

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



Институт Кибернетики
 Направление подготовки Стандартизация и метрология
 Кафедра Систем управления и мехатроники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Комплексирование интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях

УДК 519.254:681.586

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Галсанова Людмила Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры СУМ	Худоногова Людмила Игоревна			

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Маланова Наталья Викторовна	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	Губин Владимир Евгеньевич	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по направлению 27.03.01

«Стандартизация и метрология»

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

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

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

Институт Кибернетики
 Направление подготовки Стандартизация и метрология
 Кафедра Систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ Губин В.Е.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Г31	Галсановой Людмиле Викторовне

Тема работы:

Комплексирование интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях

Утверждена приказом директора (дата, номер)	21.04.2017 г., 2805/с
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>1 Parhami B. Distributed Interval Voting with Node Failures of Various Types // Proc 12th IEEE Workshop on Dependable Parallel, Distributed and Network-Centric Systems DPDNS '07 Long Beach, California USA. – 2007. – P. 1-7</p> <p>2 Nielsen H. S. Determining consensus values in interlaboratory comparisons and proficiency testing // Proceedings of NCSL International Workshop and Symposium, Tampa, Florida, USA. – 2003. – P. 1-16</p> <p>3 Muravyov S. V., Khudonogova L. I., Marinushkina I. A. Representation of interval data by weak orders yields robustness of the data fusion outcomes // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – N 1. – P. 360-365.</p>
---	---

	4 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.
<p>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></p>	<p>1 Комплексирование интервальных данных на основе алгоритмов голосования</p> <p>1.1 Интервальные данные</p> <p>1.2 Комплексирование интервальных данных</p> <p>1.3 Одобрительное голосование</p> <p>1.3.1 Правило относительного большинства</p> <p>1.3.2 Правило абсолютного большинства</p> <p>1.3.3 Правило Кемени</p> <p>2 Свойства алгоритмов голосования</p> <p>2.1 Вычислительная сложность</p> <p>2.2 Робастность</p> <p>2.3 Программное обеспечение для комплексирования интервальных данных</p> <p>2.3.1 Среда разработки LabVIEW</p> <p>2.3.2 Назначение и функции программы «Fusion algorithm»</p> <p>2.3.3 Интерфейс пользователя</p> <p>2.3.4 Реализация алгоритмов голосования</p> <p>3 Повышение точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях</p> <p>3.1 Беспроводные сенсорные сети</p> <p>3.2 Проблема неточных данных в беспроводных сенсорных сетях</p> <p>3.3 Экспериментальные исследования алгоритмов голосования</p> <p>3.3.1 Результаты исследования точности</p> <p>3.3.2 Результаты исследования робастности</p> <p>3.3.3 Результаты исследования возможности возникновения парадоксов</p> <p>3.3.4 Обобщение результатов</p> <p>4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>5 Социальная ответственность</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В. С. Николаенко
Социальная ответственность	Н. В. Маланова
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры СУМ	Худоногова Людмила Игоревна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Галсанова Людмила Викторовна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8Г31	Галсановой Людмиле Викторовне

Институт	Кибернетики	Кафедра	СУМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	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	15.03.2017 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МЕН	Николаенко Валентин Сергеевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Галсанова Людмила Викторовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8Г31	Галсановой Людмиле Викторовне

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p>В разделе «Социальная ответственность» рассматриваются вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера по качеству в соответствии с нормами производственной санитарии, техники безопасности и охраны окружающей среды. Объектом исследования являются интервальные данные полученные от сенсоров в беспроводных сенсорных сетях.</p>
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p>	<p>Проводится анализ выявленных вредных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Отклонение показателей микроклимата; – Повышенная напряженность электромагнитного поля; – Превышение уровня электромагнитных излучений; – Недостаток естественного освещения; – Недостаточная освещенность рабочей зоны. <p>Анализ выявленных опасных факторов производственной среды, таких как:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Электробезопасность; – Пожаробезопасность.
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>Анализ воздействия на литосферу: образование отходов при поломке или утилизации компьютера.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Специальные правовые нормы трудового законодательства – Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2017 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8Г31	Галсанова Людмила Викторовна		

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

Институт Кибернетики
 Направление подготовки Стандартизация и метрология
 Уровень образования Бакалавриат
 Кафедра Систем управления и мехатроники
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2016/2017 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.06.2017 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
14.02.2017	Анализ алгоритмов комплексирования интервальных данных и их применение для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях	
20.02.2017	Программная реализация алгоритмов голосования	
09.03.2017	Свойства алгоритмов голосования	
22.03.2017	Реализация программы для комплексирования интервальных данных	
19.04.2017	Экспериментальные исследования алгоритмов голосования	
03.05.2017	Социальная ответственность	
11.05.2017	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
18.05.2017	Оформление графического материала	
22.05.2017	Оформление расчетно-пояснительной записки	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры СУМ	Л. И. Худоногова			

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
СУМ	В.Е. Губин	к.т.н.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 91 страница, 18 рисунков, 25 таблиц, 37 источников, 5 приложений.

Ключевые слова: комплексирование (fusion), интервал (interval), голосование (voting), сенсор (sensor), алгоритм (algorithm).

Объектом исследования является алгоритм комплексирования интервальных данных.

Цель работы – исследование алгоритмов комплексирования интервальных данных и проверка их применимости для определения значения величины, измеряемой сенсорами в беспроводных сенсорных сетях, с повышенной точностью.

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- теоретическое исследование алгоритмов комплексирования интервальных данных (одобрительное голосование, агрегирование предпочтений);
- выбор критериев оценки рассматриваемых алгоритмов;
- разработка программного обеспечения;
- проведение экспериментальных исследований;
- анализ полученных результатов.

В процессе исследования проводились: теоретическое ознакомление с алгоритмами комплексирования, основанными на одобрительном голосовании и агрегировании предпочтений, практическая реализация алгоритмов комплексирования на основе правил абсолютного и относительного большинства, и численные экспериментальные исследования алгоритмов.

В результате работы были выявлены свойства исследованных алгоритмов и сделан вывод об их применимости для повышения точности результата измерений сенсоров в беспроводной сенсорной сети.

Степень внедрения: НИР, выполняемые на кафедре СУМ ТПУ.

Область применения: получение результата измерений сенсоров в беспроводных сенсорных сетях с повышенной точностью.

Оглавление

Введение	13
1 Комплексирование интервальных данных на основе алгоритмов голосования	15
1.1 Интервальные данные	15
1.2 Комплексирование интервальных данных	16
1.3 Одобрительное голосование	17
1.3.1 Правило относительного большинства	18
1.3.2 Правило абсолютного большинства	21
1.3.3 Правило Кемени	24
2 Свойства алгоритмов голосования	29
2.1 Вычислительная сложность	29
2.2 Робастность	32
2.3 Программное обеспечение для комплексирования интервальных данных	34
2.3.1 Среда разработки LabVIEW	34
2.3.2 Назначение и функции программы «Fusion algorithm»	35
2.3.3 Интерфейс пользователя	36
2.3.4 Реализация алгоритмов голосования	37
3 Повышение точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях	42
3.1 Беспроводные сенсорные сети	42
3.2 Проблема неточных данных в беспроводных сенсорных сетях	46
3.3 Экспериментальные исследования алгоритмов голосования	47
3.3.1 Результаты исследования точности	48
3.3.2 Результаты исследования робастности	49
3.3.3 Результаты исследования возможности возникновения парадоксов	54
3.3.4 Обобщение результатов	54
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
4.2 Анализ конкурентных технических решений	58
4.3 SWOT-анализ	58
4.4 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	59
4.5 Структура работ в рамках научного исследования	60
4.6 Определение трудоемкости выполнения работ	61

4.7	Разработка графика проведения научного исследования	61
4.8	Определение бюджета научно-технического исследования	61
4.8.1	Расчет материальных затрат	62
4.8.2	Расчет основной заработной платы исполнителей темы	62
4.8.3	Расчет дополнительной заработной платы исполнителей темы	64
4.8.4	Расчет отчислений во внебюджетные фонды	65
4.8.5	Расчет накладных расходов	65
4.8.6	Формирование бюджета затрат научно-технического исследования	65
4.9	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	66
5	Социальная ответственность	68
5.1	Производственная безопасность	68
5.1.1	Отклонение показателей микроклимата	70
5.1.2	Повышенный уровень электромагнитных излучений	71
5.1.3	Недостаточная освещенность рабочей зоны	72
5.2	Экологическая безопасность	74
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	75
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
5.4.1	Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	78
5.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	79
	Заключение	81
	Список публикаций студента	82
	Список использованных источников	83
	Приложение А (обязательное) Оценочная карта	87
	Приложение Б (обязательное) Интерактивная матрица	88
	Приложение В (обязательное) SWOT-анализ	89
	Приложение Г (обязательное) Временные показатели проведения разработки	90
	Приложение Д (обязательное) Календарный план-график	91
	CD-диск. Бакалаврская работа. Комплексование интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях. Файл ВКР Галсанова.pdf	

Введение

В беспроводных сенсорных сетях актуальной проблемой является проблема неточных данных. В связи с отказом элемента питания и влиянием внешних факторов окружающей среды сенсоры узлов беспроводных сенсорных сетей выходят из строя и предоставляют измерительные данные с большой неопределенностью. При этом значения одной и той же физической величины, измеренные разными сенсорами, могут сильно отличаться друг от друга. Промехи, имеющие место при измерениях, а также незнание закона распределения результатов измерений не позволяют обработать измеренные данные традиционными статистическими методами.

Таким образом, важной задачей является определение значения измеряемой величины с требуемой точностью на основании неточных и/или неполных данных, предоставленных сенсорами беспроводных сенсорных сетей. Измерительные данные, предоставляемые узлами сети, имеют вид интервалов на вещественной оси, центры которых представляют собой измеренные сенсорами значения, а границы обуславливаются неопределенностью сенсоров. Следовательно, существует необходимость исследования различных алгоритмов комплексирования интервальных данных, для нахождения точного и робастного (т.е. устойчивого к виду закона распределения и к возможным промахам измеренных значений) алгоритма.

Целью данной работы является исследование алгоритмов комплексирования интервальных данных и проверка их применимости для определения значения величины, измеряемой сенсорами в беспроводных сенсорных сетях, с повышенной точностью.

Для достижения данной цели поставлены следующие задачи:

- теоретическое исследование алгоритмов комплексирования интервальных данных (одобрительное голосование, агрегирование предпочтений);
- выбор критериев оценки рассматриваемых алгоритмов;

- разработка программного обеспечения;
- проведение экспериментальных исследований;
- анализ полученных результатов.

В первом разделе проведен аналитический обзор алгоритмов комплексирования интервальных данных на основе алгоритмов голосования.

Во втором разделе рассмотрены основные свойства алгоритмов комплексирования, а также приведено описание программы «Fusion algorithm», предназначенной для экспериментальных исследований рассматриваемых алгоритмов комплексирования.

Третий раздел содержит результаты экспериментальных исследований алгоритмов комплексирования, проведенные с целью проверки их применимости для использования в беспроводных сенсорных сетях.

1 Комплексирование интервальных данных на основе алгоритмов голосования

1.1 Интервальные данные

Под интервальными данными понимается измеренное значение со своей неопределенностью, которое представляется в виде интервала.

В выпускной квалификационной работе (ВКР) будем рассматривать набор из m замкнутых интервалов $\{I_k\}$, где $k=1, \dots, m$, на вещественной числовой оси. Каждый интервал характеризуется *нижней границей* – l_k , *верхней границей* – u_k и *средней точкой* – x_k , так что $I_k = [l_k, u_k]$; $l_k < x_k$; $x_k = 0,5 \cdot (u_k + l_k)$; $l_k, u_k, x_k \in \mathbb{R}$ (рисунок 1).



Рисунок 1 – Интервал на вещественной числовой оси

Часто средняя точка x_k представляет собой результат некоторого измерения, *интервал неопределенности* которого имеет вид $[x_k - 0,5 \cdot (u_k - l_k), x_k + 0,5 \cdot (u_k - l_k)] = [x_k - \varepsilon_k, x_k + \varepsilon_k]$. В этом случае k -й интервал может быть представлен парой $\langle x_k, \varepsilon_k \rangle$.

Каждая пара интервалов не обязательно имеет непустое пересечение, т.е. могут найтись два таких интервала I_j и I_k , $j \neq k$; $j, k = 1, \dots, m$, что $I_j \cap I_k \neq \emptyset$.

Такие интервалы будем называть *несогласованными* [1]

Исследователи в областях интервального анализа разработали сложные методы работы с интервальными переменными. Они используются в тех случаях, когда существует несколько равноценных интервалов, при анализе которых необходимо выявить результирующий интервал, который будет максимально согласован с исходными интервалами.

