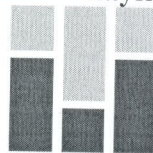


Министерство образования и науки Российской Федерации



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



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

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Геометрический подход к сравнительному анализу методов агрегирования предпочтений |

УДК 519.812.4:681.2.082

Студент

| Группа | ФИО        | Подпись            | Дата     |
|--------|------------|--------------------|----------|
| 8ГМ51  | Д.Д. Гариф | <i>[Signature]</i> | 19.06.17 |

Руководитель

| Должность          | ФИО           | Ученая степень, звание       | Подпись            | Дата     |
|--------------------|---------------|------------------------------|--------------------|----------|
| Профессор каф. СУМ | С.В. Муравьев | Доктор техн. наук, профессор | <i>[Signature]</i> | 19.06.17 |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность               | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись            | Дата       |
|-------------------------|------------------|------------------------|--------------------|------------|
| Доцент каф. менеджмента | В.Ю. Конотопский | Канд. эконом. наук     | <i>[Signature]</i> | 26.06.2017 |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность           | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись            | Дата     |
|---------------------|--------------|------------------------|--------------------|----------|
| Доцент каф. ЭБЖ ИНК | В.Н. Извеков | Канд. техн. наук       | <i>[Signature]</i> | 07.06.17 |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой       | ФИО        | Ученая степень, звание | Подпись            | Дата      |
|---------------------|------------|------------------------|--------------------|-----------|
| Заведующий каф. СУМ | В.Е. Губин | Канд. техн. наук       | <i>[Signature]</i> | 19.06.17. |

Томск – 2017 г.

## Планируемые результаты обучения по направлению 27.04.01

### «Стандартизация и метрология»

| Код результата                      | Результат обучения (выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон                                                                                                               |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                            |
| P1                                  | Применять современные базовые и специальные естественнонаучные, математические и инженерные знания для решения комплексных задач метрологического обеспечения, контроля качества, технического регулирования и проверки соответствия с использованием существующих и новых технологий, и учитывать в своей деятельности экономические, экологические аспекты и вопросы энергосбережения                                 | Требования ФГОС (ОК-12, 13, 15, 16, 19; ПК- 17, 18, 19, 21, 22, 26). Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI    |
| P2                                  | Выполнять работы по метрологическому обеспечению и техническому контролю, определять номенклатуру измеряемых и контролируемых параметров, устанавливать оптимальные нормы точности и достоверности контроля, выбирать средства измерений и контроля, предварительно оценив экономическую эффективность техпроцессов, кроме того, уметь принимать организационно-управленческие решения на основе экономического анализа | Требования ФГОС (ОК-5, ПК-3, 4, 8, 12, 23, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI                    |
| P3                                  | Выполнять работы в области стандартизации и сертификации: по созданию проектов стандартов, методических и нормативных материалов и технических документов, , участвовать в проведении сертификации продукции, услуг, систем качества и систем экологического управления предприятием, участвовать в аккредитации органов по сертификации, измерительных и испытательных лабораторий                                     | Требования ФГОС (ОК-17, 19; ПК-1, 6, 7, 8, 11, 14, 16, 17, 18, 21, 24). Критерий 5 АИОР (п.1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P4                                  | Выполнять работы в области контроля и управления качеством: участвовать в оперативной работе систем качества, анализировать оценку уровня брака и предлагать мероприятия по его предупреждению и устранению, участвовать в практическом освоении систем менеджмента качества                                                                                                                                            | Требования ФГОС (ОК-3, 9, 15, ПК-2, 5, 11, 12, 13, 15, 21). Критерий 5 АИОР (п. 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI            |
| P5                                  | Использовать базовые знаний в области экономики, проектного менеджмента и практики ведения бизнеса, в том числе менеджмента рисков и изменений, для ведения комплексной инженерной деятельности; проводит анализ затрат на обеспечение требуемого качества и деятельности подразделения, проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных решений                                                  | Требования ФГОС (ОК-8, 9, 18, ПК-10, 25). Критерий 5 АИОР (п.2.1, 1.3, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI                          |
| <b>Универсальные компетенции</b>    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                            |
| P6                                  | Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Требования ФГОС (ОК-3, 4, 5). Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI                                                |
| P7                                  | Эффективно работать индивидуально, в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, а также руководить командой, демонстрировать ответственность за результаты работы                                                                                                                                                                                                                                            | Требования ФГОС (ОК-3, 18, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI                                           |
| P8                                  | Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию, представлять и защищать результаты инженерной деятельности                                                                                                                                                                                                                                            | Требования ФГОС (ОК-17,19). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI                                                  |

