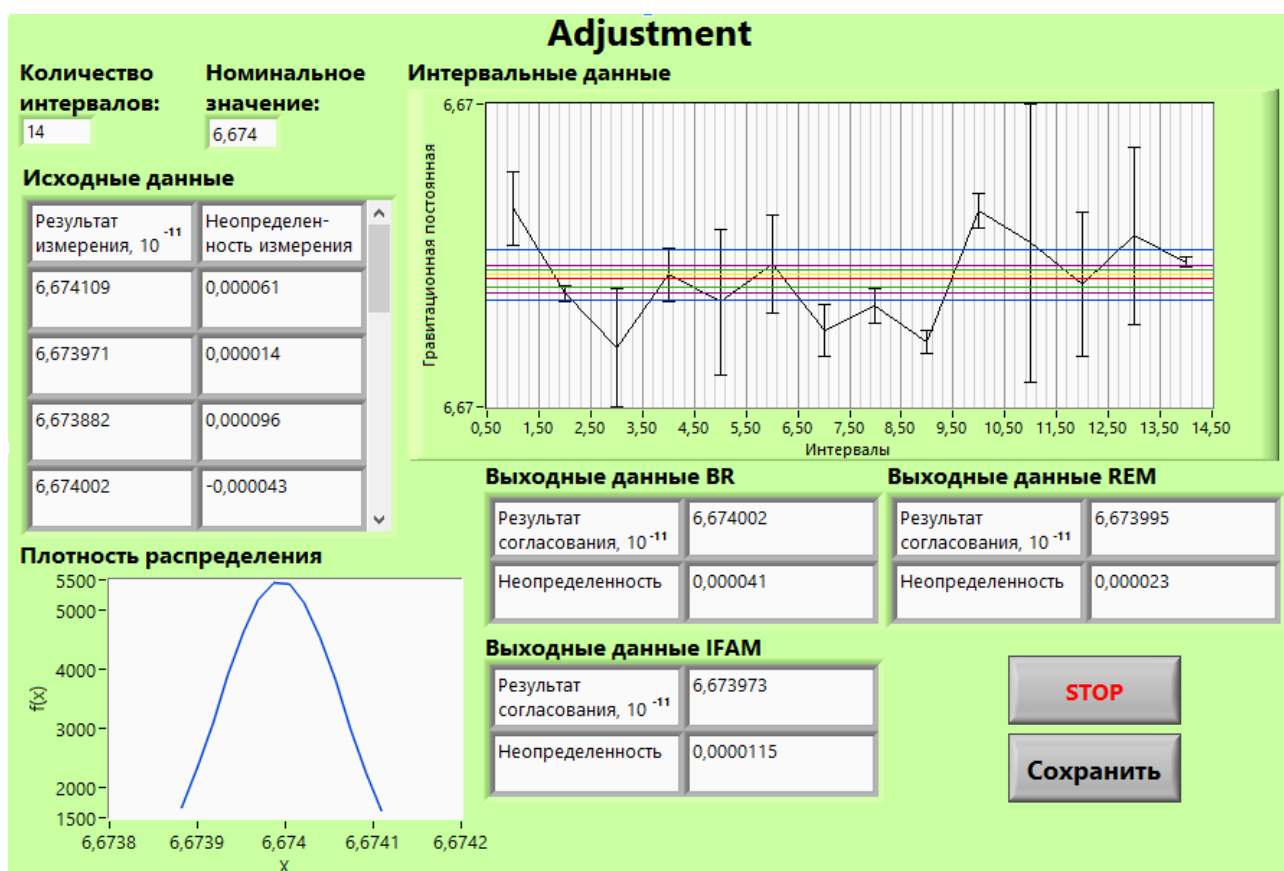


Рисунок 10 – Лицевая панель программы Adjustment

3.4 Реализация моделей согласования

Для реализации программы Adjustment сначала были разработаны алгоритмы согласования на основе ранее рассмотренных методов. Формальная запись алгоритма нахождения значения ФФК для модели масштаба-местоположения на основе метода Бирджа представлена ниже.

Алгоритм 1 Согласование на основе BR

Вход:

m : количество интервалов;
 x : номинальное значение исследуемой константы.

Пусть:

x_k : среднее значение k -го интервала;
 u_k : неопределенность k -го интервала;
 k : номер интервала;
 x_r : результат согласования;
 u_r : неопределенность результата согласования;
 $\hat{\mu}_{wm}$: средневзвешенное значение;
 u_B : коэффициент Бирджа.
[процедура согласования]

1: **for** k **to** x_k **do**

$$2: \quad \hat{\mu}_{wm} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{u_k^2}} \cdot \sum_{k=1}^n \frac{x_k}{u_k^2};$$

3: **for** i **to** u_i **do**

$$4: \quad u_B = \sqrt{\frac{\chi_{obs}^2}{n-1}} \cdot u;$$

5: **end**

6: $x_r \leftarrow \hat{\mu}_{wm}$;

7: $u_r \leftarrow u_B$.

Выход:

x_r : результат согласования;
 u_r : неопределенность результата согласования.

Количество интервалов m , а также номинальное значение исследуемой константы x , которые являются входным параметрами для алгоритма, задаются пользователем.

Далее по методу основанном на модели BR необходимо найти *согласованные* интервалы (шаги 1-7). На выходе работы алгоритма определяется результат согласования x_r и значение неопределенности u_r .

По данному алгоритму был создан программный модуль модели BR для программы Adjustment. Входным данным модуля является – количество интервалов m . Выходными данными являются:

- результирующее среднее значение x_r ;
- неопределенность u_r .

На рисунке 11 представлена блок-диаграмма модуля BR для реализации алгоритма согласования на основе BR.

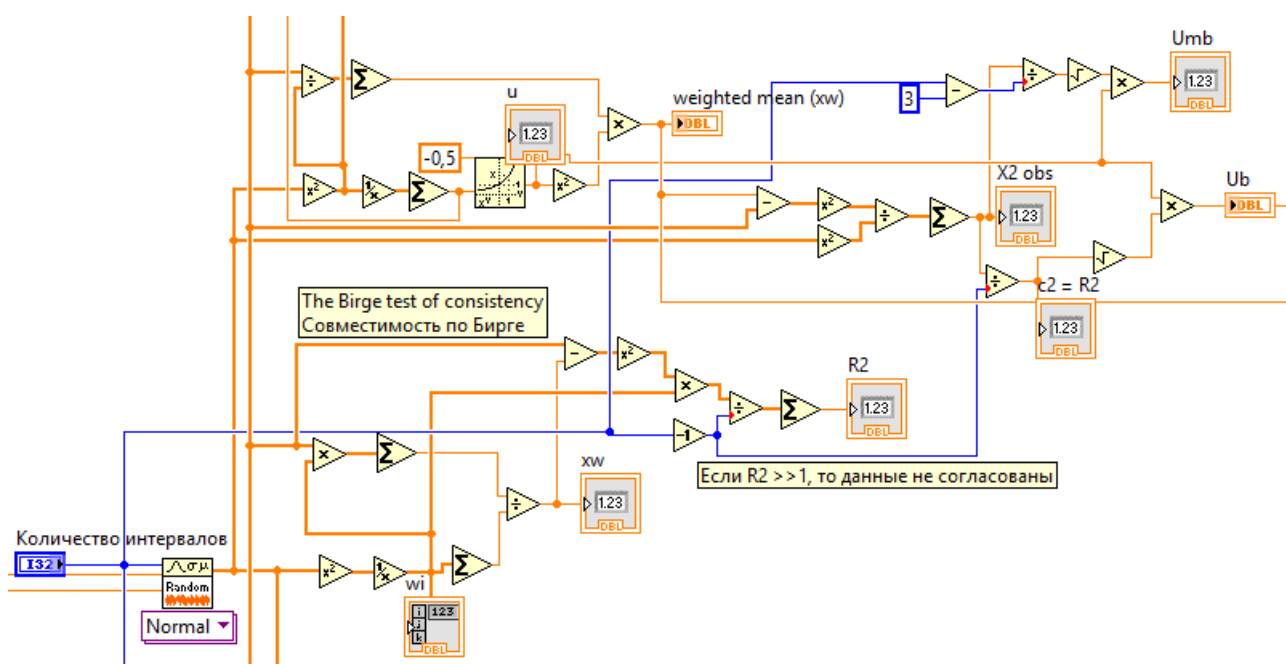


Рисунок 11 – Блок-диаграмма для модели BR

Далее приведен алгоритм нахождения значения ФФК для модели со случайными эффектами.

Входные параметры алгоритма аналогичны BR и также задаются пользователем. Далее для реализации согласования на основе REM (шаги 1-5) необходимо рассчитать результат согласования (x_r) и неопределенность результата согласования (u_r) по указанным формулам. Результатом работы алгоритма становятся аналогичные данные алгоритма BR.