1.2 Комплексование интервальных данных

Комплексование данных (data fusion) представляет собой процесс совместной обработки данных о некотором объекте, полученных из многих источников с целью получения более полного, объективного и точного знания исследуемой характеристики объекта, чем знание, полученное из единственного источника. Поскольку источники данных различны и каждый из которых может содержать как корректную, так и не полную информацию, комплексование данных обладает преимуществом в сравнении с отдельной обработкой за счет расширения объема получаемой информации, благодаря как взаимодополняемости, так и взаимозаменяемости.

Комплексованием интервальных данных будем называть процедуру нахождения такой точки x_r на вещественной оси, которая принадлежит максимальному количеству интервалов из $\{I_k\}$, $k = 1, \dots, m$, и которую можно считать представителем всех средних точек x_k с минимальной неопределенностью ε_k .

Комплексование дает полезный эффект при объединении экспериментально полученных данных, который выражается в их улучшении.

Процедура комплексования *интервальных данных* заключается в формировании такого интервала, который совместим с максимальным количеством исходных интервалов (не обязательно совместимых между собой) и с максимальной степенью правдоподобия содержит значение, которое может служить представителем всех этих интервалов [2].

Примером применения процедуры комплексования интервальных данных являются межлабораторные сличения, основной задачей которых является установление опорного значения измеряемой величины, наилучшим образом характеризующего наибольшее подмножество согласованных результатов измерений. Другими примерами могут служить прогнозирование значения фундаментальной константы на основе измеренных значений,

проведение испытаний на соответствие и повышение точности показаний мультисенсоров в сенсорных сетях [3].

Существуют различные методы интеграции данных обычно включают такие методы как байесовский подход, методы теории вероятностей и математической статистики, теории возможностей, теории нечетких множеств, методы голосования и др. Т.к. не все перечисленные методы применимы к интервальным данным, в данной работе будут рассматриваться алгоритмы голосования.

1.3 Одобрительное голосование

Голосование является одним из перспективных алгоритмов получения правильного результата из ненадежных, неточных или неполных данных. Правило голосования позволяет решить задачу коллективного принятия решения, в котором несколько избирателей (участников), должны совместно выбрать один лучший объект из нескольких объектов, будем называть их альтернативами, относительно которых их мнения могут расходиться. Т.е. под голосованием мы понимаем процедуру измерения уровня согласованности мнений участников в отношении набора альтернатив. В работе [4] введена классификация схем голосования, применяемых в технических приложениях, включающая 16 классов. Одним из таких классов является одобрительное голосование (approval voting), в котором каждый участник голосует за подмножество предпочтительных альтернатив, вместо того, чтобы выбирать только одну «лучшую» альтернативу. Интервальное голосование – это частный случай одобрительного голосования, когда упорядоченный набор предпочтительных альтернатив образует интервал вдоль реальной линии, и все значения внутри интервала считаются одинаково приемлемыми для участника. Такая схема дает возможность найти более точный результирующий интервал, основанный на исходных интервалах [5].

Роберт Дж. Вебер ввел термин «одобрительное голосование», чтобы описать систему выборов, в которой каждому участнику возможно поддержать столько альтернатив, сколько они пожелают, то есть участники могут «одобрить» все альтернативы, считающиеся «приемлемыми», и альтернатива, получившая наибольшее общее число голосов, объявляется победителем [6].

Одобрительное голосование основано на трех принципах: простота – существуют ограничения для того, чтобы голосование было дихотомическим; гибкость – участникам предоставляется возможность определять количество альтернатив; и метод большинства – критерий отбора основывается на наибольшем количестве накопленных одобрительных голосов [7].

Выбор правила голосования оказывает значительное влияние на надежность системы, безопасность и производительность. Применительно к комплексированию не все правила голосования подходят и поэтому были выделены такие правила, как правило простого, абсолютного большинства и агрегирование предпочтений на основе правила Кемени, которые далее рассмотрим подробно.

1.3.1 Правило относительного большинства

Система относительного большинства – это самая простая система, при котором каждый участник отдает свой голос наиболее предпочтительному для себя альтернативе. Побеждает та альтернатива, которая получила наибольшее количество голосов, т. е. больше голосов, чем любой из его соперников. кандидат, получивший наибольшее число голосов.

Формально правило относительного большинства учитывает волю большинства. Однако, это правило может противоречить мнению большинства, т.е. приводить к избранию кандидата, который при парном сравнении проигрывает любому другому кандидату.

Рассмотрим примеры голосования по правилу относительного большинства.

Пример 1. Четыре альтернативы a , b , c , d выбираются в четырех избирательных группах, где количество участников 3, 5, 7 и 6 соответственно, голосование приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты голосования

№ группы	I	II	III	IV
Количество участников	3	5	7	6
Альтернативы	a	a	b	c
	d	c	d	d
	c	d	c	b
	b	b	a	a

По правилу относительного большинства a набирает 8 голосов, b – 7 голосов, c – 6 голосов, d – 0 голосов. Следовательно, победителем является альтернатива a . Но насколько альтернатива a является лучшей? 13 участников против 8 считают, что $b \succ a$, также 13 участников против 8 считают, что $c \succ a$ и еще 13 участников против 8 считают, что $d \succ a$. То есть, для большинства участников альтернатива a является худшим из всех альтернатив.

Пример 2. В пяти избирательных группах, с количеством участников соответственно 9, 7, 6, 2 и 4 выбирают одного из четырех альтернатив a , b , c , d голосование приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты голосования

№ группы	I	II	III	IV	V
Количество участников	9	7	6	2	4
Альтернативы	a	b	c	c	d
	d	d	b	a	c
	b	c	d	b	b
	c	a	a	d	a

По правилу относительного большинства a набирает 9 голосов, b набирает 7 голосов, c – 8 голосов, d – 4 голоса. Следовательно, победителем также является альтернатива a . Проанализируем и здесь ситуацию с победителем. 17 участников из 28 считают, что $b \succ a$, 19 участников считают, что $c \succ a$ и еще 17 участников считают, что $d \succ a$. Кроме того, 17 участников поставили альтернативу a на последнее место, то есть абсолютное большинство считает, что эта альтернатива – наихудшая [8].

Далее рассмотрим правило относительного большинства применительно к интервальному голосованию.

Рассмотрим упорядоченный список альтернатив $\{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ и конечное множество $\{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ участников процесса голосования. Исходными данными от источников являются интервалы I_k с соответствующими верхней и нижней границами $[l_k, u_k]$. Результирующий интервал I_r находится как *пересечение* интервалов большинства участников. На рисунке 2 показан пример интервального голосования с применением правила относительного большинства. Границы полученного результирующего интервала I_r обозначены пунктирными линиями. Заметим, что даже если каждый входной интервал представляется как отрезок на действительной числовой прямой, интервалы, представляющие интерес, имеют конечный набор дискретных значений практически во всех случаях.

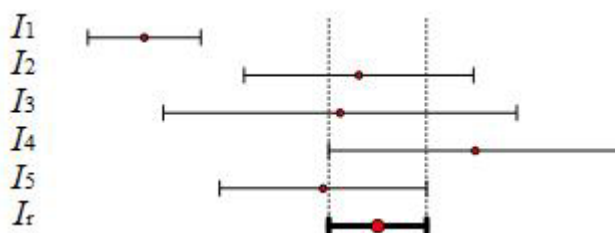


Рисунок 2 – Интервальное голосование на основе правила относительного большинства

Алгоритм правила относительного большинства, довольно прост в применении, он основан на определении интервала посредством пересечения. На практике ситуация с этой стратегией голосования может возникнуть ряд осложнений, которые могут привести к парадоксу множественности получаемых результирующих интервалов. Очевидно, что необходимо определить области пересечения между максимально возможным количеством интервалов. Тем не менее, может быть несколько непересекающихся подынтервалов с одинаковым *уровнем согласованности*, которые не могут быть объединены в один интервал, как показано на рисунке 3. Под уровнем согласованности некоторого интервала понимается количество одобрявших его

участников. Кроме того, не ясно, должна ли ширина интервалов каким-либо образом влиять на процесс комплексирования. В таком случае неясно, какой интервал следует выбрать в качестве результирующего, поскольку нет причин считать, что один из них предпочтительнее другого [5].

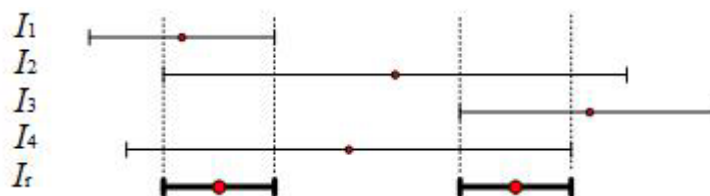


Рисунок 3 – Парадокс множественности результирующих интервалов

1.3.2 Правило абсолютного большинства

В системе абсолютного большинства для победы альтернативе необходимо получить больше половины голосов (минимум 50 % + 1 голос). Достоинство системы абсолютного большинства состоит в том, что победителем оказывается та альтернатива, за которую проголосовали большинство участников. Недостаток этой системы заключается в частой не результативности алгоритма из-за малой вероятности набора голосов какой-либо альтернативы абсолютным большинством. В последнем случае может проводиться второй тур голосования, в которой участвуют две альтернативы, набравшие максимальное количество голосов в первом туре [9].

Рассмотрим пример такого голосования.

Пример 3. Четыре альтернативы a , b , c , d выбираются в пяти избирательных группах, где количество участников 10, 6, 7, 3 и 12 соответственно, первый тур голосования приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты 1-го тура голосования

№ группы	I	II	III	IV	V
Количество участников	10	6	7	3	12
Альтернативы	a	b	b	a	d
	d	d	a	c	b
	b	a	c	b	a
	c	c	d	d	c

Всего 38 участников голосования, т.к. по правилу абсолютного большинства победителем считается альтернатива, набравшая больше половины голосов, т.е. необходимо 19 голосов для победы. В результате a набирает 13 голосов, b набирает 13 голосов, c – 0 голосов, d – 12 голосов. Следовательно, после проведения первого тура победитель не был выявлен, поэтому альтернативы a и b , набравшие одинаково максимальное количество голосов, переходят во второй тур.

Далее, аналогично первому туру, проводят второй тур для альтернатив a и b . Второй тур голосования приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты 2-го тура голосования

№ группы	I	II	III	IV	V
Количество участников	10	6	7	3	12
Альтернативы	a	b	b	b	a
	b	a	a	a	b

После второго тура получаем, что альтернатива a набирает 22 голоса, а альтернатива b набирает 16 голосов. Т.е. абсолютным большинством побеждает альтернатива a .

Применительно к интервальному голосованию правило абсолютного большинства имеет следующий алгоритм: для реализации необходимо устранить ошибочные интервалы (у которых количество пересечений с другими интервалами меньше, чем u – половина участников голосования) с обеих границ, останавливаясь после того, как встретился результирующий интервал. Начиная сверху и, двигаясь вниз, инициализируется счетчик от нуля и увеличивается всякий раз, когда встречается верхняя граница интервала, и уменьшается для каждой нижней границы. Когда счетчик достигает u , который представляет большинство участников голосования, то этот интервал является результирующим верхней границей. Аналогичный процесс находит нижнюю границу.

Результатом работы алгоритма становится результирующий интервал I_r , границы которого обозначены пунктирными линиями. На рисунке 4

показан пример интервального голосования с применением правила абсолютного большинства.

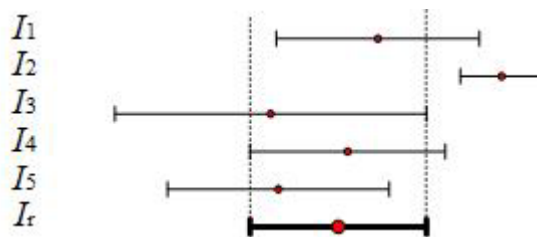


Рисунок 4 – Интервальное голосование на основе правила абсолютного большинства

Часто выбросы и несогласованные интервалы приводят к увеличению ширины исходной неопределенности, а также к выявлению ошибочного результирующего интервала, который имеет области, где интервалы не пересекаются. На рисунке 5 показана одна из таких ситуаций, в котором ширина результирующего интервала I_r больше максимальной ширины одной из альтернатив и интервал I_4 не имеет пересечений с I_1 , I_3 и I_5 .