| Код результата | Результат обучения (выпускник должен быть готов)                                                                                                                               | Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон                                                                         |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P9             | Ориентироваться в вопросах безопасности и здравоохранения, юридических и исторических аспектах, а также различных влияниях инженерных решений на социальную и окружающую среду | Требования ФГОС (ОК-1, 13, 14, ПК-26). Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI |
| P10            | Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам инженерной деятельности                                                                                     | Требования ФГОС (ОК-6, 7). Критерий 5 АИОР (п.1.6, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI        |

Министерство образования и науки Российской Федерации



Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт – Кибернетики  
Направление подготовки (специальность) – Стандартизация и метрология  
Кафедра – Систем управления и мехатроники

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись) (Дата) В.Е. Губин  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

| Группа | ФИО                    |
|--------|------------------------|
| 8ГМ51  | Гариф Дайане Дамировне |

Тема работы:

Геометрический подход к сравнительному анализу методов агрегирования предпочтений

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№ 1653/с от 13.03.2017 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

19.06.2017 г.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

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

1 Отчет по межлабораторным сличительным испытаниям средств измерений теплофизических и температурных величин ФБУ «Томский ЦСМ».  
2 РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br>(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) | 1 Агрегирование предпочтений.<br>1.1 Основные правила агрегирования предпочтений.<br>1.2 Правило Кемени.<br>1.3 Алгоритм определения ранжирования Кемени.<br>2 Геометрический подход Саари к анализу методов агрегирования предпочтений.<br>2.1 Использование геометрии для представления профиля предпочтения.<br>2.2 Применение геометрического представления профиля предпочтения к правилам агрегирования предпочтений.<br>2.3 Полное профильное пространство при наличии трех кандидатов.<br>2.4 Достоинства и недостатки геометрического подхода к агрегированию предпочтений.<br>3 Геометрические аспекты обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений.<br>3.1 Постановка задачи.<br>3.2 Инранжирования.<br>3.3 Свойства пространства инранжирований.<br>4 Практическое применение обработки интервальных данных методом агрегирования предпочтений.<br>4.1 Проблема обработки данных межлабораторных сличений.<br>4.2 Метод обработки данных сличений на основе агрегирования предпочтений.<br>4.3 Обработка результатов реальных межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений.<br>5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.<br>6 Социальная ответственность |                               |                |             |
| <b>Перечень графического материала</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                               |                |             |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
| <b>Раздел</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>Консультант</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                               |                |             |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | В.Ю. Конотопский                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                               |                |             |
| Социальная ответственность                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | В.Н. Извеков                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                               |                |             |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
| Геометрические аспекты обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
| <b>Задание выдал руководитель:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
| <b>Должность</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>ФИО</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Профессор каф. СУМ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | С.В. Муравьев                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Доктор техн. наук, профессор  |                |             |
| <b>Задание принял к исполнению студент:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                               |                |             |
| <b>Группа</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>ФИО</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>Подпись</b>                | <b>Дата</b>    |             |
| 8ГМ51                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Гариф Дайана Дамировна                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                               |                |             |

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

Студенту:

| Группа | ФИО                    |
|--------|------------------------|
| 8ГМ51  | Гариф Дайане Дамировне |

|                     |              |                           |                             |
|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| Институт            | Кибернетики  | Кафедра                   | СУМ                         |
| Уровень образования | Магистратура | 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 |  |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                           |  |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  |  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|                                               |  |
|-----------------------------------------------|--|
| 1. Организация и планирование работ           |  |
| 2. Расчет сметы затрат на выполнение проекта  |  |
| 3. Оценка экономической эффективности проекта |  |
| 4. Оценка научно-технического уровня НИР      |  |