По данному алгоритму 2 был также создан программный модуль модели REM, с входными и выходными данными аналогичными модулю модели BR.

Алгоритм 2 Согласование на основе REM

Вход:

m : количество интервалов;
 x : номинальное значение исследуемой константы;
 μ : измеряемая величина.

Пусть:

x_k : среднее значение k -го интервала;
 u_k : неопределенность k -го интервала;
 k : номер интервала;
 x_r : результат согласования;
 u_r : неопределенность результата согласования.
[процедура согласования]

1: **for** k **to** x_k **do**

2: $x_k = \mu + \lambda_k + e_k$

3: **for** i **to** μ **do**

4: $\hat{\mu} = u_R^2 \sum_{k=1}^n \left(x_k / (u_k^2 + \sigma_\lambda^2) \right)$;

5: and $u_r^2 = \left(\sum_{k=1}^n \left(1 / (u_k^2 + \sigma_\lambda^2) \right) \right)^{-1}$;

6: **end**

Выход:

x_r : результат согласования;
 u_r : неопределенность результата согласования.

Блок-диаграмма для модуля модели REM приведена на рисунке 12.

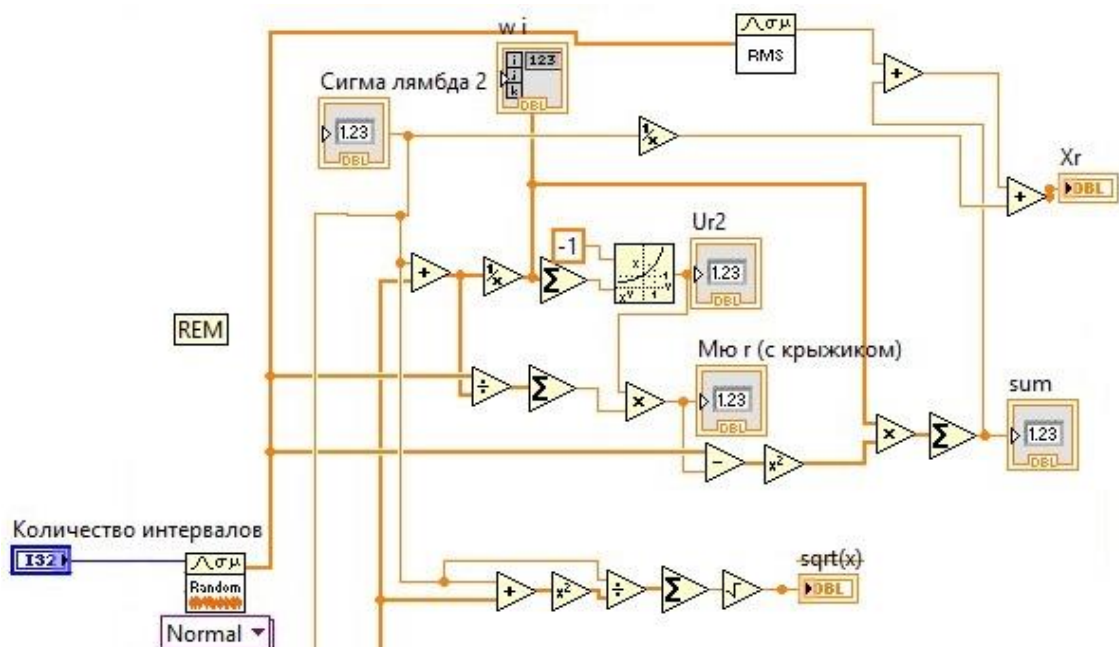


Рисунок 12 – Блок-диаграмма для модели REM

Программная реализация процедуры согласования значений ФФК выполнялась на основе алгоритма комплексирования интервалов на основе

агрегирования предпочтений по правилу Кемени (IF&PA), разработанному в исследовательской группе под руководством профессора С.В. Муравьева [26, 27].

Также был составлен алгоритм 3 для модификации метода комплексирования интервальных данных на основе IF&PA. Алгоритм самого метода IF&PA рассмотрен в [28].

Алгоритм 3 Расчет неопределенности процедуры согласования IFAM

Вход:

h : норма разбиения.

Пусть:

x_r : результат согласования;

u^* : неопределенность комплексирования;

u_r : неопределенность результата согласования.

[процедура согласования]

1: **do**

$$2: \quad u_r = \frac{u^*}{x_r}$$

then

$$3: \quad u_r = \frac{0,5 \cdot h}{x_r}$$

4: **end**

Выход:

x_r : результат согласования;

u_r : неопределенность результата согласования.

3.5 Экспериментальные исследования процедур согласования

Экспериментальные исследования были реализованы с помощью разработанной программы Adjustment, в котором рассмотренные процедуры согласование интервалов в соответствии с методами на основе BR, REM и IFAM реализуются на основании одинаковых исходных данных:

- Моделирование (генерация случайных данных);
- Реальные данные CODATA.

В таблице 2 приведены смоделированные данные с помощью функционального блока «Continuous Random VI» для гравитационной постоянной.

Таблица 2 – Исходные данные

№	Значение G , $10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	Относительная неопределенность, u_k
1	6,674109	$6,1 \cdot 10^{-5}$
2	6,673971	$1,4 \cdot 10^{-5}$
3	6,673882	$9,6 \cdot 10^{-5}$
4	6,674002	$4,3 \cdot 10^{-5}$
5	6,673957	$1,18 \cdot 10^{-4}$
6	6,674018	$0,8 \cdot 10^{-4}$
7	6,673912	$4,2 \cdot 10^{-5}$
8	6,673951	$2,8 \cdot 10^{-5}$
9	6,673893	$1,9 \cdot 10^{-5}$
10	6,674105	$2,8 \cdot 10^{-5}$
11	6,674053	$2,26 \cdot 10^{-4}$
12	6,673986	$1,17 \cdot 10^{-4}$
13	6,674065	$1,44 \cdot 10^{-4}$
14	6,674022	$0,8 \cdot 10^{-5}$

В ходе эксперимента были получены результаты процедуры согласования, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты эксперимента

Процедура согласования	Результат согласования, $x_r \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	Неопределенность согласования, u_r
BR	6,674002	$4,1 \cdot 10^{-5}$
REM	6,673995	$2,3 \cdot 10^{-5}$
IFAM	6,674053	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Для сравнения рассмотренных процедур согласования, полученные результаты были объединены в одном графике, представленном на рисунке 13.

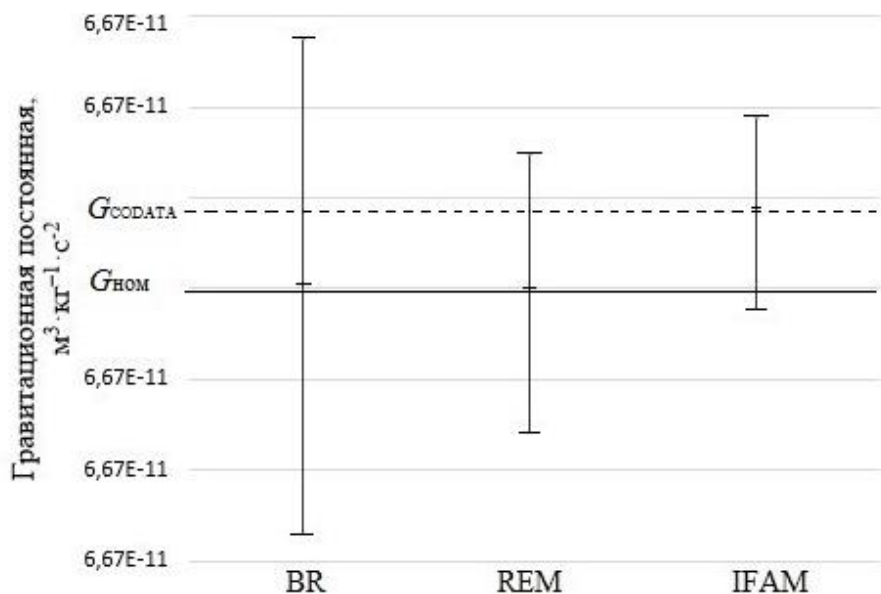


Рисунок 13 – Сравнение процедур согласования

Полученные результаты будем сравнивать с номинальным значением: $G_{\text{ном}} = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ и $G_{\text{CODATA}} = 6,67408(31) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$. Из данных таблицы 3 видно, что процедура согласования IFAM показала наименьшую неопределенность результата по сравнению с процедурами согласования BR, REM. Но результирующее значение x_r процедуры согласования IFAM находится дальше всех от номинального значения и максимально приближена к рекомендованному значению CODATA по сравнению с другими процедурами согласования.