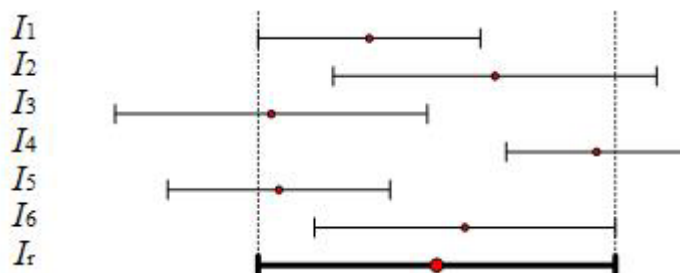


Рисунок 5 – Получение широкого результирующего интервала по правилу абсолютного большинства

При равной вероятности ошибки для всех участников выбор в качестве результата голосования пересечения I_1 , I_2 , I_3 , I_5 и I_6 , т.е. подынтервала $[l_2, u_5]$, как показано на рисунке 6, может оказаться более правильным решением [5].

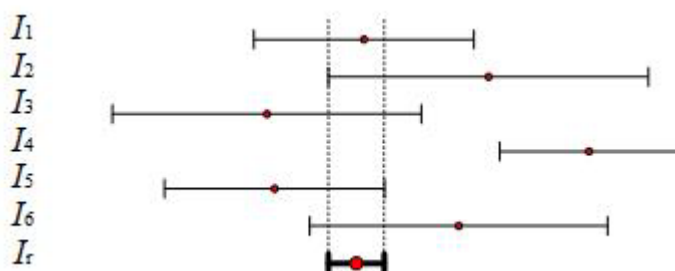


Рисунок 6 – Устранение ошибок

1.3.3 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 $\lambda_k = \{a_1 \succ a_2 \dots \square a_s \square a_t \succ \dots \square a_n\}$ 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. $a_i \square a_j$, 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 [10].

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.

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda). \quad (1)$$

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

$$D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad (2)$$

где

$$d_{ij}^k = \begin{cases} 0 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k \\ 1 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k, \quad i, j = 1, \dots, n. \\ 2 & \text{если } a_i^k \succ a_j^k \end{cases} \quad (3)$$

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

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

В результате получаем, что правило Кемени, описанное формулой (1), изменяется на

$$\beta = \arg \min \sum_{i < j} p_{ij}, \quad (5)$$

что означает определение такой перестановки строк и столбцов матрицы профиля, что сумма элементов ее подматрицы верхнего треугольника минимальна [11].

В работе [2] предложен алгоритм, позволяющий применять правило Кемени для комплексирования интервальных данных.

Поскольку правило Кемени работает на множестве ранжируемых альтернатив, необходимо представлять интервалы набором дискретных значений. 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.

$$a_1 = \min\{l_k \mid k = 1, \dots, m\}, \quad (6)$$

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

$$a_n = \max\{u_k \mid k = 1, \dots, m\}. \quad (7)$$

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

$$h = \frac{a_n - a_1}{n - 1}. \quad (8)$$

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

$$a_i = a_{i-1} + h, \quad (9)$$

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:

$$\begin{cases} \text{(i)} & a_i \in I_k \wedge a_j \notin I_k \Rightarrow a_i \succ a_j; \\ \text{(ii)} & a_i, a_j \in I_k \vee a_i, a_j \notin I_k \Rightarrow a_i \sim a_j; \\ \text{(iii)} & a_i \notin I_k \wedge a_j \in I_k \Rightarrow a_i \prec a_j; \\ \text{(iv)} & a_i, a_j \in A_k - \text{соседние элементы} \Rightarrow j \equiv i + 1. \end{cases} \quad (10)$$

Алгоритм комплексирования интервалов на основе правила Кемени, приведенный на рисунке 7, включает в себя 4 основных этапа [1], представленных ниже.

1. Формирование 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 (9).

2. 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 (10) формируются ранжирования λ_k и профиль предпочтения Λ , состоящий из m ранжирований.

3. Определение 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.

4. Расчет неопределенности ε_r значения x_r .

Находим и исключаем из множества $\{I_k\}$ интервалы, не содержащие значение x_r . При этом мощность множества согласованных интервалов равна m_{con} , а неопределенность ε_r 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.:

$$\varepsilon_r = \min\left(\max_{k=1, \dots, m_{\text{con}}} \{l_k \leq x_r\}, \min_{k=1, \dots, m_{\text{con}}} \{u_k \geq x_r\}\right). \quad (11)$$

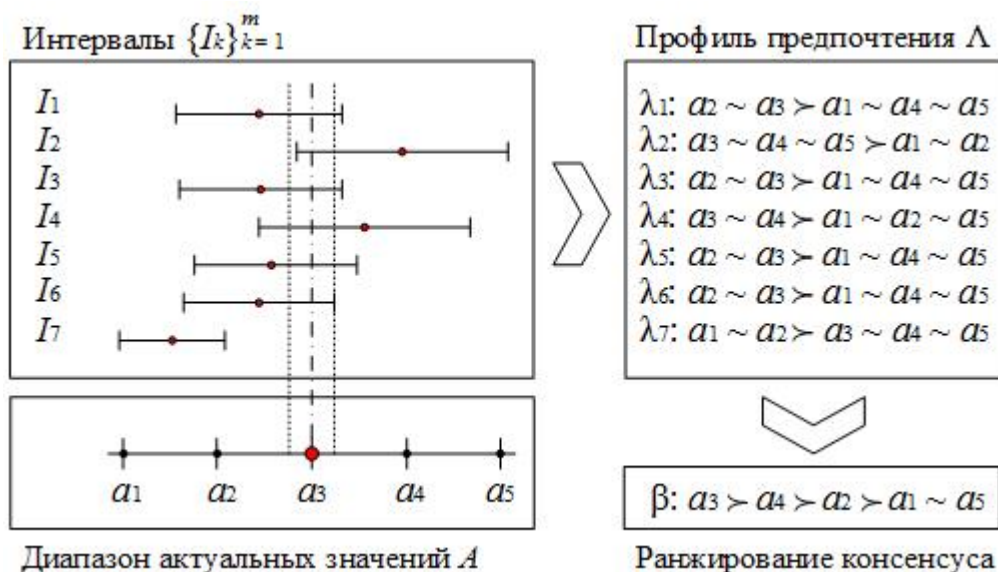


Рисунок 7 – Комплексирование интервальных данных на основе правила Кемени

Недостаток правила Кемени заключается в том, что для нахождения результирующего интервала требуется много времени, т.е. решаемая задача является *NP-полной* (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).

2 Свойства алгоритмов голосования

На основе правил голосования формируются алгоритмы голосования, определяющие последовательность нахождения результата комплексирования.

Будем характеризовать алгоритмы следующими свойствами:

- вычислительная сложность;
- робастность.

2.1 Вычислительная сложность

Вычислительная сложность – это функция зависимости объёма работы, которая выполняется некоторым алгоритмом, от размера входных данных. Другими словами, это мера использования алгоритмом ресурсов времени или пространства. Объём работы обычно измеряется абстрактными понятиями времени и пространства, называемыми вычислительными ресурсами. Время определяется количеством элементарных шагов, необходимых для решения задачи, тогда как пространство определяется объёмом памяти или места на носителе данных. Многие алгоритмы предлагают выбор между объёмом памяти и скоростью. Задачу можно решить быстро, используя большой объём памяти, или медленнее, занимая меньший объём.

Рассмотрим пример алгоритма поиска кратчайшего пути. Если представить карту города в виде сети, то возможно написать алгоритм для определения кратчайшего расстояния между двумя любыми точками этой сети. Для того чтобы не рассчитывать эти расстояния каждый раз, когда это потребуется – можно вывести кратчайшие расстояния между всеми точками и сохранить полученные результаты в виде таблицы и пользоваться этими данными при необходимости.

Результат будет получен мгновенно, но это требует большого объёма памяти. Т.е. для того, чтобы повысить быстродействие алгоритма, необходимо использовать дополнительную память.

Для вычисления сложности чаще всего используются функции, представленные в таблице 5. Функции перечислены в порядке возрастания сложности. Чем выше в этом списке находится функция, тем быстрее будет выполняться алгоритм с такой оценкой [12].

Таблица 5 – Функции для вычислительной сложности

Сложность	Комментарий
$O(1)$	Константная. Устойчивое время работы не зависит от размера задачи.
$O(\log(n))$	Логарифмическая. Удвоение размера задачи увеличивает время работы на постоянную величину.
$O(n)$	Линейная. При удвоении размера задачи – удваивается и время.
$O(n \cdot \log(n))$	Квазилинейная. Удвоение размера задачи увеличит необходимое время чуть более, чем вдвое.
$O(n^m)$	Полиномиальная. Увеличение размера задачи на 1 приводит к m -кратному увеличению необходимого времени.
$O(m^n)$	Экспоненциальная. Скорость роста алгоритма так же велика, как у экспоненты.
$O(n!)$	Факториальная. Определяет все перестановки n элементов

Различают временную и пространственную сложность. Первая определяет время, требуемое на решение задачи заданной размерности с помощью данного алгоритма, а вторая – количество требуемых ресурсов (памяти) при тех же условиях.

Существует несколько классов временной сложности, основные из которых приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Классы временной сложности

Модель вычисления	Комментарий	Класс сложности	Ресурсные ограничения
DTIME ($f(n)$)	Вычислительный ресурс по времени для детерминированной машины Тьюринга. Представляет собой количество времени (или число шагов вычислений), для того чтобы решить определенную вычислительную задачу с помощью определенного алгоритма, с использованием стандартного компьютера.	P	poly(n)
		EXPTIME	$2^{\text{poly}(n)}$
NTIME ($f(n)$)	Вычислительный ресурс по времени для недетерминированной машины Тьюринга.	NP	poly(n)
		NEXPTIME	$2^{\text{poly}(n)}$

Примечание – Детерминированная машина Тьюринга – это машина, каждая конфигурация которой непосредственно выводится не более чем одного раза. Т.е. машина Тьюринга является детерминированной тогда, когда в ее системе команд не существует двух разных команд с одной и той же левой частью.

Временная сложность алгоритма – это функция от размера входных данных, равная максимальному количеству элементарных операций, проделываемых алгоритмом для решения экземпляра задачи указанного размера.

По аналогии с временной сложностью, определяют пространственную сложность алгоритма, только здесь говорят не о количестве элементарных операций, а об объёме используемой памяти. Т.е. пространственная сложность – это функция размера входных и выходных данных, равная максимальному количеству затраченной памяти, затраченной алгоритмом для решения экземпляра задачи указанного размера. В большинстве случаев размер выхода не превосходит или пропорционален размеру входа, в таком случае пространственную сложность рассматривают как функцию размера только входных данных [13].

Пространственная сложность также делится на классы, основные которых представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Классы пространственной сложности

Модель вычисления	Комментарий	Класс сложности	Ресурсные ограничения
DSPACE ($f(n)$)	Множество языков, которые можно распознать на детерминированной машине Тьюринга используя память $f(n)$. Т.е. вычислительный ресурс, описывающий пространство памяти для детерминированной машины Тьюринга. Она представляет собой общий объем пространства памяти, для того чтобы решить вычислительную задачу с заданным алгоритмом.	L	$O(\log(n))$
		PSPACE	poly(n)
		EXSPACE	$2^{\text{poly}(n)}$
NSPACE ($f(n)$)	Вычислительный ресурс, описывающий пространство памяти, для множества языков, которые можно распознать на недетерминированной машине Тьюринга используя память $f(n)$.	NL	$O(\log(n))$
		NPSPACE	poly(n)
		NEXSPACE	$2^{\text{poly}(n)}$

2.2 Робастность

Робастность – свойство статистического метода, характеризующее независимость влияния на результат исследования различного рода выбросов, устойчивости к помехам. Робастный метод – метод, направленный на выявление выбросов, снижение их влияния или исключение их из выборки.

Имеется большое разнообразие моделей робастности в зависимости от того, какие именно отклонения от заданного параметрического семейства допускаются. Среди теоретиков наиболее популярной оказалась модель выбросов, в которой исходная выборка «засоряется» малым числом «выбросов», имеющих принципиально иное распределение. Однако эта модель представляется «тупиковой», поскольку в большинстве случаев большие выбросы либо невозможны из-за ограниченности шкалы прибора, либо интервала изменения измеряемой величины, либо от них можно избавиться, применяя лишь статистики, построенные по центральной части вариационного ряда. Кроме того, в подобных моделях обычно считается известной частота засорения, что в сочетании со сказанным выше делает их малоприспособленными для практического использования [14].

Методы робастного оценивания – те методы, которые позволяют получать достаточно надежные оценки статистической совокупности с учетом неясности закона ее распределения и наличия существенных отклонений в значениях данных.