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

Линейный график проведения научного исследования

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность               | ФИО              | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. менеджмента | В.Ю. Конотопский | Канд. эконом. наук     |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                    | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 8ГМ51  | Гариф Дайана Дамировна |         |      |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО                    |
|--------|------------------------|
| 8ГМ51  | Гариф Дайане Дамировне |

| Институт            | Кибернетики  | Кафедра                   | СУМ                         |
|---------------------|--------------|---------------------------|-----------------------------|
| Уровень образования | Магистратура | Направление/специальность | Стандартизация и метрология |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|                                                                                                                                |                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Применение геометрического подхода к сравнительному анализу методов агрегирования предпочтений |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. Производственная безопасность</b><br>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Микроклимат;</li> <li>– напряженность зрения;</li> <li>– естественное и искусственное освещение;</li> <li>– шум;</li> <li>– электромагнитное излучение;</li> <li>– электрический ток.</li> </ul> <p>Разработка организационных и технических мер по нормализации уровней факторов и защите от их действия</p> |
| <b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны;</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <p>Утилизация отходов</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                            |
| <b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul> | Выбор и описание возможных ЧС;<br>типичная ЧС – пожар.<br>– Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;<br>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий        |
| <b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>                                             | –Определение районного коэффициента как нормы-льготы в рамках специальных правовых норм трудового законодательства;<br>– организационные мероприятия по организации рабочего места и режиму труда и отдыха |

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

**Задание выдал консультант:**

| Должность              | ФИО          | Ученая степень, звание   | Подпись | Дата |
|------------------------|--------------|--------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ЭБЖ<br>ИНК | В.Н. Извеков | Канд. техн. наук, доцент |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                    | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 8ГМ51  | Гариф Дайана Дамировна |         |      |

Министерство образования и науки Российской Федерации



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт – Кибернетики

Направление подготовки (специальность) – Стандартизация и метрология

Уровень образования – Магистратура

Кафедра – Систем управления и мехатроники

Период выполнения 2015-2017 учебные года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

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

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

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)                                               | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 22.10.2015    | Основные правила агрегирования предпочтений                                                         |                                    |
| 10.11.2015    | Правило Кемени. Алгоритм определения ранжирования Кемени                                            |                                    |
| 25.02.2016    | Геометрический подход Саари к анализу методов агрегирования предпочтений                            |                                    |
| 14.03.2016    | Использование геометрии для представления профиля предпочтения                                      |                                    |
| 01.04.2016    | Применение геометрического представления профиля предпочтения к правилам агрегирования предпочтений |                                    |
| 21.04.2016    | Полное профильное пространство при наличии трех кандидатов                                          |                                    |
| 15.09.2016    | Геометрические аспекты обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений           |                                    |
| 26.10.2016    | Инранжирования                                                                                      |                                    |
| 01.12.2016    | Свойства пространства инранжирований                                                                |                                    |
| 23.01.2017    | Проблема обработки данных межлабораторных сличений.                                                 |                                    |
| 16.02.2017    | Метод обработки данных сличений на основе агрегирования предпочтений                                |                                    |
| 10.03.2017    | Обработка результатов реальных межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений.         |                                    |
| 27.04.2017    | Анализ результатов                                                                                  |                                    |
| 12.05.2017    | Социальная ответственность                                                                          |                                    |

|            |                                                                 |  |
|------------|-----------------------------------------------------------------|--|
| 19.05.2017 | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение |  |
| 23.05.2017 | Оформление графического материала                               |  |
| 31.05.2017 | Оформление расчетно-пояснительной записки                       |  |

Составил преподаватель:

| Должность           | ФИО           | Ученая степень,<br>звание       | Подпись | Дата |
|---------------------|---------------|---------------------------------|---------|------|
| Профессор каф. КИСМ | С.В. Муравьев | Доктор техн.<br>наук, профессор |         |      |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Зав. кафедрой       | ФИО        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------|------------|---------------------------|---------|------|
| Заведующий каф. СУМ | В.Е. Губин | Канд. техн. наук          |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 137 с., 34 рис., 19 табл., 48 источников, 3 прил.

Ключевые слова: агрегирование предпочтений, интервальные данные, комплексирование интервальных данных, инранжирования, межлабораторные сличения.

Объектом исследования является геометрический подход к сравнительному анализу методов агрегирования предпочтений.

Цель работы – рассмотрение геометрических аспектов обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений, а также практическое применение метода агрегирования предпочтений к результатам межлабораторных сличений.