Далее проведем эксперимент с реальными данными гравитационной постоянной, которые были опубликованы CODATA в 2014 (Таблица 4).

Таблица 4 – Исходные данные

№	Значение G , $10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	Относительная неопределенность, u_r
1	6,67248(43)	$6,4 \cdot 10^{-5}$
2	6,6729(5)	$7,5 \cdot 10^{-5}$
3	6,67398(70)	$1,0 \cdot 10^{-4}$
4	6,674255(92)	$1,4 \cdot 10^{-5}$
5	6,67559(27)	$4,0 \cdot 10^{-5}$
6	6,67422(98)	$1,5 \cdot 10^{-4}$
7	6,67387(27)	$4,0 \cdot 10^{-5}$
8	6,67222(87)	$1,3 \cdot 10^{-4}$
9	6,67425(12)	$1,9 \cdot 10^{-5}$
10	6,67349(18)	$2,7 \cdot 10^{-5}$
11	6,67234(14)	$2,1 \cdot 10^{-5}$
12	6,67554(16)	$2,4 \cdot 10^{-5}$
13	6,67191(99)	$1,5 \cdot 10^{-4}$
14	6,67435(13)	$1,9 \cdot 10^{-5}$

Результаты процедуры согласования для реальных данных из CODATA приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты эксперимента

Процедура согласования	Результат согласования, $x_r \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$	Неопределенность согласования, u_r
BR	6,67403	$3,39 \cdot 10^{-4}$
REM	6,67367	$3,0 \cdot 10^{-5}$
IFAM	6,67338	$2,47 \cdot 10^{-5}$

Полученные результаты будем сравнивать также с согласованным значением гравитационной постоянной, рекомендованное CODATA: $G = 6,67408(31) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$; $u_r = 4,7 \cdot 10^{-5}$. Из данных таблицы 5 видно, что процедура согласования IFAM показала наименьшую неопределенность результата исследования, не только среди сравниваемых процедур согласования, но и оказалась меньше неопределенности рекомендованного значения от CODATA. По полученным результатам согласования, можно сделать вывод о корректности полученных результирующих интервалов на основании рекомендованного значения CODATA. Результирующее значение x_r процедуры IFAM находится ближе всех к рекомендованному значению и входит в интервал согласования от CODATA.

Для сравнения рассмотренных процедур, полученные результаты были объединены в одном графике, представленном на рисунке 14.

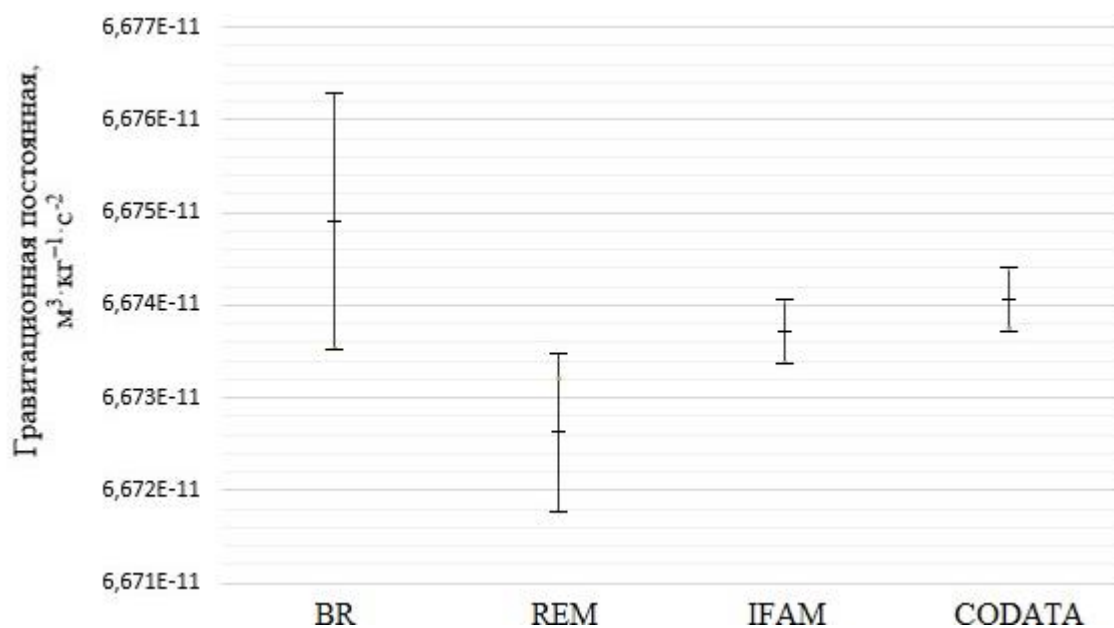


Рисунок 14 – Сравнение процедур согласования

Таким образом, можно сделать вывод, что процедура согласования IFAM позволяет определить значение ФФК, которое характеризуется наименьшей неопределенностью, и может быть рекомендован к использованию для согласования значений фундаментальных физических констант.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

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

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для того, чтобы определить потенциальный потребителей научной разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка моделей согласования фундаментальных физических констант представлена на рисунке 15.

		Модель согласования фундаментальных физических констант		
		BR	REM	IFAM
Отрасль	Научные лаборатории			
	Научные центры и предприятия			
	Центры стандартизации метрологии			

Рисунок 15 – Карта сегментирования рынка

По итогам сегментирования определены основные сегменты данного рынка. Как видно из рисунка, процедура согласования IFAM не выявляет высокой конкуренции. Внедрение данной модели на рынок возможно путем публикаций научных статей в журналах.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений необходимо проводить для того, чтобы оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов, и внести коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять конкурентам. Данный анализ проводится с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице Б.1.

Таким образом, конкурентоспособность модели согласования Бирджа составила 4,65, в то время как для двух других аналогов – 4,23 и 4,08 соответственно. Уязвимость позиции конкурентов заключается в том, что их разработки относительно не надежны, имеют небольшую функциональную мощность, а также они имеют невысокую конкурентоспособность.

4.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта, данный вид анализа позволяет определить сильные и слабые стороны проекта, выявить возможностей и угрозы для его реализации, которые проявились или могут появиться в его внешней и внутренней среде.

После того как сформулированы четыре области SWOT, представленные в таблице 6, переходят к выявлению соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого были построены интерактивные матрицы, приведенные в приложении В.

После проведения анализа приведенных в приложении В таблиц, была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в приложении Г

(таблица Г.1), которая помогает скорректировать направление реализации проекта.

Таблица 6 – Матрица SWOT

	Сильные стороны: С1. Заявленная точность и энергоэффективность метода. С2. Экологичность технологии. С3. Уникальность метода.	Слабые стороны: Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытаний. Сл2. Высокая степень износа оборудования. Сл.3. Большой объем исходной информации.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на продукт В3. Низкая активность конкурентов		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Несвоевременное финансовое обеспечение НТИ со стороны государства.		

4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Чтобы провести систематическое исследование всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования был применен морфологический подход, результат которого приведен таблице 7.

Таблица 7 – Морфологическая матрица

	1	2	3
А. Способ представления информации	Графики	Текст	Таблицы
Б. Содержание метода	Рассмотрение других методов	Анализ существующих методов	Анализ существующих средств
В. Критерии анализа метода	Робастность	Вычислительная сложность	Точность
Г. Форматы сохранения информации	.xls / .xlsx	.txt	.doc / .docx
Д. Среда разработки	LabVIEW	C++	PHP

Для данной матрицы наиболее желательным вариантом решения оказался вариант 1.

4.5 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научного исследования была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель (НР) и непосредственно студент (С), а также был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения исследования. Данный перечень представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Утверждение темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	НР
	2	Анализ актуальности и новизны темы проекта	
Выбор направления исследования	3	Изучение теоретического материала	С
	4	Определение направления исследований	НР, С
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Обзор литературы по теме	С
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Анализ используемых средств и методов	
	9	Систематизация и оформление информации	
Проектирование	10	Проектирование методов согласования фундаментальных физических констант	НР, С
	11	Разработка пользовательского интерфейса	С
Реализация	12	Реализация методов согласования фундаментальных физических констант	
Анализ результатов	13	Обработка результатов	НР, С
	14	Заключение	НР, С

4.6 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого значения трудоемкости ($t_{ож\ i}$) используется следующая формула:

$$t_{\text{ож } i} = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5}, \quad (35)$$

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

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

Для определения продолжительности работы (T_{p_i}) в рабочих днях была использована формула, приведенная ниже.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож } i}}{Ч_i}, \quad (36)$$

где $t_{\text{ож } i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

4.7 Разработка графика проведения научного исследования

Рассчитанные временные показатели проведения разработки приведены в приложении Д. На основании таблицы Д.1 был построен календарный план-график, приведенный в приложении Е (таблица Е.1).