Основными показателями, используемыми для описания и измерения робастности, являются:

- пороговая точка (breakdown point);
- функция влияния одного из значений выборки на конечный результат (influence function);
- чувствительность к виду закона распределения (sensitivity curve).

Рассмотрим каждый показатель в индивидуальном порядке.

Пороговая точка представляет собой долю неправильных значений в выборке (например, сколь угодно больших значений в выборке), которые может обработать определенный алгоритм, прежде чем давать неверный (например, сколь угодно большой) результат. Например, учитывая n независимых случайных величин (Z_1, \dots, Z_n) и соответствующих реализаций z_1, \dots, z_n , z_1 , мы можем использовать следующую формулу для оценки среднего значения:

$$\bar{Z}_n = \frac{Z_1 + \dots + Z_n}{n}. \quad (11)$$

Такая оценка имеет пороговую точку равной 0, т.к. мы можем сделать \bar{z} сколь угодно большим, просто изменив любой из z_1, \dots, z_n .

Чем выше пороговая точка, тем более устойчив алгоритм. Интуитивно можно предположить, что пороговая точка не может превышать 50 %, потому что, если более половины значений в выборке неверны, невозможно различить основное распределение от ошибочного распределения [15]. Следовательно, максимальное значение пороговой точки равно 0,5.

Статистическая оценка (алгоритм) с высокой пороговой точкой иногда называется *устойчивой статистикой* (resistant statistics). Выборки часто содержат значения с выбросами, которые лежат далеко от основной части данных. Это может быть вызвано ошибками измерения или записи, или иными воздействующими факторами. Особенно при работе с небольшими образцами выбросы могут смещать предыдущие сводные статистические данные от значений, характерных для большей части выборки. Эту проблему можно избежать либо путем исключения или уменьшения веса значений выбросов в образце (контроль качества), либо путем использования статистических данных, которые устойчивы к наличию выбросов [16].

Функция влияния является мерой зависимости результата от значения одной из точек в выборке. Т.е. если одно из значений выборки сильно отличается от других и это не влияет на получение правильного результата, то функция влияния является устойчивой.

Чувствительность к виду закона распределения определяет, может ли алгоритм предоставлять верный результат при изменении закона распределения выборки. В отличие от функции влияния, чувствительность рассматривает воздействие на результат не конкретных значений выборки, а закона распределения данных [17].

2.3 Программное обеспечение для комплексирования интервальных данных

2.3.1 Среда разработки LabVIEW

Для программной реализации алгоритмов комплексирования интервальных данных была выбрана графическая среда разработки LabVIEW.

LabVIEW (**L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **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 («задние контакты» объектов лицевой панели) и управляющие структуры (являющиеся аналогами таких элементов текстовых языков программирования, как условный оператор «IF», операторы цикла «FOR» и «WHILE» и т. п.). Функциональные узлы и терминалы 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 [18].

2.3.2 Назначение и функции программы «Fusion algorithm»

Для исследования свойств алгоритмов комплексирования, на основе рассмотренных в разделе 1 правил голосования, была разработана программа «Fusion algorithm» в графической среде NI LabVIEW [19].

Программа Fusion algorithm выполняет следующие функции:

- комплексирование интервалов на основе правил относительного большинства, абсолютного большинства и правила Кемени;
- визуализация результатов в графическом и числовом виде;
- сохранение результатов эксперимента в формате документа MS Excel (*.xls).

Программа Fusion algorithm работает по следующей схеме.

Генерация случайных интервальных данных осуществлялась по методу Монте-Карло с помощью программного модуля, разработанного на кафедре систем управления и мехатроники в исследовательской группе под руководством профессора С.В. Муравьева [20, 21].

Далее сгенерированные интервальные данные обрабатываются с помощью алгоритмов комплексирования на основе трех правил голосования.

В результате работы программы Fusion algorithm для каждого алгоритма комплексирования на основе правил голосования находится результирующий интервал $I_r = [x_r \pm \varepsilon_r]$, где средняя точка x_r – результат комплексирования, а ε_r – соответствующая неопределенность результата.

2.3.3 Интерфейс пользователя

Лицевая панель программы Fusion algorithm показана на рисунке 8.

Перед началом работы на лицевой панели программы пользователю необходимо указать:

- номинальное значение измеряемой величины;
- количество интервалов;
- закон распределения измеряемой величины;
- номер набора данных;
- количество экспериментов.

Далее пользователь запускает программу с помощью нажатия кнопки «Генерация». На лицевой панели отображаются сгенерированные измеренные данные (результаты измерений с неопределенностями) в графическом и числовом виде. Программа завершает работу после нажатия кнопки «СТОП». После завершения работы пользователь может сохранить данные, нажав кнопку «Сохранить».

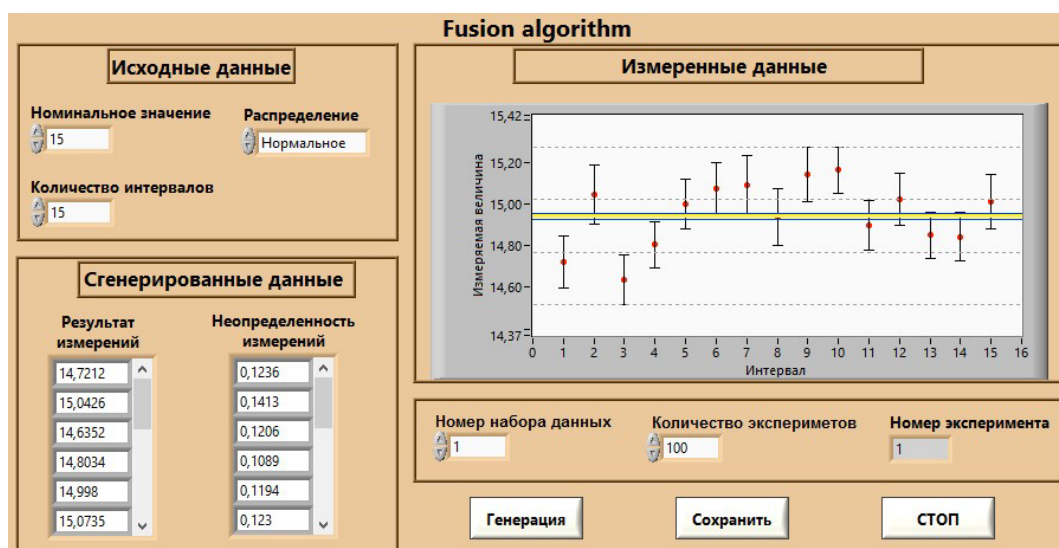


Рисунок 8 – Лицевая панель программы Fusion algorithm

2.3.4 Реализация алгоритмов голосования

Для реализации программы Fusion algorithm сначала были разработаны алгоритмы комплексирования на основе правил голосования. Формальная запись алгоритма для правила относительного большинства представлена ниже.

Алгоритм 1 Комплексирование интервалов по правилу относительного большинства

Вход:

m : число участников голосования

Пусть:

l_k (lower): нижняя граница интервала;

u_k (upper): верхняя граница интервала;

x_k (middle): среднее значение интервала;

k : номер интервала;

l_k^* : пустой массив для нахождения согласованности с нижней границей;

u_k^* : пустой массив для нахождения согласованности с верхней границей;

l_r : результирующая нижняя граница интервала;

u_r : результирующая верхняя граница интервала;

x_r : результирующее среднее значение интервала.

[проверка согласованных интервалов]

1: **for** $i = 1$ **to** m **do**

2: **for** $k = 1$ **to** m **do**

3: **if** $l_i \in (l_k; u_k)$, **then** $l_1^* + 1$;

4: **else** $l_1^* + 0$;

5: **if** $u_1 \in (l_k; u_k)$, **then** $u_1^* + 1$;

6: **else** $u_1^* + 0$;

7: **end for**

8: **end for**

9: $u_r \leftarrow \max (u_k^*)$;

10: $l_r \leftarrow \max (l_k^*)$;

11: $x_r \leftarrow \frac{u_r + l_r}{2}$.

Выход:

$[l_r; u_r]$ – результирующий интервал;

x_r – результирующее среднее значение интервала.

Число участников голосования m , которое является входным параметром для алгоритма, задается пользователем.

Далее по правилу относительного большинства необходимо найти все согласованные интервалы (шаги 1-11). Для этого определяются те интервалы,

количество пересечений которых с другими интервалами (нижними и верхними) является максимальным.

Результатом работы алгоритма становится результирующий интервал, задаваемый средним значением x_r и нижней и верхней границами l_r и u_r соответственно.

По данному алгоритму был создан программный модуль «PLURALITY» для программы Fusion algorithm. Входными данными модуля являются:

- число участников голосования m ;
- верхние границы интервалов u_k ;
- нижние границы интервалов l_k .

Выходными данными являются:

- результирующее среднее значение x_r ;
- неопределенность ε_r ;
- результирующее верхнее значение u_r ;
- результирующее нижнее значение l_r ;
- индикатор для определения времени работы модуля.

На рисунке 9 представлена блок-диаграмма модуля «PLURALITY» для реализации алгоритма комплексирования на основе правила относительного большинства.

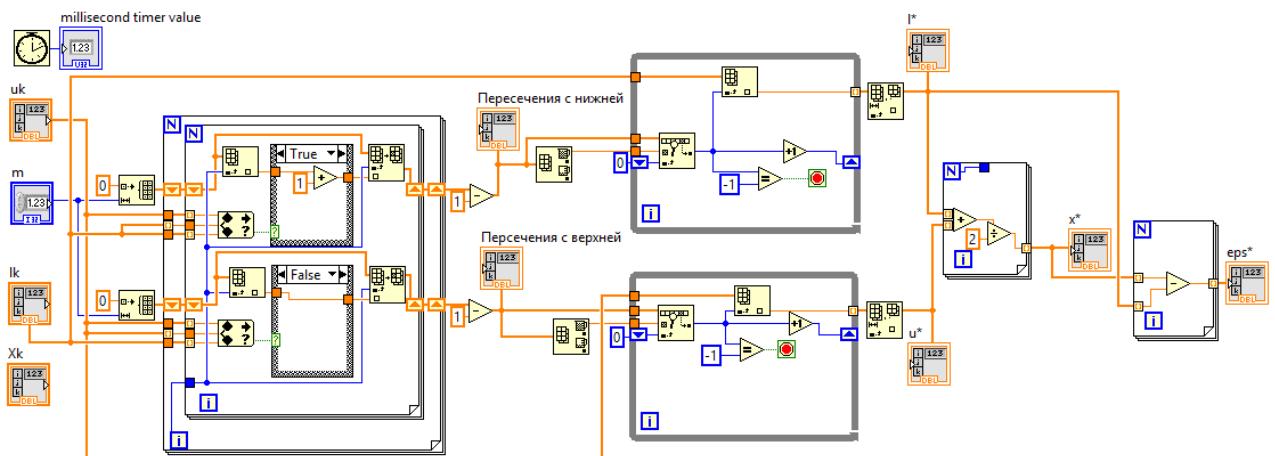


Рисунок 9 – Блок-диаграмма программного модуля «PLURALITY»

Далее приведен алгоритм комплексирования на основе правила абсолютного большинства.

Алгоритм 2 Комплексирование интервалов по правилу абсолютного большинства

Вход:

m : число участников голосования.

Пусть:

l_k (lower): нижняя граница интервала;

u_k (upper): верхняя граница интервала;

x_k (middle): среднее значение интервала;

k : номер интервала;

I_r : результирующий интервал;

l^* : промежуточный результат для нахождения согласованности с нижней границей;

u^* : промежуточный результат для нахождения согласованности с верхней границей;

l_r : результирующая нижняя граница интервала;

u_r : результирующая верхняя граница интервала;

x_r : результирующее среднее значение интервала;

y : минимальное количество голосов для победы;

A : массив для нахождения согласованности с верхней границей;

B : массив для нахождения согласованности с нижней границей.

[проверка согласованных интервалов]

1: $u_k \leftarrow$ sorted (max; min); [сортировка верхней границы от максимального к минимальному]

2: $y \leftarrow \lceil 0,5 \cdot m \rceil$; [50-ти процентный результат, округленный в большую сторону]

3: **for** $k = 1, \dots, y$

4: $A \leftarrow$ max u_k ; [массив из y максимальных значений верхних границ]

5: $u^* \leftarrow$ min A ; [находим минимальную верхнюю границу из y максимальных]

6: $l_k \leftarrow$ sorted (min; max); [сортируем нижние границы от минимального к максимальному]

7: **end for**

8: **for** $k = 1, \dots, y$

9: $B \leftarrow$ min l_k ; [массив из y минимальных значений нижних границ]

10: $l^* \leftarrow$ max B ; [находим максимальную нижнюю границу из y минимальных]

11: **end for**

12: **for** $k = 1$ **to** m **do**

13: **if** $l_k \geq u^*$, **then** $y \leftarrow y + 1$ and move to step 4

14: **else** $u_r \leftarrow u^*$;

15: **if** $u_k \leq l^*$, **then** $l^* \leftarrow$ max ($B + 1$);

16: **else** $l^* \leftarrow l_r$;

17: **end for**

18: $x_r \leftarrow \frac{u_r + l_r}{2}$.