В процессе исследования были рассмотрены методы агрегирования предпочтений и применение геометрического подхода к стандартным правилам голосования. Рассмотрен метод комплексирования интервалов на основе их представления в виде ранжирований принадлежащих им дискретных значений и нахождения для них отношения консенсуса по правилу Кемени. Проведена обработка результатов межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений, после чего проведен сравнительный анализ результатов, полученных в рамках данной работы, и результатов, полученных организатором сличений.

В результате исследования была подтверждена целесообразность использования метода агрегирования предпочтений, а также его робастность по сравнению с другими методами.

Степень внедрения: метод агрегирования предпочтений рекомендуется к применению в области обработки интервальных данных результатов измерений с экспериментально определенными или заранее заданными значениями неопределенности.

Область применения: метрология, статистика, теория измерений.

## Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

**профиль предпочтения:** множество ранжирований при заданном количестве объектов и отношений предпочтения.

**комплексирование интервальных данных:** представление интервала ранжированием, т.е. отношением слабого порядка на вещественной числовой оси, на множестве дискретных значений, принадлежащем этому интервалу.

**интервальный граф:** граф пересечения множества интервалов на прямой.

**расширенная неопределенность:** произведение суммарной стандартной неопределенности и коэффициента охвата большего, чем число один.

## Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты.

1. ГОСТ Р ИСО 13528-2010. Статистические методы. Применение при экспериментальной проверке компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний.
2. ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности.
3. ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
4. ГОСТ 12.1.030–81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
5. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
6. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

## Оглавление

|                                                                                                         | С. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение                                                                                                | 15 |
| 1 Агрегирование предпочтений                                                                            | 16 |
| 1.1 Основные правила агрегирования предпочтений                                                         | 16 |
| 1.2 Правило Кемени                                                                                      | 26 |
| 1.3 Алгоритм определения ранжирования Кемени                                                            | 29 |
| 2 Геометрический подход Саари к анализу методов агрегирования предпочтений                              | 34 |
| 2.1 Использование геометрии для представления профиля предпочтения                                      | 34 |
| 2.2 Применение геометрического представления профиля предпочтения к правилам агрегирования предпочтений | 37 |
| 2.3 Полное профильное пространство при наличии трех кандидатов                                          | 42 |
| 2.4 Достоинства и недостатки геометрического подхода к агрегированию предпочтений                       | 45 |
| 3 Геометрические аспекты обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений             | 47 |
| 3.1 Постановка задачи                                                                                   | 47 |
| 3.2 Инранжирования                                                                                      | 50 |
| 3.3 Свойства пространства инранжирований                                                                | 55 |
| 4 Практическое применение обработки интервальных данных методом агрегирования предпочтений              | 62 |
| 4.1 Проблема обработки данных межлабораторных сличений                                                  | 62 |
| 4.2 Метод обработки данных сличений на основе агрегирования предпочтений                                | 66 |
| 4.3 Обработка результатов реальных межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений          | 73 |

|     |                                                                                             |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5   | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                             | 82  |
| 5.1 | Организация и планирование работ                                                            | 82  |
| 5.2 | Расчет сметы затрат на выполнение проекта                                                   | 88  |
| 5.3 | Оценка экономической эффективности проекта                                                  | 94  |
| 5.4 | Оценка научно-технического уровня НИР                                                       | 94  |
| 6   | Социальная ответственность                                                                  | 96  |
| 6.1 | Производственная безопасность                                                               | 97  |
| 6.2 | Экологическая безопасность                                                                  | 106 |
| 6.3 | Безопасность в чрезвычайных ситуациях                                                       | 106 |
| 6.4 | Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности                                 | 108 |
|     | Заключение                                                                                  | 112 |
|     | Список публикаций                                                                           | 113 |
|     | Список использованных источников                                                            | 114 |
|     | Приложение А Алгоритм 1                                                                     | 119 |
|     | Приложение Б Алгоритм 2                                                                     | 121 |
|     | Приложение В Geometric aspects of the processing interval data using preference aggregation | 122 |

## **Введение**

Как в теории, так и в практике измерений широко используется геометрическое описание результатов измерений – в виде интервалов, которые имеют экспериментально определенные или заранее заданные значения неопределенности. Кроме того, интервальное представление данных является типичной формой во многих областях, например, в распределенных вычислениях, базах данных, системах и сетях сбора данных.