4.8 Определение бюджета научно-технического исследования

Планируя бюджет научно-технического исследования (НТИ), необходимо обеспечить достоверное и полное отражение всех видов расходов, которые связаны с его выполнением.

4.8.1 Расчет материальных затрат

В рамках выполнения ВКР были предусмотрены затраты не только на канцелярские принадлежности, но и на приобретение лицензии на среду разработки в LabVIEW. В ходе выполнения работы была приобретена пачка бумаги формата А4 и заправлен картридж для принтера, лицензия на LabVIEW приобретена отделением автоматизации и робототехники.

Расчет материальных затрат, представленный в таблице 9, осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{рас xi} , \quad (37)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{рас xi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемого ресурса;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы $З_m$, руб.
Заправка картриджа	шт.	1	300	300
Пачка бумаги формата А4	шт.	1	260	260
Лицензия на среду разработки	шт.	1	120000	120000
Итого			120560	120560

Необходимо учитывать, что разработка проекта ведется с использованием средств целевой организации, и указанные в таблице 5 лицензии используются для многих реализуемых в организации проектов.

4.8.2 Расчет основной заработной платы исполнителей темы

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

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп} , \quad (38)$$

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

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

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

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (39)$$

где $З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (40)$$

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

M – количество месяцев работы исполнителя без отпуска за период года;

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

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 10.

Таблица 10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	НР	С
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	117	117
Потери рабочего времени:		
– отпуск;	48	48
– невыходы по болезни.	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	201	201

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_p, \quad (41)$$

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

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

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

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

В свою очередь тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{tc} = T_{ci} \cdot k_T, \quad (42)$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника первого разряда, равная 600 руб.;

k_T – тарифный коэффициент, учитываемый по единой тарифной сетке для бюджетных организаций.

По результатам расчетов была заполнена таблица 11.

Таблица 11 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	k_T	Z_{tc} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
НР	2,047	1228,20	0,3	0,2	1,3	2394,99	123,92	7	867,44
С	1,407	844,20	0,3	0,2	1,3	1646,19	85,18	69	5877,42
Итого									6744,86

4.8.3 Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы

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

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (43)$$

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

В результате получили следующие значения:

- $Z_{доп(НР)} = 130,12$ руб.;
- $Z_{доп(С)} = 881,61$ руб.

4.8.4 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Данная статья расходов отражает обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам.

Величина отчислений во внебюджетные фонды, представленная в таблице 12, определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (44)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент уплаты во внебюджетные фонды.

Таблица 12 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$k_{внеб}$	З _{осн} , руб.	З _{доп} , руб.	З _{внеб} , руб.
НР	0,271	867,44	130,12	270,34
С	0,271	5877,42	881,61	1831,70
Итого		6744,86	1011,73	2102,04

4.8.5 Расчет накладных расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot k_{нр}, \quad (45)$$

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

Были получены следующие значения:

- $З_{накл(НР)} = 202,86$ руб.;
- $З_{накл(С)} = 1374,52$ руб.

4.8.6 Формирование бюджета затрат научно-технического исследования

Полученная в результате величина затрат на научно-исследовательскую работу является базой для формирования бюджета затрат на проект. Определение бюджета затрат на НТИ представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Номер пункта
	НР	С	
Материальные затраты НТИ	–	120560	3.4.1
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	867,44	5877,42	3.4.2
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	130,12	881,61	3.4.3
Отчисления во внебюджетные фонды	270,34	1831,70	3.4.4
Накладные расходы	202,86	1374,52	3.4.5
Бюджет затрат НТИ	1470,76	130525,25	с 3.4.1 по 3.4.5

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

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель можно определить по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (46)$$

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

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

Интегральные показатели для различных исполнений приведены ниже:

- $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = 0,0113$;
- $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = 1$.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования, приведенный в таблице 14, можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (47)$$

где a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – экспериментально установленная балльная оценка варианта разработки.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии / Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Удобство при разработке	0,25	1	5
2. Удобство в эксплуатации	0,23	4	5
3. Удобство в дальнейшей поддержке проекта	0,15	2	4
4. Уменьшение времени разработки	0,15	1	5
5. Производительность	0,12	4	4
6. Использование наработок и компонентов в других проектах	0,1	4	5
Итого	1	2,5	4,73

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что наиболее эффективный вариант решения технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности это первый вариант исполнения разработки. Сравнительная эффективность разработки приведена в таблице 15.

Таблица 15 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,0113	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,5	4,73
3	Интегральный показатель эффективности	221,24	4,73
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,021

5 Профессиональная социальная безопасность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий в которых будет реализовываться разработка, полученная в ходе написания ВКР, а именно, методов согласования фундаментальных физических констант, в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны труда и окружающей среды.

В дальнейшем, разработку, полученную в ходе написания данной ВКР, будет использовать инженер-метролог. Рабочее место представляет собой компьютерный стол с персональным компьютером (ПК). Работа производится сидя, при небольшом физическом напряжении.

Обработка полученной информации от научных лабораторий и её визуализация производится на компьютере, состоящем из системного блока и монитора, поэтому выполняемые работы сводятся к взаимодействию с ПК.

В данном разделе рассматривается комплекс мероприятий, с помощью которых происходит минимизация негативного воздействия факторов, возникающие при работе с ПК. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда сотрудников и улучшить условия работы в аудитории.

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

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовой основой законодательства в области обеспечения безопасности жизнедеятельности, в том числе и в техносфере, является Конституция – основной закон государства. Законы и иные правовые акты, принимаемые в Российской Федерации, не должны ей противоречить.

Другими источниками права в области обеспечения безопасности жизнедеятельности в техносфере являются:

- федеральные законы;
- указы Президента Российской Федерации;
- постановления Правительства Российской Федерации;
- приказы, директивы, инструкции, наставления и другие нормативные акты министерств и ведомств;
- правовые акты субъектов Российской Федерации и муниципальных образований (указы, постановления):
- приказы (распоряжения) руководителя.

5.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Государственный надзор и контроль в организациях осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Законодательством РФ регулируются 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 беременной женщины; 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.

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 ТК РФ ст. 137. В случае задержки заработной платы более чем на 15 дней работник имеет право приостановить работу, письменно уведомив работодателя.

Законодательством РФ запрещены дискриминация по любым признакам, а также принудительный труд [29].

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В производственных условиях рабочее место представляет собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Рабочее место пользователя с персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ) следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20°. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм. Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии (100 – 300) мм от края, обращенного к пользователю или

на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток [30].

Выполняя планировку рабочего места необходимо учитывать следующее:

а) Рекомендуемый проход слева, справа и спереди от стола 500 мм. Слева от стола допускается проход 300 мм;

б) Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой (1,5 – 2,0) м. Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии (600 – 700) мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов. Конструкция рабочего стола должна удовлетворять требованиям эргономики;

в) Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего кресла следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ;

г) Кресло не может располагаться непосредственно на границе площади рабочего места. Рекомендуемое расстояние от спинки стула до границы должно быть не менее 300 мм [31].

5.2 Профессиональная социальная безопасность

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [32]. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	– Трудовой кодекс РФ; – СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – СанПиН 2.2.4548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; – СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение; – ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования; – ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования; – НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
2. Превышение уровня шума		+	+	
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
4. Превышение уровня электромагнитных излучений		+	+	

5.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов,

оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. К параметрам микроклимата относятся: температура воздуха, температура поверхностей, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха.

Оптимальные значения этих характеристик зависят от сезона (холодный, тёплый), а также от категории физической тяжести работы. Для инженера-метролога она является лёгкой (1а), так как работа проводится сидя, без систематических физических нагрузок. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в соответствии с периодом года и категорией работ, согласно [33], предоставлены в таблице 17, а допустимые величины показателей приведены в таблице 18, нормам которого соответствует аудитория 208б корпуса № 10 НИ ТПУ.

Таблица 17 – Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	(23 – 25)	(21 – 25)	(40 – 60)	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	(20 – 22)	(22 – 26)	(40 – 60)	0,1

Для создания благоприятных условий труда и повышения производительности, необходимо поддерживать оптимальные параметры микроклимата производственных помещений. Для этого должны быть предусмотрены следующие средства: центральное отопление, вентиляция (искусственная и естественная), искусственное кондиционирование.

Таблица 18 – Допустимые параметры микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Категория Ia (до 139)	(20 – 21,9)	(19 – 26)	(15 – 75)	0,1
Теплый	Категория Ia (до 139)	(21 – 22,9)	(20 – 29)	(15 – 75)	0,1

5.2.2 Превышение уровня шума

Одной из важных характеристик производственных помещений является уровень шума. Основными источниками шума в помещении являются:

- система охлаждения центральных процессоров;
- жесткие диски;
- шум с улицы.