Выход:

$[l_r; u_r]$ – результирующий интервал;

x_r – результирующее среднее значение интервала.

Число участников голосования m , которое является входным параметром для алгоритма, задается пользователем.

Далее для реализации правила абсолютного большинства (шаги 1-17) необходимо устранить ошибочные интервалы, т.е. такие, у которых количество пересечений с другими интервалами меньше, чем значение u , определяющее более 50 % голосов участников. Начиная сверху и двигаясь вниз, значение счетчика (начальное значение которого равно нулю) увеличивается всякий раз, когда встречается верхняя граница интервала, и уменьшается в случае пересечения нижней границы. Когда счетчик достигает значения u , то это значит, что найдена верхняя граница u_r результирующего интервала. Аналогичным образом, при сканировании снизу, определяется нижняя граница l_r .

Результатом работы алгоритма становится результирующий интервал I_r , задаваемый средним значением x_r и нижней и верхней границами l_r и u_r соответственно.

По данному алгоритму был также создан программный модуль «MAJORITY», с входными и выходными данными аналогичными модулю «PLURALITY».

Блок-диаграмма для модуля «MAJORITY» для реализации правила абсолютного большинства приведена на рисунке 10.

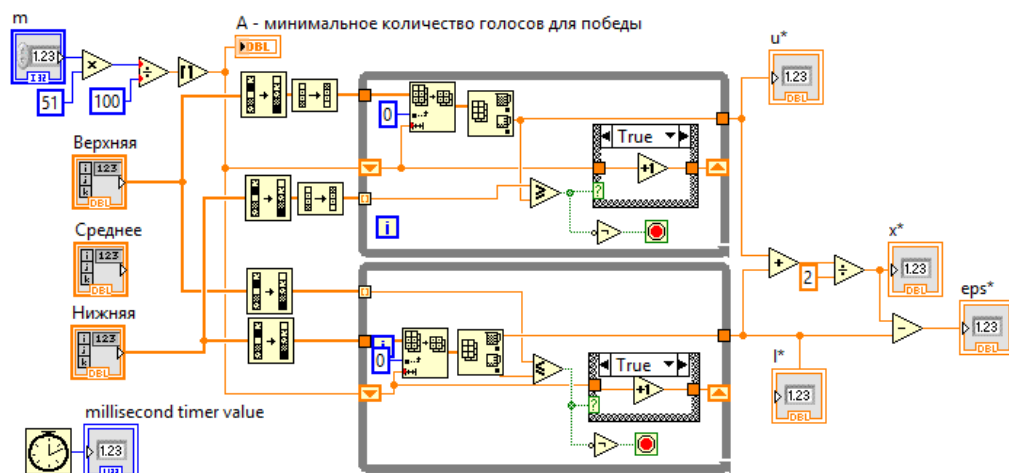


Рисунок 10 – Блок-диаграмма программного модуля «MAJORITY»

Алгоритм комплексирования интервалов на основе агрегирования предпочтений по правилу Кемени разработан и реализован в программе, разработанной на кафедре систем управления и мехатроники в исследовательской группе под руководством профессора С.В. Муравьева [20, 21].

3 Повышение точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях

Сегодня задача построения распределенных систем сбора данных, управления и мониторинга как никогда актуальна в самых различных прикладных областях, но использование традиционных проводных решений не всегда эффективно из-за высокой стоимости монтажных работ, а также технического обслуживания. Кроме того, в некоторых ситуациях вообще невозможна прокладка кабелей по техническим, экономическим или организационным причинам. Поэтому беспроводные системы передачи данных выглядят весьма привлекательно для решения поставленной задачи, но их практическое использование долгое время было затруднительно из-за низкой надежности радиоканала по сравнению с проводным соединением, высокой стоимости и энергопотребления элементной базы, а также проблем с установкой и настройкой системы на объекте. Новейшие технологии беспроводной связи и прогресс в области производства микросхем позволили в течение последних нескольких лет перейти к практической разработке и внедрению нового класса распределенных коммуникационных систем – беспроводных сенсорных сетей [22].

3.1 Беспроводные сенсорные сети

Беспроводные сенсорные сети (БСС, Wireless Sensor Network – WSN) – это совокупность распределенных в пространстве устройств, называемых узлами и обладающих набором датчиков, микроконтроллером и радиочастотным приемопередатчиком для связи на короткие расстояния, объединенных между собой посредством радиоканала, пример БСС представлен на рисунке 11. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому.

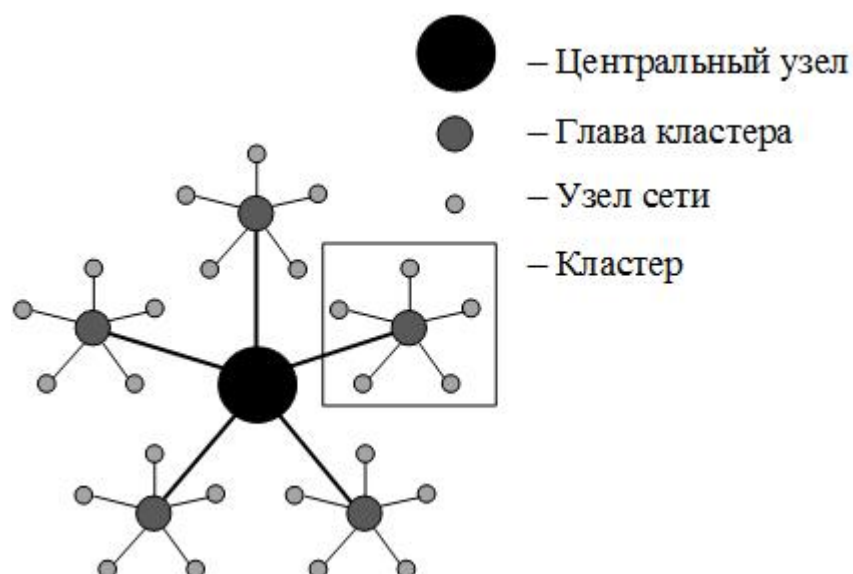


Рисунок 11 – Беспроводная сенсорная сеть с топологией «Кластерное дерево»

БСС состоит из миниатюрных вычислительно-коммуникационных устройств – узлов, или мотов. Узел представляет собой плату размером обычно не более одного кубического дюйма. На плате размещаются процессор, память – флэш и оперативная, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, радиочастотный приемопередатчик, источник питания и сенсоры (датчики). Под *сенсором* понимается первичный измерительный преобразователь, предназначенный для преобразования физической величины в электрический сигнал. Наиболее часто в БСС используются датчики температуры, давления, влажности, освещенности, вибрации, реже – магнитоэлектрические, химические, звуковые и др. Набор применяемых датчиков зависит от функций, выполняемых беспроводными сенсорными сетями. Узлы используются только для сбора, первичной обработки и передачи измерительных данных сенсоров. Питание узла осуществляется от небольшой батареи. Специфика БСС позволяет сенсорам самоорганизовываться в специализированные сети, связываясь друг с другом и обмениваясь данными посредством радиосвязи. В этом случае, сенсоры выступают как компоненты беспроводных сенсорных сетей. Данные от отдельных узлов передаются по сети к *координатору* (глава кластера), и от него к *маршрутизатору* (центральный узел), имеющем более высокую вычислительную мощность и который выполняет обработку информации, либо же передает ее дальше [23].

Топология сети – важная модель состояния сети, поскольку неявно она дает много информации об активных существующих узлах и связности сети. Так как беспроводные сенсорные сети обладают ограниченными энергетическими ресурсами, алгоритмы сбора информации о топологии должны предполагать низкое энергопотребление. Существуют следующие виды топологии сенсорной сети:

- «точка-точка» (однородная топология);
- «звезда» (иерархическая топология);
- «ячеистая» (замкнутая топология);
- «кластерное дерево» (древовидная топология).

Благодаря таким преимуществам, как низкие расходы на передачу информации центральному узлу, невысокие требования к ресурсам памяти сетевых устройств, а также возможность передачи измерительных данных через промежуточные узлы, топология «кластерное дерево» получила широкое распространение при реализации БСС, которая представлена на рисунке 11 [24].

Основными особенностями БСС являются самоорганизация и адаптивность к изменениям в условиях эксплуатации, поэтому требуются минимальные затраты при развертывании сети на объекте и при последующем ее сопровождении в процессе эксплуатации.

БСС могут применяться в различных отраслях деятельности человека, таких как:

- *промышленный мониторинг* – мониторинг производственных процессов; эффективное использование оборудования; технический надзор и профилактическое обслуживание оборудования; удаленный мониторинг имущества и ценностей;
- *сельское хозяйство* – сенсорные сети могут следить за созреванием урожая, информируя фермеров о нехватке влаги, удобрений, контролировать состояние почвы, растительных культур, режим питания и перемещение скота в животноводстве;

– *экология и чрезвычайные ситуации* – мониторинг загрязнений окружающей среды; миграция животных, насекомых; лесные пожары и т.д.; спасение людей при чрезвычайных ситуациях;

– *системы безопасности и оборона* – коммерческие системы безопасности (контроль периметров, определение вторжения, удаленное наблюдение); охрана военных объектов; отслеживание маршрутов движения войск, соединений; средства связи и боевой разведки; охрана ценностей и произведений искусства;

– *логистика (транспортировка)* – отслеживание грузов, контейнеров; мониторинг упаковки, определение целостности (неприкосновенности товаров и грузов) на каждом этапе транспортировки и хранения; обеспечение складского учета при перемещении товаров;

– *здравоохранение*. Физиологический мониторинг – сердечный ритм, кровяное давление, температура, уровень стресса и другие параметры жизнедеятельности; неотложная помощь [25].

Решения на базе беспроводных сенсорных сетей имеют следующие преимущества по сравнению с проводными системами:

– отсутствие необходимости в прокладке кабелей для электропитания и передачи данных;

– возможность внедрения и модификации сети на эксплуатируемом объекте без вмешательства в процесс его функционирования;

– минимальные ограничения по размещению беспроводных устройств;

– надежность и отказоустойчивость всей системы в целом при нарушении отдельных соединений между узлами или выходе некоторых узлов из строя;

– низкая стоимость монтажа, пуско-наладки и технического обслуживания системы.

Аппаратное обеспечение беспроводных узлов и протоколы сетевого взаимодействия между ними должны быть оптимизированы по энергопотреблению для обеспечения длительного срока эксплуатации системы при автономных источниках питания. В зависимости от режима работы время жизни узла может достигать нескольких лет [26].

3.2 Проблема неточных данных в беспроводных сенсорных сетях

Не смотря на все преимущества БСС, они имеют ряд недостатков. Наиболее важной проблемой, рассматриваемой в данной работе, является проблема неточных данных. Часто из-за отказа элемента питания или влияния внешних факторов окружающей среды сенсоры узлов БСС выходят из строя и предоставляют измерительные данные с большой неопределенностью. При этом значения одной и той же физической величины, измеренные разными сенсорами, могут сильно отличаться друг от друга. В такой ситуации измерительные данные в БСС становятся ненадежными.

Таким образом, важной задачей является определение значения измеряемой величины с требуемой точностью на основании неточных и/или неполных данных, предоставленных сенсорами БСС.

Для решения поставленной задачи рассматривалась БСС с кластерной топологией. Сенсоры узлов в одном кластере измеряют одно и то же значение величины. Измерительные данные, предоставляемые узлами сети, имеют вид *интервалов* на вещественной оси $I_k = [l_k, u_k]$, центры которых представляют собой измеренные сенсорами значения x_k , а границы обуславливаются неопределенностью сенсоров ε_k . Интервалы I_k передаются от узлов кластера узлу, выполняющему роль главы кластера, после чего глава кластера формирует набор интервалов от всех узлов и отправляет его центральному узлу. На центральном узле запускается алгоритм обработки интервальных данных.

Обработка измерительных интервальных данных от сенсоров БСС с целью получения значения измеряемой величины с повышенной точностью может быть реализована посредством комплексирования на основе правил голосования.