Процедура комплексирования интервальных данных заключается в формировании такого интервала, который совместим с максимальным количеством исходных интервалов и с максимальной степенью правдоподобия содержит значение, которое может служить представителем всех этих интервалов. Примером использования процедуры комплексирования интервальных данных может служить обработка результатов межлабораторных сличений, основная задача которых заключается в установлении опорного значения измеряемой величины, которое наилучшим образом характеризует наибольшее согласованное подмножество результатов измерений.

В данной работе предлагается применение процедуры комплексирования данных, при которой каждый интервал на числовой вещественной оси представлен отношением слабого порядка – ранжированием – на множестве принадлежащих этому интервалу дискретных значений. Применение в качестве результата комплексирования наилучшего значения ранжирования консенсуса, определенного для множества ранжирований, который соответствует исходным интервалам, гарантирует высокую точность и робастность процедуры комплексирования интервальных данных.

Метод агрегирования предпочтений, представляющий результаты в виде ранжирований значений измеряемой величины, является перспективным для придания свойства робастности процедурам обработки данных межлабораторных сличений.

## 1 Агрегирование предпочтений

Говоря об агрегировании предпочтений, необходимо ввести понятие «ранжирование» (слабый порядок) как форму представления предпочтений, а также рассмотреть основные правила нахождения единственного ранжирования для заданных  $n$  альтернатив и  $m$  ранжирований. Агрегирование предпочтений подразумевает нахождение единственного ранжирования, правила его определения в теории голосования имеют эквивалентные формулировки [1].

### 1.1 Основные правила агрегирования предпочтений

#### 1.1.1 Отношение предпочтения

Для начала введем понятие отношения предпочтения. Для этого сформулируем следующую задачу: необходимо проранжировать некоторые объекты по степени проявления какого-либо признака, т.е. установить отношение предпочтения на множестве объектов. Будем рассматривать отношение предпочтения как специально построенное бинарное отношение, называемое слабым порядком.

Обозначим множество подлежащих сравнению объектов (альтернатив) как  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ . Тогда бинарным отношением  $\lambda$  будем называть отношение предпочтения на множестве  $A$ , когда

$$\lambda = \rho \cup \tau, \quad (1.1)$$

где  $\rho$  – отношение строгого предпочтения;

$\tau$  – отношения безразличия.

Т.е. бинарное отношение  $\lambda$  определяется как объединение двух отношений. Отношение строгого предпочтения  $\rho$  обладает следующими свойствами:

– антирефлексивность, т.е. ни один элемент  $A$  не находится в отношении  $\lambda$  с самим собой ( $\overline{a_i \rho a_i}$  для всех  $i$ );

– антисимметричность, т.е. две пары с противоположным порядком элементов принадлежат  $\lambda$  только в том случае, если эти элементы равны друг другу (для всех  $i, j$  из  $a_i \rho a_j$  и  $a_j \rho a_i$  следует  $a_i = a_j$ );

– транзитивность, т.е. отношение вместе с двумя смежными парами содержит их композицию (для всех  $i, j, k$  из  $a_i \rho a_j$  и  $a_j \rho a_k$  следует  $a_i \rho a_k$ ).

Отношение безразличия  $\tau$  имеет следующие свойства:

– рефлексивность, т.е. каждый элемент  $A$  находится в отношении  $\lambda$  с самим собой ( $a_i \tau a_i$  для всех  $i$ );

– симметричность, т.е. отношение вместе с каждой упорядоченной парой содержит пару с противоположным порядком элементов (для всех  $i, j$  из  $a_i \tau a_j$  следует  $a_j \tau a_i$ ).

Таким образом, если  $a_i$  строго предпочтительней  $a_j$ , то будем записывать  $a_i \rho a_j$  или  $a_i \succ a_j$ ; если между  $a_i$  и  $a_j$  существует отношение безразличия, будем использовать обозначение  $a_i \tau a_j$  или  $a_i \sim a_j$ .

В дальнейшем будем трактовать отношение безразличия как эквивалентность, т.е. запись  $a_i \sim a_j$  означает, что альтернативы эквивалентны.