При выполнении основной работы на ПЭВМ уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА. Допустимые уровни звукового давления в помещениях для персонала, осуществляющего эксплуатацию ЭВМ при разных значениях частот, приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Допустимые уровни звука на рабочем месте

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентного звука (в дБА)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Конструкторские бюро, программисты, лаборатории	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для снижения уровня шума, производимого ПК рекомендуется регулярно проводить их техническое обслуживание: чистка от пыли, замена смазывающих веществ; также применяются звукопоглощающие материалы. Для снижения уровня шума с улицы рекомендуется установка герметичных стеклопакетов, а также посадка зеленых насаждений на прилегающей

территории. На территории имеются посадки зеленых насаждений, в помещении установлены стеклопакеты и разработка проводилась на персональном компьютере, прошедшем техническое обслуживание, таким образом, помещение соответствует нормам.

5.2.3 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Около 80 % общего объема информации человек получает через зрительный канал. Качество поступающей информации во многом зависит от освещения, неудовлетворительное качество которого вызывает утомление организма в целом. При неудовлетворительном освещении снижается производительность труда и увеличивается количество допускаемых метрологом ошибок.

Рациональное освещение помещения и рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условий труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. Нерациональное освещение может вызвать утомление организма, зрения, а также травматизм на рабочем месте. В учебной аудитории применяется совместное освещение. Основным источник освещения – шесть потолочных светильников с зеркальными решетками, в каждом по четыре люминесцентные лампы типа TL-D с мощностью 60 Вт. Светильники имеют квадратную форму со стороной 0,54 м и создают равномерное освещение всей аудитории. Схема расположения светильников представлена на рисунке 16. В соответствии с [34] работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 % относится к разряду II, подразряду Б.

В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения E_n должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности K_n не должен превышать 5 %,

коэффициент естественной освещенности не должен превышать 2,1 % в соответствии с [35] и [36].

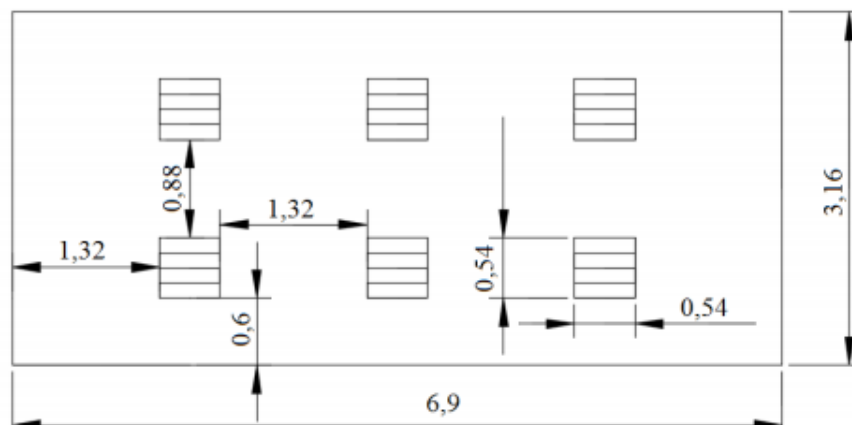


Рисунок 16 – Схема расположения светильников в аудитории

Расчет искусственного освещения для учебной аудитории:

- размеры помещения: $A = 3,16$ м; $B = 6,9$ м; $H = 2,9$ м; $S = 21,9$ м²;
- количество рядов светильников $N = 2$;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м;
- коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 50$ %;
- коэффициент отражения потолка $\rho_{п} = 70$ %;
- коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_3 = 1,5$;
- коэффициент неравномерности освещения $Z = 1,1$;
- параметр для светильника типа ОДР с защитной решеткой $\lambda = 1,1-1,3$;
- световой поток одной лампы $\Phi_1 = 2500$ лм.

Рассчитали индекс помещения i по формуле:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)}. \quad (48)$$

Получили в результате значение $i = 0,75$. Исходя из значения индекса помещения определили коэффициент использования светового потока $\eta = 38$ %. Требуемый световой поток нашли по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z \cdot 100 \%}{N \cdot \eta} \quad (49)$$

В результате получили значение $\Phi = 12967,11$ лм. В каждом светильнике 4 лампы со световым потоком 2500 лм. Таким образом, необходимое число светильников в ряду должно быть равно одному. Рассчитали фактическое освещение в помещении. Получили значение светового потока $\Phi = 30000$ лм для одного ряда светильников, т.е. для трех светильников с четырьмя лампами. На основании полученного значения рассчитали фактическое значение освещения в помещении по формуле:

$$E_{\text{факт}} = \frac{\Phi \cdot N \cdot \eta}{S \cdot K_z \cdot Z \cdot 100 \%} \quad (50)$$

В результате получили значение $E_{\text{факт}} = 630,97$ лк. На основании проделанных расчетов можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет нормам освещения, а число светильников даже избыточно, и их одновременная работа необязательна.

5.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений

При работе с ПК пользователь находится в непосредственной близости к монитору, что вызывает воздействие электромагнитных полей (ЭМП). Вредное влияние переменных магнитных полей должно быть учтено при организации рабочего места с ПЭВМ.

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

В диапазонах промышленной частоты, радиочастот, инфракрасного и частично ультрафиолетового света электромагнитные поля оказывают тепловое воздействие.

Если механизм терморегуляции тела не способен рассеять это избыточное тепло, возможно повышение температуры тела. Некоторые органы

и ткани человека, обладающие слабо выраженной терморегуляцией, более чувствительны к облучению (мозг, глаза, почки, кишечник).

Влияние электромагнитных излучений заключается не только в их тепловом воздействии. Микропроцессы, протекающие в организме под действием излучений, заключаются в поляризации макромолекул тканей и ориентации их параллельно электрическим силовым линиям, что может приводить к изменению свойств молекул; особенно для человеческого организма важна поляризация молекул воды [37].

Когда на человека воздействуют поля, напряженность которых выше допустимой нормы, то возникают нарушения нервной, сердечно-сосудистой системы и некоторых биологических показателей крови.

Работа проводилась на современном ПК, где значения электромагнитного излучения малы и отвечают требованиям, которые приведены в таблице 20, согласно [38].

Таблица 20 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах.

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 кГц до 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз.

5.3 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.

5.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

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

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

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. люминесцентные лампы), неисправное электрооборудование, коробки от техники, использованная бумага. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

5.3.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды

Утилизация отходов полимеров осуществляют в низших спиртах-растворителях, находящихся в сверхкритическом состоянии, в реакторах закрытого типа, при температуре и давлении, превышающих критические значения для исходной реакционной смеси. В качестве низшего спирта

используют метиловый спирт, этиловый спирт, пропиловый спирт, изопропиловый спирт. Процесс осуществляют в области давления (100 – 270) атм и при (200 – 260) °С в реакторе-автоклаве с перемешиванием. Способ позволяет провести деполимеризацию и превращение полимерных материалов в гомогенные жидкие соединения с высокой степенью конверсии за малые времена контакта.

Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке. Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета и предусматривает следующие пункты:

- 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;

- 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.

Люминесцентные лампы относятся к категории токсичных отходов, и их утилизацией должны заниматься специализированные организации, с которыми университету необходимо заключить договор на обслуживание. Хранить отработавшие свой срок лампы следует в специально предназначенных для этого контейнерах, и не реже, чем раз в полгода, отправлять на их переработку. В городе Томск утилизацией люминесцентных ламп занимаются НПП «Экотом» и ОАО «Полигон».

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Прежде всего, рассматриваются вероятные источники ЧС, которые могут возникнуть в результате реализации разработанных в ВКР проектных

решений. Далее необходимо разработать превентивные меры по предупреждению возникновения ЧС.

5.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований

Наиболее характерной ЧС для данного производственного помещения является пожар. Основы пожарной безопасности определены по [39] и [40]. Пожарная опасность ПЭВМ, обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючими являются изоляция обмоток соединительных проводов и кабелей.

Согласно определению категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности [41] производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещение, используемое для реализации практической части ВКР, по пожарной и взрывной опасности относят к категории Г (умеренная пожароопасность), характеризующейся отсутствием легковоспламеняющихся веществ и материалов в горячем состоянии.

При строительстве зданий и сооружений с учётом категории производства применяют строительные материалы и конструкции, которые подразделяются на три группы:

- сгораемые;
- трудносгораемые;
- несгораемые.

Здание, в котором находится помещение относится к несгораемым.