3.3 Экспериментальные исследования алгоритмов голосования

Экспериментальные исследования были реализованы с помощью разработанной программы Fusion algorithm, в котором рассмотренные алгоритмы голосования по правилу абсолютного большинства (ПАБ), по правилу относительного большинства (ПОБ) и алгоритм агрегирования предпочтения по правилу Кемени (АП по Кемени) реализуются на основании одинаковых исходных данных. Сравнительный анализ производился по рассмотренным во 2 разделе критериям:

- вычислительная сложность;
- робастность;
- точность;
- возможность возникновения парадоксов.

Вычислительная сложность оценивалась на основании теоретических данных по двум свойствам: временная сложность и пространственная сложность, класс сложности для каждого алгоритма приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Вычислительная сложность

	ПОБ	ПАБ	АП по Кемени
Временная сложность	P	P	NP
Пространственная сложность	PSPACE	PSPACE	NPSPACE

Данные таблицы 8 показывают, что алгоритмы ПАБ и ПОБ требуют значительно меньших ресурсов, чем алгоритм АП по Кемени.

Далее для сравнения алгоритмов по робастности и точности проводился эксперимент со следующими входными данными:

- номинальное значение: 15;

- количество узлов: 15;
- закон распределения: нормальное, равномерное;
- количество экспериментов: 50, 100.

На выходе программа Fusion algorithm записывает результаты эксперимента в виде документа MS Excel (*.xls), со следующими данными:

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

Сравнение алгоритмов производился на основании отклонения ξ результата комплексирования x_r от номинального значения x_n :

$$\xi = |x_r - x_n| \quad (12)$$

О робастности судили по следующим показателям:

- пороговая точка (breakdown point);
- функция влияния (influence function);
- чувствительность к виду закона распределения (sensitivity curve).

3.3.1 Результаты исследования точности

Для оценки точности алгоритмов были проведены 100 экспериментов, в каждом из которых генерировались данные, распределенные по нормальному закону. Значения полученных отклонений ξ результатов комплексирования x_r от номинального значения, упорядоченные по возрастанию, приведены на рисунке 12.

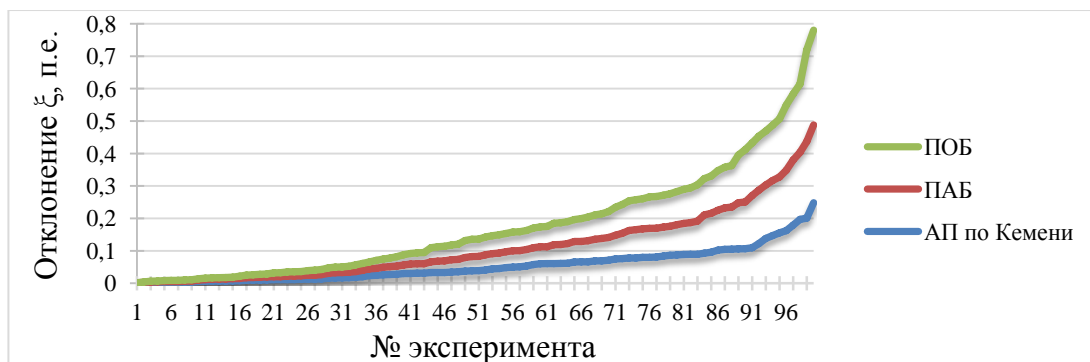


Рисунок 12 – Результаты эксперимента для сравнения точности алгоритмов

Для сравнения алгоритмов найдем среднее арифметическое $\xi_{\text{ср}}$ значений ξ , которое демонстрирует точность алгоритма: чем меньше $\xi_{\text{ср}}$, тем точнее алгоритм. Значения $\xi_{\text{ср}}$ для ПОБ, ПАБ и АП по Кемени составили 0,064; 0,059; 0,054 соответственно. Следовательно, наиболее точным алгоритмом является алгоритм АП по Кемени.

3.3.2 Результаты исследования робастности

Исследования робастности для оценки пороговой точки и функции влияния состояли из 9 итераций, каждая из которых включала в себя 50 экспериментов. На каждой итерации в сгенерированной выборке определенное количество значений заменялось сильно отличающимися значениями, т.е. выбросами. Число выбросов варьировалось от 1 до 8. Известно, что пороговая точка не может превышать 50 %, поэтому максимальное количество ошибочных значений было равно 8, т.к. в исследуемой модели кластера БСС содержалось 15 узлов. Значения полученных отклонений ξ результатов комплексования x_t от номинального значения, упорядоченные по возрастанию, для трех исследуемых алгоритмов приведены в виде графиков на рисунках 13-15.

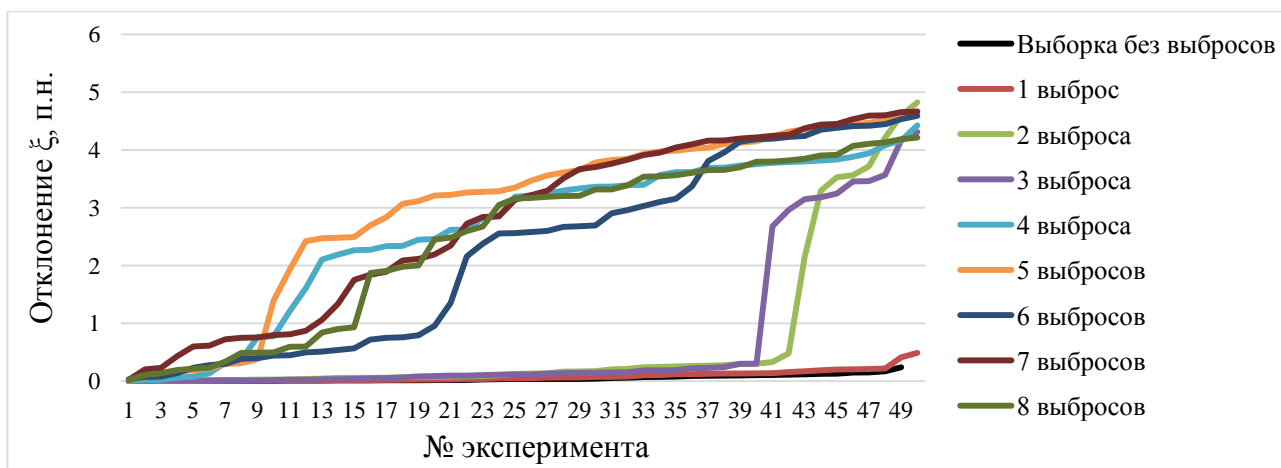


Рисунок 13 – Результаты эксперимента для ПОБ

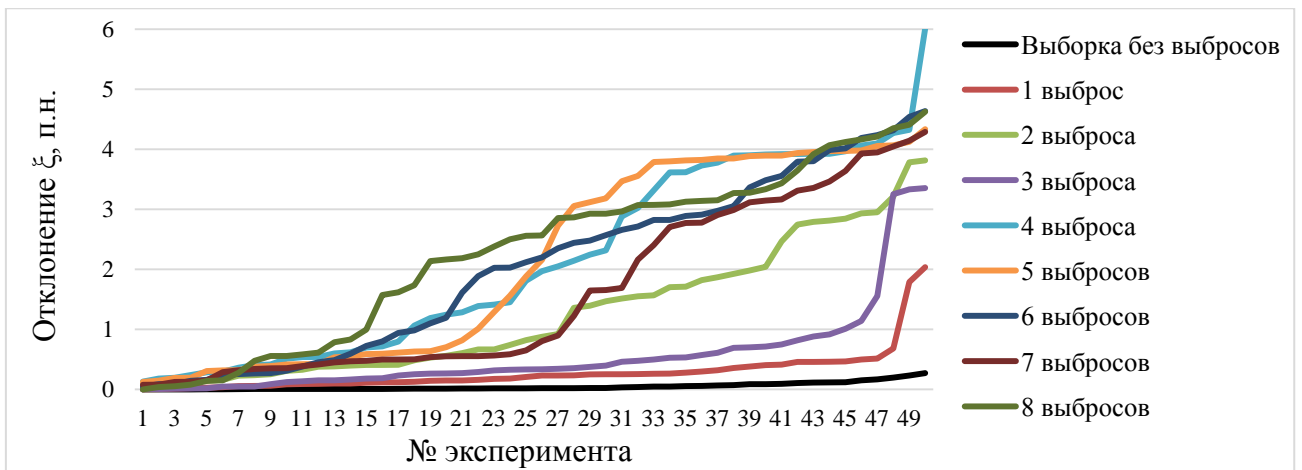


Рисунок 14 – Результаты эксперимента для ПАБ

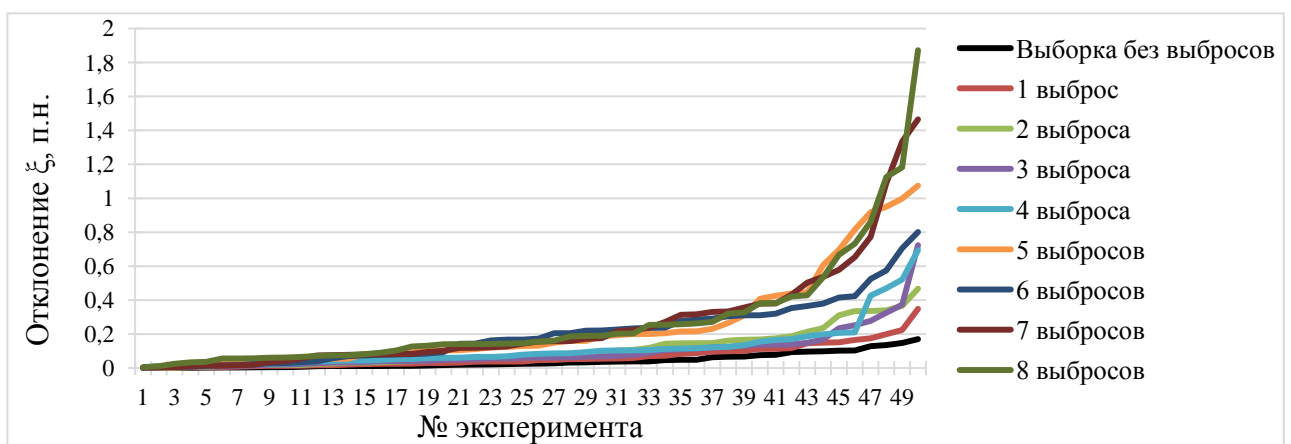


Рисунок 15 – Результаты эксперимента для АП по Кемени

На рисунке 13 видно, что алгоритм ПОБ для выборки с тремя ошибочными значениями все еще находит верный результирующий интервал. При этом отклонение ξ достигает значения 4,825. Таким образом, пороговая точка для алгоритма ПОБ составляет 20 %. Для ПАБ, как видно из рисунка 14, пороговая точка составила 15 %, т.е. данный алгоритм допускает наличие двух выбросов. При этом отклонение ξ достигает значения 6,012. Алгоритм АП по Кемени оказался наиболее робастным, т.к. пороговая точка составила 50 %. При этом отклонение ξ не превышает значения 1,872.

Для исследования чувствительности к виду закона распределения было проведено 100 экспериментов, в ходе которых были сгенерированы данные по нормальному и равномерному законам распределения. Значения полученных отклонений ξ результатов комплексирования x_T от номинального значения, упорядоченные по возрастанию, приведены на рисунке 16.

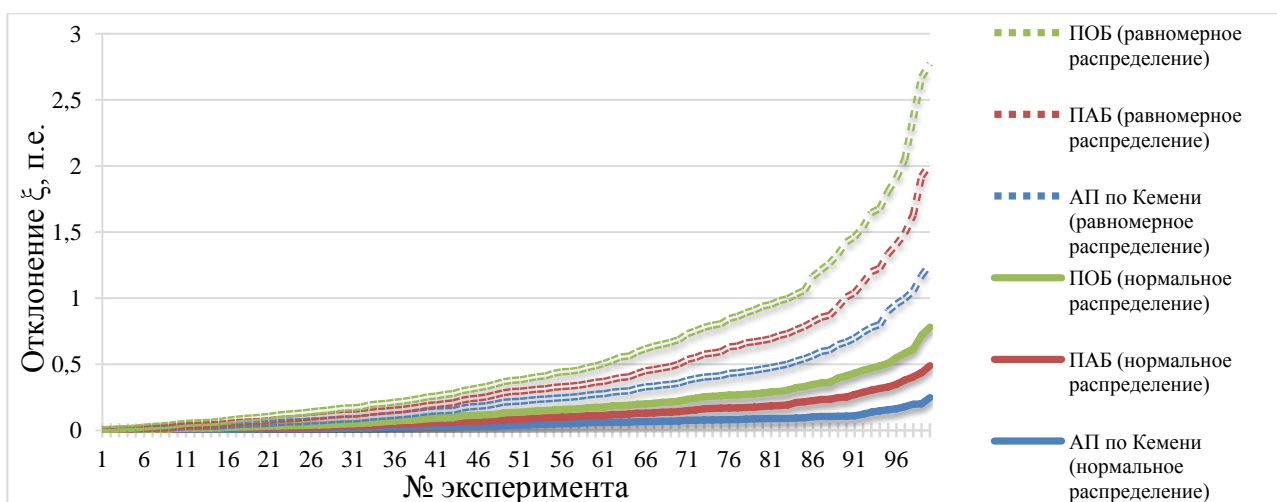


Рисунок 16 – Сравнение чувствительности к виду закона распределения

Для сравнения алгоритмов в каждой точке рассчитаем разность отклонений ξ между нормальным и равномерным законами распределения по следующей формуле:

$$\Delta = \xi_1 - \xi_2, \quad (13)$$

где ξ_1 – отклонение от номинального значения для равномерного распределения; ξ_2 – отклонение от номинального значения для нормального распределения. Затем найдем среднее арифметическое $\Delta_{\text{ср}}$ значений Δ , которое, по сути, является индикатором чувствительности к закону распределения: чем меньше $\Delta_{\text{ср}}$, тем робастнее алгоритм. Результаты расчета значений Δ и $\Delta_{\text{ср}}$ для трех алгоритмов приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты эксперимента для исследования чувствительности к виду закона распределения

№ эксперимента	Δ		
	ПОБ	ПАБ	АП по Кемени
1	0,060	0,002	0,106
2	0,058	0,128	0,074
3	0,059	0,066	0,003
4	0,253	0,083	0,123
5	0,143	0,263	0,004
6	0,053	0,084	0,009
7	0,017	0,033	0,018
8	0,513	0,275	0,005
9	0,062	0,029	0,042
10	0,035	0,025	0,008
11	0,667	0,674	0,091
12	0,084	0,076	0,281

Продолжение таблицы 9

№	ПОБ	ПАБ	АП по Кемени
13	0,185	0,196	0,145
14	0,147	0,162	0,109
15	0,017	0,125	0,057
16	0,082	0,046	0,106
17	0,107	0,064	0,085
18	0,024	0,069	0,050
19	0,0343	0,0376	0,031
20	0,720	0,419	0,406
21	0,022	0,030	0,006
22	0,122	0,193	0,054
23	0,160	0,072	0,121
24	0,125	0,197	0,189
25	0,214	0,027	0,147
26	0,037	0,015	0,054
27	0,010	0,169	0,079
28	0,014	0,003	0,020
29	0,404	0,274	0,397
30	0,154	0,044	0,174
31	0,050	0,016	0,025
32	0,499	0,492	0,383
33	0,051	0,072	0,004
34	0,029	0,050	0,005
35	0,044	0,036	0,021
36	0,009	0,025	0,080
37	0,107	0,045	0,078
38	0,025	0,046	0,024
39	0,011	0,063	0,164
40	0,743	0,744	0,229
41	0,268	0,183	0,105
42	0,030	0,029	0,016
43	0,066	0,207	0,009
44	0,081	0,020	0,148
45	0,057	0,035	0,003
46	0,052	0,059	0,043
47	0,038	0,014	0,022
48	0,020	0,078	0,065
49	0,118	0,035	0,098
50	0,153	0,059	0,043
51	0,273	0,301	0,005
52	0,129	0,153	0,095
53	0,009	0,014	0,019
54	0,067	0,058	0,057
55	0,090	0,001	0,014
56	0,063	0,003	0,011
57	0,130	0,002	0,155
58	0,034	0,029	0,054
59	0,073	0,066	0,013
60	0,007	0,004	0,061

Окончание таблицы 9

№	ПОБ	ПАБ	АП по Кемени
61	0,245	0,058	0,232
62	0,081	0,001	0,054
63	0,251	0,161	0,125
64	0,029	0,045	0,057
65	0,179	0,019	0,116
66	0,033	0,057	0,057
67	0,051	0,020	0,031
68	0,003	0,083	0,021
69	0,417	0,074	0,305
70	0,058	0,107	0,041
71	0,009	0,014	0,003
72	0,239	0,210	0,049
73	0,206	0,214	0,065
74	0,055	0,021	0,090
75	0,336	0,060	0,137
76	0,224	0,091	0,025
77	0,390	0,441	0,371
78	0,158	0,174	0,238
79	0,151	0,027	0,073
80	0,113	0,112	0,114
81	0,145	0,013	0,054
82	0,001	0,015	0,038
83	0,009	0,050	0,005
84	0,050	0,144	0,016
85	0,071	0,132	0,032
86	0,119	0,162	0,001
87	0,010	0,157	0,031
88	0,074	0,031	0,095
89	0,004	0,028	0,001
90	0,047	0,066	0,003
91	0,016	0,101	0,011
92	0,172	0,007	0,306
93	0,256	0,361	0,397
94	0,187	0,144	0,054
95	0,442	0,573	0,437
96	0,020	0,009	0,029
97	0,076	0,059	0,077
98	0,022	0,030	0,179
99	0,054	0,052	0,179
100	0,330	0,229	0,005
Δ_{ср}	0,132	0,112	0,092

Из данных таблицы 9 видны, что средняя разность для алгоритма ПОБ составил 0,132, для алгоритма ПАБ – 0,112, для алгоритма АП по Кемени – 0,092. По полученным значениям можно сделать вывод, что наиболее

устойчивым к изменению вида закона распределения оказался алгоритм на основе АП по Кемени.

Таким образом, самым робастным алгоритмом по трем показателям (пороговая точка, функция влияния, чувствительность к виду закона распределения) является алгоритм на основе АП по Кемени.

3.3.3 Результаты исследования возможности возникновения парадоксов

В ходе эксперимента для контроля возможности возникновения парадоксов каждый алгоритм рассматривался в индивидуальном порядке.

Для проверки возникновения парадокса множественности инициализировался счетчик, который срабатывал каждый раз, когда результирующих интервалов оказывалось несколько. Результаты показали, что данный парадокс возникает только при использовании алгоритма ПЮБ, причем частота его появления составила 80 %.

Для проверки возникновения парадокса получения результирующего интервала с увеличенной неопределенностью инициализировался счетчик, который срабатывал каждый раз, когда неопределенность результирующего интервала оказывалась больше средней неопределенности исходных интервалов. В результате было выявлено, что данный парадокс возникает только для алгоритма ПАБ, и частота его появления составляет в среднем 35 %.

Результаты показали, что алгоритм на основе АП по Кемени не имеет парадоксальных результатов.

3.3.4 Обобщение результатов

Обобщенные результаты экспериментального исследования по четырем критериям, полученные для трех исследуемых алгоритмов комплексирования, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты экспериментального исследования алгоритмов комплексирования

Алгоритм		П ОБ	ПАБ	АП по Кемени
Критерии				
Вычислительная сложность		P - класс	P - класс	NP - класс
Точность		$\xi_{\text{ср}} = 0,064$	$\xi_{\text{ср}} = 0,059$	$\xi_{\text{ср}} = 0,054$
Робастность	Пороговая точка	20 %	15 %	50 %
	Чувствительность к виду закона распределения	$\Delta_{\text{ср}} = 0,132$	$\Delta_{\text{ср}} = 0,112$	$\Delta_{\text{ср}} = 0,092$
Появление парадоксов		да	да	нет

Алгоритмы ПАБ и П ОБ имеют одинаковую вычислительную сложность P-класса, т.е. для решения задачи алгоритм не требует больших временных и пространственных затрат, в отличие от алгоритма АП по Кемени (NP-класс).

Значение $\xi_{\text{ср}}$ является показателем точности алгоритма: чем меньше $\xi_{\text{ср}}$, тем точнее алгоритм. Таким образом для алгоритма П ОБ данный показатель составил 0,064; для алгоритма ПАБ – 0,059 и АП по Кемени соответственно – 0,054. Следовательно, наиболее точным алгоритмом является алгоритм АП по Кемени.

Показателями оценки робастности являлись пороговая точка и чувствительность к виду закона распределения. Как видно из таблицы 10 пороговая точка для алгоритма П ОБ составляет 20 % – это говорит о том, что данный алгоритм допускает наличие трех выбросов. Для алгоритма ПАБ пороговая точка составила 15 %, т.е. данный алгоритм допускает наличие двух выбросов. Алгоритм АП по Кемени оказался наиболее устойчивым к выбросам, т.к. пороговая точка составила 50 %.

Из данных таблицы 10 видно, что средняя разность между измеренными значениями, распределенными по нормальному и равномерному законам распределения для алгоритма П ОБ составил 0,132, для алгоритма ПАБ – 0,112, для алгоритма АП по Кемени – 0,092. Таким образом, наиболее устойчивым к

изменению вида закона распределения является алгоритм на основе АП по Кемени. В результате, можно сделать вывод, что самым робастным алгоритмом по трем показателям (пороговая точка, функция влияния, чувствительность к виду закона распределения) является алгоритм на основе АП по Кемени.

По результатам оценки возможности возникновения парадоксов алгоритм на основе АП по Кемени исключает возможность их возникновения, в отличие от алгоритмов ПОБ и ПАБ.

Таким образом, точным, робастным, исключаящим парадоксы алгоритмом является алгоритм агрегирования предпочтений на основе правила Кемени, а значит можно сделать вывод о том, что наиболее предпочтительным для использования в БСС является алгоритм агрегирования предпочтений на основе правила Кемени, который на этом основании может быть рекомендован к применению в БСС для получения результата измерений сенсоров с повышенной точностью.

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 потенциальных потребителей научной разработки необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование рынка методов комплексирования интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях представлена на рисунке 17.







		Методы комплексирования интервальных данных		
		ПОБ	ПАБ	АП по Кемени
Отрасль	Сельское хозяйство			
	Экология и чрезвычайные ситуации			
	Системы безопасности и оборона			

Рисунок 17 – Карта сегментирования рынка

По итогам сегментирования определены основные сегменты данного рынка. Как видно из рисунка, методы комплексирования интервальных данных по правилу Кемени не выявляют высокой конкуренции. Внедрение данного метода на рынок возможно путем публикаций научных статей в журналах.

4.2 Анализ конкурентных технических решений

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

Таким образом, конкурентоспособность метода по правилу Кемени 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 возможности 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 11, переходят к выявлению соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого были построены интерактивные матрицы, приведенные в приложении Б.

После проведения анализа приведенных в приложении Б таблиц, была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице В.1, которая помогает скорректировать направление реализации проекта.

Таблица 11 – 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 НИИ 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 12.

Для данной матрицы наиболее желательным вариантом решения оказался вариант 1.

Таблица 12 – 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	Вычислительная сложность	Робастность	Точность
Г. Форматы сохранения информации	.xls / .xlsx	.txt	.doc / .docx
Д. Среда разработки	LabVIEW	C++	PHP
Е. Факторы, влияющие на сенсор	Температура	Влажность	Давление и др.

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 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
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	
Проектирование	9	Систематизация и оформление информации	НР, С
	10	Проектирование методов комплексирования интервальных данных	
Реализация	11	Разработка пользовательского интерфейса	С
	12	Реализация методов комплексирования интервальных данных	
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:

$$t_{ож i} = \frac{3t_{мин i} + 2t_{макс i}}{5}, \quad (14)$$

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

$t_{макс i}$ – 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.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i}, \quad (15)$$

где $t_{ож i}$ – 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 Г. На основании таблицы Г.1 был построен календарный план-график, приведенный в таблице Д.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 кафедрой систем управления и мехатроники.

Расчет материальных затрат, представленный в таблице 14, осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{рас}xi}, \quad (16)$$

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

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

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемого ресурса;

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы Z_m , руб.
Заправка картриджа	шт.	1	300	300
Пачка бумаги формата А4	шт.	1	260	260
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 14 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:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (17)$$

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

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

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (18)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (19)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

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

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

Для расчета действительного годового фонда рабочего времени была заполнена таблица 15.

Таблица 15 – 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:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (20)$$

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

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

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

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

В свою очередь тарифная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{тс} = T_{ci} \cdot k_T, \quad (21)$$

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 16.

Таблица 16 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	k_T	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, 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:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (22)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 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 17, определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (23)$$

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

Таблица 17 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$Z_{\text{внеб}}$, 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:

$$Z_{\text{накл}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (24)$$

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

Были получены следующие значения:

– $Z_{\text{накл(НР)}} = 202,86$ руб.;

– $Z_{\text{накл(С)}} = 1374,52$ 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 НИИ представлено в таблице 18.