Тушение горящего электрооборудования под напряжением должно осуществляться имеющимися огнетушителями ОУ-5. Чтобы предотвратить пожар необходимо соблюдение организационных мероприятий:

- правильная эксплуатация приборов, установок;
- правильное содержание помещения;

- противопожарный инструктаж сотрудников аудитории;
- издание приказов по вопросам усиления ПБ;
- организация добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий;
- наличие наглядных пособий и т.п.

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

Во избежание возникновения пожара необходимо выполнение следующих требований:

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

Аудитория, в которой проводилось исследование, находится в учебном корпусе 10. Данное здание соответствует всем требованиям пожарной безопасности: имеется система охранно-пожарной сигнализации, порошковые огнетушители, планы эвакуации и таблички с направлениями к запасному выходу.

В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь планом пожарной эвакуации. На рисунке 17 представлен план эвакуации при возникновении пожара и других ЧС.



Рисунок 17 – План эвакуации (второй этаж)

Выводы по разделу

Таким образом, был проведен комплекс мероприятий по минимизации негативного воздействия факторов, возникающих при работе с компьютером. Благодаря проведению данных мероприятий можно повысить производительность труда сотрудников, которые занимаются проведением исследований методов согласования значений ФФК.

Так как разработка программы для согласования значений ФФК проводилась на ПК, то были проанализированы факторы на предмет выявления основных техносферных опасностей и вредностей, оценена степень воздействия их на человека, общество и природную среду, предложены методы минимизации их воздействий и защиты от них.

По проанализированным факторам можно сделать вывод, что данная аудитория соответствует всем нормам.

Заключение

Для решения проблемы процедуры согласования значений фундаментальных физических констант, были исследованы модель масштаба-местоположения на основе метода Бирджа, модель со случайными эффектами и метод комплексирования интервальных данных на основе агрегирования предпочтений по правилу Кемени.

Модель масштаба-местоположения на основе метода Бирджа и модель со случайными эффектами были реализованы программно, а также была реализована модернизация метода комплексирования интервальных данных IF&PA. Был сформирован набор требований для процедуры согласования значений фундаментальных физических констант (отсутствие необходимости проверки входных данных на согласованность, отсутствие необходимости исключения несогласованных интервалов, отсутствие весовых показателей для интервалов, точность, робастность, применимость для любой ФФК). Для экспериментальных исследований процедур согласования в графической среде LabVIEW была разработана программа Adjustment, позволяющая сравнить данные процедуры согласования.

Результаты показали, что процедура согласования IFAM является наиболее точным (наименьшая неопределенность), при использовании данной процедуры нет необходимости согласовывать входные данные, исключать выбросы, назначать веса, а также ее можно применять для любой физической константы.

Таким образом, по результатам исследования процедура согласования IFAM продемонстрировала работоспособность и позволила получать корректные результаты согласования при несогласованных входных данных. Разработанная процедура является перспективной альтернативой для использования при согласовании значений фундаментальных физических констант.

Список публикаций студента

1 Galsanova L. V. Analysis of interval data fusion methods for sensor accuracy improvement in wireless sensor networks // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 04-07 декабря 2017 г. – Томск: Д-Принт, 2018. – 407 с.

2 Галсанова Л. В. Комплексирование интервальных данных на основе одобрительного голосования в графической среде LabVIEW // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 558 с.

3 Галсанова Л. В. Согласование значений фундаментальных физических констант методом наименьших квадратов // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» (Томск, 3-7 декабря 2018 г.) / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2019. – 514 с.

4 Галсанова Л. В. Согласование значений фундаментальных физических констант методом Бирджа // Научная сессия ТУСУР–2019: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22–24 мая 2019 г. – Томск: В-Спектр, 2019. – 672 с.

Список использованных источников

1. Levy-Leblond J.-M. The importance of being (a) Constant // In Toraldo di Francia, G. (ed.). Problems in the Foundations of Physics, Proceedings of the International School of Physics 'Enrico Fermi' Course LXXII, Varenna, Italy, July 25 – August 6, 1977. – New York: NorthHolland, 1977. – P. 237–263;
2. Фундаментальные физические константы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/physics/text/4725515>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 15.11.2018);
3. Units of measure are getting a fundamental upgrade. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sciencenews.org/article/units-measure-are-getting-fundamental-upgrade>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 15.11.2018);
4. Фундаментальные физические константы и системы единиц физических величин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukarus.com/fundamentalnye-fizicheskie-konstanty-i-sistemy-edinit-fizicheskikh-velichin>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 15.11.2018);
5. Боровков А.А. Математическая статистика: Учебник. – 3-е изд. испр. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2007. – 704 с.;
6. Скотт Хартшорн. Теорема Байеса для начинающих с примерами в Excel. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://baguzin.ru/wp/skott-hartshorn-teorema-bajesa-dlya-nachinayushhih-s-primerami-v-excel/>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 14.11.2018);
7. Bodnar. O., Elster C., Fischer J., Possolo A., Toman B. Evaluation of uncertainty in the adjustment of fundamental constants // Metrologia. – 2016. – V 53. – Issue 1. – P. S46-S54;
8. Berger J. O., Bernardo J. M. Ordered group reference priors with application to the multinomial problem // Biometrika. – 1992. – V 79. – Issue 1. – P. 25-37;

9. Toman B, Fischer J and Elster C Alternative analyses of measurements of the Planck constant // Metrologia. – 2012. – V 49. – P. 567-571;
10. Kacker R N, Forbes A, Kessel R and Sommer K-D Bayesian posterior predictive p -value of statistical consistency in interlaboratory evaluations // Metrologia. – 2008. – V 45. – P. 512-523;
11. Rukhin A. Weighted means statistics in interlaboratory studies // Metrologia. – 2009. – V 46. – P. 323-331;
12. Willink R. Comment on ‘Bayesian estimate of the Newtonian constant of gravitation’ with an alternative analysis // Meas. Sci. Technol. – 2007. – V 18. – P. 2275-2280;
13. Fundamental Physical Constants. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.codata.org/committees-and-groups/fundamental-physical-constants>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 14.11.2018);
14. Каршенбойм С. Г. Фундаментальные физические константы: роль в физике и метрологии и рекомендованные значения // УФН, 175:3. – 2005. – С. 271–298;
15. Галсанова Л.В. Комплексирование интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях: бакалаврская работа / Л.В. Галсанова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК), Кафедра систем управления и мехатроники (СУМ); науч. рук. Л. И. Худоногова. – Томск, 2017. – С. 91;
16. Muravyov S. V. Ordinal measurement, preference aggregation and interlaboratory comparisons // Measurement. – 2013. – N 8. – P. 2927-2935;
17. Muravyov S. V., Marinushkina I. A. Intransitivity in multiple solutions of Kemeny Ranking Problem // Journal of Physics: Conference Series. – 2013. – Article number 012006. – P. 1-6;
18. Muravyov S. V., Khudonogova L. I. Multisensor accuracy enhancement on the base of interval voting in form of preference aggregation in WSN for

ecological monitoring // Proceedings of the ICUMT 2015. – Czech Republic, 2015. – P. 293-297;

19. Line Graduated Measuring Instruments. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://what-when-how.com/metrology/line-graduated-measuring-instruments-metrology/>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 14.11.2018);

20. Погрешности измерений физических величин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://schools.keldysh.ru/sch764/files/pogr.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 14.11.2018);

21. Теория электрических цепей и сигналов: курс лекций / сост. Ю.К. Рыбин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 127 с.;

22. Аналого-цифровые преобразователи (АЦП): назначение, устройство, применение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pue8.ru/silovaya-elektronika/920-analogo-tsifrovye-preobrazovateli-naznachenie-ustrojstvo-primenenie.html>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 14.11.2018);

23. Трэвис Д. LabVIEW для всех. 4-е издание, переработанное и дополненное / Д. Трэвис, Д. Кинг. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 904 с.;

24. Среда разработки приложений LabVIEW. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://russia.ni.com/labview>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 04.04.2017);

25. Mohr P.J., Newell D.B., Taylor B.N. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014 // National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899-8420, USA, 2015. – P. 11;

26. ГОСТ Р 54500.3.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 983:2008/Дополнение 1:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло официальное издание. – М.: Стандартинформ, 2012. – 82 с.;

27. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016663686 (RU); заявка № 2016661662 от 31.10.2016, дата рег. 13.12.2016; Бюл. № 1 от 10.01.2017 // Муравьев С.В., Худоногова Л.И. Повышение точности сенсоров беспроводной сети методом агрегирования предпочтений;

28. Худоногова Л. И. Комплексование интервальных измерительных данных методом агрегирования предпочтений: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 05.11.13 / Л. И. Худоногова ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; науч. рук. С. В. Муравьев. — Томск, 2017;

29. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 11.04.2019);

30. Свод правил: СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту. М.: Минздрав России, 2003. – 52 с.;

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

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

33. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 2001. – 20 с.;

34. Свод правил: СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. – М.: Минстрой России, 2016. – 106 с.;

35. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Минздрав России, 2003. – 27 с.;

36. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. М.: Минздрав России, 2003. – 56 с.;
37. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. М.: Минюст РФ, 2016. – 72 с.;
38. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003. – 36 с.;
39. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 67 с.;
40. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.;
41. Нормы пожарной безопасности: НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2003. – 26 с.