Таблица 18 – 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (25)$$

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 19, можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (26)$$

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

b_i – экспериментально установленная бальная оценка варианта разработки.

Таблица 19 – 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 20.

Таблица 20 – 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 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий в которых будет реализовываться разработка, полученная в ходе написания ВКР, а именно, методов комплексирования интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях, 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 сенсоров 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 Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Для выбора факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [27].

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 21.

Таблица 21 – Опасные и вредные факторы при выполнении работ комплексирования интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Реализация методов комплексирования интервальных данных для повышения точности сенсоров в беспроводных сенсорных сетях	1. Отклонение показателей микроклимата; 2. Повышенная напряженность электромагнитного поля; 3. Превышение уровня электромагнитных излучений; 4. Недостаток естественного освещения; 5. Недостаточная освещенность рабочей зоны.	1. Электрический ток; 2. Опасность возникновения пожара.	– Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [28]; – Параметры электромагнитного излучения устанавливаются СанПиН 2.2.4.1191-03 [29]; – СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы [30]; – Требования к естественному и искусственному освещению устанавливаются СП 52.13330.2011 [31]; – ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [32]; – ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования [33]; – НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [34]; – Трудовой кодекс РФ [35]; – СП 2.2.2.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту [36]; – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования [37].

Далее более подробно будут изучены выявленные вредные и опасные факторы. Каждый фактор рассматривается в последовательности: источник возникновения фактора; физико-химическая природа фактора; приведение

допустимых норм с необходимой размерностью; предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные) для минимизации воздействия фактора.

5.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. 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 СанПиН 2.2.4.548 [28], предоставлены в таблице 22, а допустимые величины показателей приведены в таблице 23.

Таблица 22 – 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

Таблица 23 – 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

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.

5.1.2 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 персональными электронно-вычислительными машинами (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 [29].

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 24.

Таблица 24 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах [30].

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 В

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.

5.1.3 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.

Освещённость – физическая величина, характеризующая освещение поверхности, создаваемое световым потоком, падающим на эту поверхность. Освещённость измеряется в Люксах (СИ) и обозначают её буквой E.

Так как работа инженера-метролога подразумевает зрительный тип работы, то организация правильного освещения имеет значительное место. Пренебрежение данным фактором может привести к профессиональным болезням зрения. Работая при освещении плохого качества или низких уровней, люди могут ощущать усталость глаз и переутомление, что приводит к снижению работоспособности. В ряде случаев это может привести к головным болям. Причинами во многих случаях являются слишком низкие уровни освещенности, слепящее действие источников света и соотношение яркостей, которое недостаточно хорошо сбалансировано на рабочих местах. Головные боли также могут быть вызваны пульсацией освещения, что в основном является результатом использования электромагнитных пускорегулирующих аппаратов для газоразрядных ламп, работающих на частоте 50 Гц.

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

Работа с приборами относится к зрительным работам средней точности для помещений жилых и общественных зданий. Согласно СП 52.13330.2011 [31], такие помещения должны удовлетворять требованиям, указанным в таблице 25.

Таблица 25 – Требования к освещению помещений жилых и общественных зданий при зрительной работе средней точности

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Относительная продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение		Естественное освещение	
					Освещённость на рабочей поверхности от системы общего освещения, лк	Коэффициент пульсации освещённости К _п , %, не более	КЕО е _н , %, при	
							Верхнем или комбинированном	Боковом
Высокой точности	Более 0,5	В	1	Не менее 70	150	20	2,0	0,4
			2	Менее 70	100	20	2,0	0,5

5.2 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Необходимо последовательно рассмотреть, как проектируемое решение и используемые для его создания вещества и материалы будут влиять на атмосферу, гидросферу и литосферу и предложить решения по обеспечению экологической безопасности.

В связи с тем, что основным средством работы является 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. люминисцентные лампы), неисправное электрооборудование, коробки от техники, использованная бумага. Утилизация отходов печати вместе с бытовым мусором происходит в обычном порядке.

Утилизация электрических приборов осуществляется сотрудниками университета и предусматривает следующую поэтапность:

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

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

3 Непосредственно утилизация измерительной техники с полным демонтажем устройств на составляющие детали с последующей сортировкой по видам материалов и их дальнейшей передачей на перерабатывающие заводы.

5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном подразделе рассматриваются вероятные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Чрезвычайные ситуации (ЧС) могут быть техногенного, природного, биологического, социального или экологического характера.

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. Разработать порядок действия в результате возникновения ЧС и меры по ликвидации её последствий.

Наиболее характерной ЧС для данного производственного помещения является пожар. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004 [32] и ГОСТ 12.1.010 [33].

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 [34] производства подразделяются по пожарной и взрывной опасности на категории А, Б, В, Г, Д.

Помещение 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.

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

В производственных помещениях должно быть не менее двух эвакуационных выходов. Здание корпуса 10, в котором располагается аудитория, соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а также установлен план эвакуации с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу.

На рисунке 18 представлен план эвакуации при возникновении пожара и других ЧС.



Рисунок 18 – План эвакуации (второй этаж)

5.4 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.

5.4.1 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 [35].

5.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

В данном пункте приводятся эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.

Основным объектом в производственных условиях является рабочее место, представляющее собой в общем случае пространство, в котором может находиться человек при выполнении производственного процесса.

Рабочее место пользователя 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 [36].

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 обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным 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 [37].

Заключение

Для решения проблемы нахождения значения измеряемой величины на основании неточных данных, предоставляемых сенсорами в БСС, были исследованы алгоритмы комплексирования интервальных данных на основе одобрительного голосования по правилам абсолютного большинства и относительного большинства, а также на основе агрегирования предпочтений по правилу Кемени.

Алгоритмы на основе одобрительного голосования по правилам абсолютного большинства и относительного большинства были реализованы программно. Был сформирован набор критериев для оценки исследуемых алгоритмов (вычислительная сложность, точность, робастность, возможность возникновения парадоксов). Для экспериментальных исследований алгоритмов в графической среде LabVIEW была разработана программа Fusion algorithm, позволяющая оценить точность, робастность, возможность возникновения парадоксов исследуемых алгоритмов.

Результаты показали, что наименьшей временной сложностью характеризуются алгоритмы на основе правил относительного большинства и абсолютного большинства. Наиболее точным, робастным, исключаящим парадоксы является алгоритм агрегирования предпочтений на основе правила Кемени.

Таким образом, алгоритм комплексирования на основе агрегирования предпочтений по правилу Кемени является наилучшим по трем критериям, хотя и имеет наибольшую временную сложность. Однако поскольку процедуру комплексирования измерительных данных в БСС не предполагается использовать в реальном времени, а алгоритм агрегирования предпочтений по правилу Кемени выполняется за приемлемое для поставленной задачи время (2-3 с), он может быть рекомендован к использованию для нахождения результата измерений сенсоров в БСС с повышенной точностью.

Список публикаций студента

1 Bauer E. S., Galsanova L. V. Design and implementation of program for data acquisition and processing in sensor networks with temperature sensors // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции (27–30 мая 2015 г.) / под ред. А.В. Юрченко; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 234-238.

2 Бауэр Е. С., Галсанова Л. В. Исследование теплообмена отапливаемого помещения с использованием технологии сенсорных сетей // Материалы 54-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2016: Информационные технологии / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2016. – С. 192.

3 Bauer E. S., Galsanova L. V. Measurement of environmental parameters using wireless sensor network technology based on NI myRIO platform // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии». Томск, 7-11 ноября 2016 г. – 2017 – Томск: Изд-во ТПУ. – Т. 1 – 323-324 с.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Muravyov S. V., Khudonogova L. I., Marinushkina I. A. Representation of interval data by weak orders yields robustness of the data fusion outcomes // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2016. – N 1. – P. 360-365.
- 2 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.
- 3 Nielsen H. S. Determining consensus values in interlaboratory comparisons and proficiency testing // *Proceedings of NCSL International Workshop and Symposium, Tampa, Florida, USA*. – 2003. – P. 1-16
- 4 Brams S. J. Approval Voting // S. J. Brams, P. C. Fishburn. – Springer, 2nd edition, 2010. – 200 p.
- 5 Parhami B. Distributed Interval Voting with Node Failures of Various Types // *Proc 12th IEEE Workshop on Dependable Parallel, Distributed and Network-Centric Systems DPDNS '07 Long Beach, California USA*. – 2007. – P. 1-7.
- 6 Brams S. J., Fishburn P. C. Going from theory to practice: the mixed success of approval voting // *Social Choice and Welfare*. – 2005. – N 25. – P. 457-474.
- 7 Eyal B., Nitzan S. Approval Voting Reconsidered // *Economic Theory* 26. – 2005. – N 3. – P. 619-628
- 8 Кичмаренко О. Д. Теория принятия решений. Раздел: Теория голосования: учебно-методическое пособие / О. Д. Кичмаренко, А. П. Огуленко. – Одесса: Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова, 2013. – 52 с.
- 9 Типы избирательных систем. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://all-politologija.ru/knigi/politologiya-uchebnoe-posobie-dlya-vuzov->

krajterman/tipi-izbiratelnix-sistem, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 25.02.2017).

10 Muravyov S. V. Ordinal measurement, preference aggregation and interlaboratory comparisons // Measurement. – 2013. – N 8. – P. 2927-2935.

11 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

12 Оценка сложности алгоритмов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/104219/>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 05.03.2017).

13 Сложностные классы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.discrete-mathematics.org>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 07.03.2017).

14 Лекция 13: Точки роста. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/1859/402/lecture/9264>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 10.03.2017).

15 Rousseeuw P.J., Croux C. Alternatives to the Median Absolute Deviation // Journal of the American Statistical Association. – 1993. – N 424. – P. 73-83

16 Resistant statistics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://empslocal.ex.ac.uk/people/staff/dbs202/cag/courses/MT37C/course/node13.html>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 27.03.2017).

17 Шуленин В. П. Робастные методы математической статистики / В. П. Шуленин. – Томск: Изд-во НТЛ, 2016. – 260 с.

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

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

20 ГОСТ Р 54500.3.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/Дополнение 1:2008. Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло официальное издание. – М.: Стандартиформ, 2012. – 82 с.

21 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.

22 Интеллектуальные беспроводные сенсорные сети. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.meshlogic.ru/technology.html>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 25.04.2017).

23 Зеленин А. Н., Власова В. А. Беспроводные сенсорные сети как часть инфокоммуникационной структуры // Научные технологии в инфокоммуникациях: обработка и защита информации: коллективная монография. – 2013. – С. 184-193.

24 Новый этап в развитии беспроводных сетей датчиков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dju-com.org/web00/dju-ru/?p=265>, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 27.04.2017).

25 Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey // Computer Networks. – 2002. – N 38. – P. 393–422

26 Преимущества применения сенсорных сетей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ipmce.ru/img/release/is_sensor.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – (Дата обращения 30.04.2017).

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

28 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.

29 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Минздрав России, 2003. – 39 с.

30 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.

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

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

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

34 Нормы пожарной безопасности: НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2003. – 26 с.

35 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ. Официальный текст. – М.: Пропаганда: Омега-Л, 2002. – 176 с.: ил. – (Российская правовая библиотека).

36 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.

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

Приложение А

(обязательное)

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:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (A1)$$

где B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Таблица А.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}
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
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 Б

(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 Б.1 – Сильные стороны и возможности проекта

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

Таблица Б.2 – Сильные стороны и угрозы проекта

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

Таблица Б.3 – Слабые стороны и возможности проекта

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

Таблица Б.4 – Слабые стороны и угрозы проекта

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

Приложение В
(обязательное)
SWOT-анализ

Таблица В.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 повышения точности сенсоров используемым методом 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 Г

(обязательное)

Временные показатели проведения разработки

Таблица Г.1 – Временные показатели проведения разработки

№	Содержание работ	Трудоемкость			Длительность в рабочих днях, T_p	Длительность в календарных днях, T_{ki}
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{ож i}$		
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 комплексирования интервальных данных	10	12	10,8	5,4 (4 ч руководителя)	8
11	Разработка пользовательского интерфейса	4	6	4,8	4,8	7
12	Реализация методов комплексирования интервальных данных	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 Д

(обязательное)

Календарный план-график

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

Таблица Д.1 – Календарный план-график

№	Содержание работ	Длительность в календарных днях, $T_{ки}$	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 комплексирования интервальных данных	8								▨	■	■	■	■	■
11	Разработка пользовательского интерфейса	7									■	■	■	■	■
12	Реализация методов комплексирования интервальных данных	20										■	■	■	■
13	Обработка результатов	3												▨	■
14	Заключение	4												■	▨