Приложение А
(обязательное)

Раздел 1

Adjusting the values of the fundamental physical constants

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ71	Галсанова Людмила Викторовна		

Консультант ОАР ИШИТР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

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

Introduction

Combining multiple measurement results for the same quantity is an important task in metrology and in many other areas. Examples comprise the determination of fundamental constants from measurements made at National Metrology Institutes (NMIs), or the calculation of a reference value in a key comparison on the basis of the results reported by the participating NMIs. Despite the importance of this problem, the Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) and its supplements do not give corresponding guidance and many different methods are currently applied. Various approaches are applied such as weighted least-squares in conjunction with the Birge ratio or random effects models.

Next, we formulate the problem in a simple form. Given a number of measured values $x_1 \dots x_n$ for the same quantity, along with quoted standard uncertainties $u_1 \dots u_n$ and correlation coefficients ρ_{ij} , the goal is to combine these data into a single estimate, and to characterize the uncertainty associated with that estimate. The quoted uncertainties are the uncertainties that have been assigned to $x_1 \dots x_n$ by the laboratories that have carried out the corresponding experiments, and the correlation coefficients indicate the degree of dependence between the measurement results. It often happens that the data are inconsistent, i.e. differences between the estimates are larger than one would expect in view of the quoted uncertainties. Such inconsistency suggests that there are unidentified sources of uncertainty, and that improvements are needed for the underlying experiments to produce results in closer agreement than have been obtained thus far.

1 Bayesian reference analysis

Bayesian inference is a method of statistical inference in which Bayes' theorem is used to update the probability for a hypothesis as more evidence or information becomes available. Bayesian inference is an important technique in statistics, and especially in mathematical statistics. Bayesian updating is particularly important in the dynamic analysis of a sequence of data.

Bayesian inference derives the posterior probability as a consequence of two antecedents: a prior probability and a «likelihood function» derived from a statistical model for the observed data. Bayesian inference computes the posterior probability according to Bayes' theorem:

$$P(A|B) = \frac{P(A) \cdot P(B|A)}{P(B)}, \quad (\text{A.1})$$

where A – stands for any hypothesis whose probability may be affected by data (called evidence below). Often there are competing hypotheses, and the task is to determine which is the most probable;

$P(A)$, the prior probability, is the estimate of the probability of the hypothesis A before the data B , the current evidence, is observed;

the evidence A corresponds to new data that were not used in computing the prior probability;

$P(A|B)$, the posterior probability, is the probability of A given B , i.e., after B is observed. This is what we want to know: the probability of a hypothesis given the observed evidence;

$P(B|A)$ is the probability of observing B given A , and is called the likelihood. As a function of B with A fixed, it indicates the compatibility of the evidence with the given hypothesis. The likelihood function is a function of the evidence, B , while the posterior probability is a function of the hypothesis, A ;

$P(B)$ is sometimes termed the marginal likelihood or «model evidence». This factor is the same for all possible hypotheses being considered (as is evident from the

fact that the hypothesis A does not appear anywhere in the symbol, unlike for all the other factors), so this factor does not enter into determining the relative probabilities of different hypotheses.

For different values of A , only the factors $P(A)$ and $P(B|A)$, both in the numerator, affect the value of $P(A|B)$ – the posterior probability of a hypothesis is proportional to its prior probability (its inherent likeliness) and the newly acquired likelihood (its compatibility with the new observed evidence).

1.1 Statistical models for Bayesian reference analysis

Different approaches are used in the Bayesian reference. In order to tackle this statistical problem a statistical model is needed, and we will consider two particular models:

- Location-scale model (LSM);
- Random effects model (REM).

These models treat the observed data $x = (x_1 \dots x_n)^T$ as a realization of the random variables $X = (X_1 \dots X_n)^T$. Both models assume that the random variables X follow a multivariate normal distribution with unknown mean vector $(\mu, \dots, \mu)^T$ the value of the underlying quantity and a covariance matrix that depends on the quoted uncertainties and correlation coefficients.

The first model is a location-scale model with

$$X | \mu, \sigma_B, M_{\text{LSM}} \sim N(\mu \mathbf{1}, \sigma_B^2 V), \quad (\text{A.2})$$

i.e. the random variables X follow a multivariate normal distribution with mean vector $\mu \mathbf{1}$ and covariance matrix $\sigma_B^2 V$, where $\mathbf{1} = (1, \dots, 1)^T$ is a vector consisting of ones. The notation $X | \mu, \sigma_B, M_{\text{LSM}}$ makes explicit that the distribution of X is conditional on the unknown parameters μ and σ_B , and, also, on the assumed location-scale model M_{LSM} . The matrix V contains the quoted uncertainties and covariances, where the diagonal elements of this matrix equal the squared standard

uncertainties $V_{ii} = u_i^2$, and the off-diagonal elements are determined according to $V_{ij} = \rho_{ij}u_iu_j$. According to this model, an inconsistency would be treated by enlarging all quoted uncertainties by the same factor. The dependence of the distribution of X on V is suppressed as V is given. The second model is a random effects model with

$$X | \mu, \sigma_\lambda, M_{\text{REM}} \sim N(\mu \mathbf{1}, V + \sigma_\lambda^2 I), \quad (\text{A.3})$$

where V and $\mathbf{1}$ have the same meaning as above, and I denotes the identity matrix of appropriate dimension. In this model, an inconsistency would be accounted for by adding a common term σ_λ^2 to all quoted (squared) uncertainties. Just as σ_B is an additional parameter for the location-scale model, σ_λ is an extra parameter for the random effects model.

The covariance matrix V in (A.2) and (A.3) corresponds to the uncertainty assessment made about x . In metrology, uncertainties are evaluated according to the GUM, and V typically represents information gained from both observations and expert knowledge. The GUM mixes elements from classical and Bayesian statistics and hence V may not be viewed as (an estimate of) the covariance matrix of a sampling distribution that represents a real sampling process.

Models (A.2) and (A.3) are relevant in metrology. For example, the random effects model (A.3) has been proposed for the determination of a reference value required in the analysis of interlaboratory comparisons, or for the determination of a fundamental constant. Random effects models such as the model (A.3) are also employed for characterizing reference materials or analyzing proficiency tests. The model (A.2) has been identified as the statistical model underlying the Birge ratio which is popular in metrology for the adjustment of inconsistent data.

Both models are similar in that they entertain increases of the entries in the covariance matrix: the model (A.2) applies a common factor to all variances and covariances, and the model (A.3) an additive correction to all variances. However, inferences based on these two models can turn out to be quite different.

Subsequently, the Bayesian reference analysis was provided for the two models (A.2) and (A.3) using a non-informative prior that is determined by the

Berger and Bernardo reference prior principle when μ is the parameter of interest, and σ_B and σ_λ are nuisance parameters, i.e. not of immediate interest. The resulting posterior will also be called the reference posterior.

1.1.1 Location-scale model

The reference posterior for the location-scale model (and grouping $\{\mu, \sigma_B\}$) is the scaled and shifted t -distribution expressed as

$$\mu|x, M_{\text{LSM}} \sim t_{n-1} \left(\frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1}, \frac{1}{n-1} \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1} \right), \quad (\text{A.4})$$

where $Q = V^{-1} - \frac{V^{-1} 1 1^T V^{-1}}{1^T V^{-1} 1}$. It follows that the first or second moments of the marginal reference posterior $\pi(\mu|x, M_{\text{LSM}})$ exist provided that $n \geq 3$ or $n \geq 4$ holds, respectively. For reasons of numerical stability, the term $x^T Q x$ in (A.4) ought to be evaluated in numerical calculations as $(x - \hat{\mu} 1)^T V^{-1} (x - \hat{\mu} 1)$ with $\hat{\mu} = \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1}$.

From (A.4) we obtain

$$E(\mu|x, M_{\text{LSM}}) = \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1} \quad (\text{A.5})$$

and

$$\text{Var}(\mu|x, M_{\text{LSM}}) = \frac{1}{n-3} \cdot \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1} \quad (\text{A.6})$$

Finally, a 95 % credible interval is given by

$$\left[\frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1} - t_{n-1; 0.975} \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1}}, \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1} + t_{n-1; 0.975} \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \frac{x^T Q x}{1^T V^{-1} 1}} \right] \quad (\text{A.7})$$

where $t_{d;\beta}$ stands for the β -quantile of the t -distribution with d degrees of freedom.

For the location-scale model (A.2) the sampling distribution of X can be written as

$$p(x|\mu, \sigma_B, M_{\text{LSM}}) \propto \frac{1}{\sigma_B^n} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_B^2} \left[(\mu - \hat{\mu}(x))^2 (1^T V^{-1} 1) + x^T Q x \right]\right), \quad (\text{A.8})$$

where $\hat{\mu}(x) = \frac{1^T V^{-1} x}{1^T V^{-1} 1}$. Since $\hat{\mu}(X)$ and $X^T Q X$ are independent sufficient statistics (i.e. $\hat{\mu}(X)$ and $X^T Q X$ are independent and contain all the information that X provides about the unknown parameters) with $(\hat{\mu}(X) - \mu) \times (1^T V^{-1} 1)^{1/2} \sim N(0, 1)$ and $\frac{X^T Q X}{\sigma_B^2} \sim \chi_{n-1}^2$, we get

$$\frac{(\hat{\mu}(X) - \mu) (1^T \sigma_B^{-2} V^{-1} 1)^{1/2}}{\sqrt{\frac{1}{n-1} \frac{1}{\sigma_B^2} X^T Q X}} \sim t_{n-1}. \quad (\text{A.9})$$

Thus, the reference prior is an exact probability matching prior, and hence 95 % credible intervals are also 95 % confidence intervals.

1.1.2 Random effects model

Next, we consider the Bayesian reference analysis for the random effects model (A.4). In this case the reference posterior $\pi(\mu, \sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}})$ exists whenever $n \geq 2$, and the marginal reference posterior $\pi(\mu | x, M_{\text{REM}})$ has first and second moments provided that $n \geq 3$ and $n \geq 4$ holds, respectively. The conditional reference posterior $\pi(\mu | x, M_{\text{REM}})$ is

$$\mu | \sigma_\lambda, x, M_{\text{REM}} \sim N\left(\frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}, \frac{1}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}\right), \quad (\text{A.10})$$

and for $\pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}})$ we obtain

$$\pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) \propto \frac{\sqrt{\sigma_\lambda^2 \cdot \text{tr}\left((V + \sigma_\lambda^2 I)^{-2}\right)}}{\sqrt{\det(V + \sigma_\lambda^2 I)} \sqrt{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}} \times \exp\left(-\frac{1}{2} x^T R(\sigma_\lambda) x\right), \quad (\text{A.11})$$

$$\text{where } R(\sigma_\lambda) = (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} - \frac{(V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1 1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1}}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}.$$

Application of (A.10) together with (A.11) leads to

$$E(\mu | x, M_{\text{REM}}) = \int_0^\infty \frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} \pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) d\sigma_\lambda, \quad (\text{A.12})$$

and

$$\begin{aligned} \text{Var}(\mu | x, M_{\text{REM}}) = & \int_0^\infty \left\{ \frac{1}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} + \left(E(\mu | x, M_{\text{REM}}) - \frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1} \right)^2 \right\} \times \\ & \times \pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) d\sigma_\lambda \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

Finally, a shortest 95% credible interval is obtained by minimizing over $\beta \in (0, 0.05)$ the length of the interval $[a_{0,05-\beta}, a_{1-\beta}]$ where a_γ is the solution of

$$\gamma = \int_0^\infty \Phi\left(a_\gamma; \frac{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} x}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}, \frac{1}{1^T (V + \sigma_\lambda^2 I)^{-1} 1}\right) \times \pi(\sigma_\lambda | x, M_{\text{REM}}) d\sigma_\lambda \quad (\text{A.14})$$

In (A.14) the symbol $\Phi(y; a, b^2)$ denotes the distribution function of the normal distribution with mean a and variance b^2 at y .

Приложение Б

(обязательное)

Оценочная карта

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

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (Б.1)$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица Б.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,15	4	4	4	0,6	0,6	0,6
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
3. Надежность	0,13	5	4	3	0,65	0,52	0,39
4. Потребность в ресурсах памяти	0,11	4	5	5	0,44	0,55	0,55
5. Функциональная мощность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
6. Простота эксплуатации	0,12	5	5	5	0,6	0,6	0,6
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность метода	0,12	5	4	3	0,6	0,48	0,36
2. Уровень проникновения на рынок	0,09	4	4	4	0,36	0,36	0,36
3. Предполагаемый срок эксплуатации	0,09	5	5	5	0,45	0,45	0,45
Итого	1	42	38	37	4,65	4,23	4,08

Приложение В

(обязательное)

Интерактивная матрица

Интерактивная матрица помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Каждый фактор помечается либо знаком «+» – сильное соответствие сильных сторон возможностям, либо знаком «-» – слабое соответствие; «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица В.1 – Сильные стороны и возможности проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1	+	+	-
	В2	+	+	+
	В3	0	-	0

Таблица В.2 – Сильные стороны и угрозы проекта

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	-	0	0
	У2	+	-	+
	У3	-	-	-

Таблица В.3 – Слабые стороны и возможности проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	+	0
	В2	0	+	0
	В3	0	0	0

Таблица В.4 – Слабые стороны и угрозы проекта

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	0
	У2	-	-	0
	У3	-	-	0

Приложение Г
(обязательное)
SWOT-анализ

Таблица Г.1 – SWOT-анализ

	Сильные стороны: С1. Заявленная точность и энергоэффективность метода. С2. Экологичность технологии. С3. Уникальность метода.	Слабые стороны: Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения испытаний. Сл2. Высокая степень износа оборудования. Сл3. Большой объем исходной информации.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на продукт. В3. Низкая активность конкурентов.	В1С1С2 – благодаря техническим возможностям разработки, ее удобству в использовании и наличию технической поддержки, повышается эффективность метода; В2С1С2С3 – адекватность разработки может вызвать спрос на нее, а это в свою очередь повлечет увеличение количества спонсоров.	В1В2Сл2 – помехой для реализации данного метода могут послужить отсутствие необходимого оборудования для проведения дополнительных испытаний.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	У2С1С3 – с повышением заявленной точности и энергоэффективности метода, повысится спрос и конкурентоспособность данного метода.	У1Сл1Сл2 – при отсутствии новых технологий и оборудования для проведения испытаний, увеличивается износ необходимых инструментов для реализации проекта.

Приложение Д

(обязательное)

Временные показатели проведения разработки

Таблица Д.1 – Временные показатели проведения разработки

№	Содержание работ	Трудоемкость			Длительность в рабочих днях, T_p	Длительность в календарных днях, T_{ki}
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{\text{ож } i}$		
1	2	3	4	5	6	7
1	Составление и утверждение темы проекта	2	4	2,8	1,4 (4 ч руководителя)	2
2	Анализ актуальности и новизны темы проекта	2	4	2,8	1,4 (4 ч руководителя)	2
3	Изучение теоретического материала	10	15	12	12	18
4	Определение направления исследований	2	5	3,2	1,6 (2 ч руководителя)	2
5	Календарное планирование работ	1	5	2,6	2,6 (1 ч руководителя)	4
6	Обзор литературы по теме	5	10	7	7	10
7	Подбор нормативных документов	2	4	2,8	2,8	4
8	Анализ используемых средств и методов	5	7	5,8	5,8	9
9	Систематизация и оформление информации	4	8	5,6	5,6	8
10	Проектирование методов согласования ФФК	10	12	10,8	5,4 (4 ч руководителя)	8
11	Разработка пользовательского интерфейса	4	6	4,8	4,8	7
12	Реализация методов согласования ФФК	12	15	13,2	13,2	20
13	Обработка результатов	4	5	4,4	2,2 (4 ч руководителя)	3
14	Заключение	2	4	2,8	2,8 (4 ч руководителя)	4

Приложение Е

(обязательное)

Календарный план-график

На графике работы для научного руководителя выделены косой штриховкой, а студента – сплошной заливкой.

Таблица Е.1 – Календарный план-график

№	Содержание работ	Длительность в календарных днях, T_{ki}	Продолжительность выполнения работ														
			Февраль		Март			Апрель			Май						
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
1	Составление и утверждение темы проекта	2															
2	Анализ актуальности и новизны темы проекта	2															
3	Поиск и изучение теоретического материала по теме	18															
4	Определение направления исследований	2															
5	Календарное планирование работ	4															
6	Обзор литературы по теме	10															
7	Подбор нормативных документов	4															
8	Анализ используемых средств и методов	9															
9	Систематизация и оформление информации	8															
10	Проектирование методов согласования ФФК	8							 								
11	Разработка пользовательского интерфейса	7															
12	Реализация методов согласования ФФК	20															
13	Обработка результатов	3															
14	Заключение	4															