Исходя из представленных выше свойств  $\rho$  и  $\tau$ , можно говорить о том, что бинарное отношение  $\lambda$  – отношение предпочтения – обладает свойствами рефлексивности ( $a_i \lambda a_i$  для любых  $a_i \in A$ ), транзитивности (для всех  $i, j, k$  из  $a_i \lambda a_j$  и  $a_j \lambda a_k$  следует  $a_i \lambda a_k$ ) и полноты (для любых  $a_i, a_j \in A$  выполняется либо  $a_i \lambda a_j$ , либо  $a_j \lambda a_i$ ).

Обычно отношение предпочтения представляется в виде ранжирования объектов, имеющего вид цепочки

$$\lambda_k = (a_1 \succ a_2 \succ \dots \sim a_q \sim a_r \succ \dots \sim a_n), \quad (1.2)$$

но также возможна вертикальная форма записи ранжирований

$$\begin{pmatrix} a_2 \sim a_3 \\ a_4 \sim a_5 \\ a_1 \end{pmatrix}. \quad (1.3)$$

Отношение предпочтения  $\lambda$  может быть представлено матрицей размерности  $(n \times n)$ , называемой матрицей отношения и обозначаемой как  $R = [r_{ij}]$ . Столбцы и строки такой матрицы соответствуют объектам (альтернативам) из множества  $A$ , а ее элементы дают возможность отличать отношения  $\sim$ ,  $\succ$  и  $\prec$ , т.е. элемент  $r_{ij}$  может принимать следующие значения:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i \succ a_j \\ 0, & \text{если } a_i \sim a_j \\ -1, & \text{если } a_i \prec a_j \end{cases} \quad (1.4)$$

Нужно отметить, что матрица отношения антисимметрична, т.е.  $r_{ij} = -r_{ji}$  для всех  $i, j$ , а также транзитивна, т.к. из-за наличия свойства транзитивности отношения  $\lambda$ , при условии  $r_{ij} \geq 0$  и  $r_{jk} \geq 0$ ,  $r_{ik} \geq 0$  [2, 3]. Матрица отношений может быть представлена, например, в следующем виде:

$$[r_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

Допустим, что необходимо описать  $n$  объектов с использованием  $m$  отношений предпочтения. Тогда будем иметь множество ранжирований (отношений предпочтения)  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m-1}, \lambda_m\}$  на множестве  $n$  объектов  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n\}$ .

Тогда профилем предпочтения будем называть данное множество ранжирований  $\Lambda$  для заданных  $n$  и  $m$ . Например, при  $m = 5$  и  $n = 5$  можно получить следующий профиль предпочтения:

$$\begin{aligned} \lambda_1: & a_1 \succ a_2 \sim a_5 \succ a_6 \succ a_4 \succ a_3 \\ \lambda_2: & a_5 \succ a_6 \succ a_2 \succ a_3 \sim a_4 \succ a_1 \\ \lambda_3: & a_3 \succ a_1 \succ a_6 \sim a_4 \succ a_2 \succ a_5 . \\ \lambda_4: & a_3 \succ a_6 \succ a_1 \succ a_2 \sim a_4 \succ a_5 \\ \lambda_5: & a_6 \succ a_1 \succ a_2 \sim a_3 \succ a_4 \succ a_5 \end{aligned} \quad (1.6)$$

При учете того, что в каждом ранжировании порядок предпочтения ориентирован всегда слева направо, то возможна более компактная запись профиля:

$$\begin{array}{cccccc}
 1 & 2 \sim 5 & 6 & 4 & 3 & \\
 5 & 6 & 2 & 3 \sim 4 & 1 & \\
 3 & 1 & 6 \sim 4 & 2 & 5 & . \\
 3 & 6 & 1 & 2 \sim 4 & 5 & \\
 6 & 1 & 2 \sim 3 & 4 & 5 & 
 \end{array} \quad (1.7)$$

Рассмотрим еще один пример [4]. Имеем некоторый объект исследования, который можно охарактеризовать  $m$  свойствами. В нашем случае в роли объекта выступает производственная площадь, а характеризующими ее показателями являются влажность ( $\lambda_1$ ), температура ( $\lambda_2$ ), скорость движения воздуха ( $\lambda_3$ ) и наличие опасного производственного оборудования ( $\lambda_4$ ). На рисунке 1.1 визуальное представление объекта и его показателей.

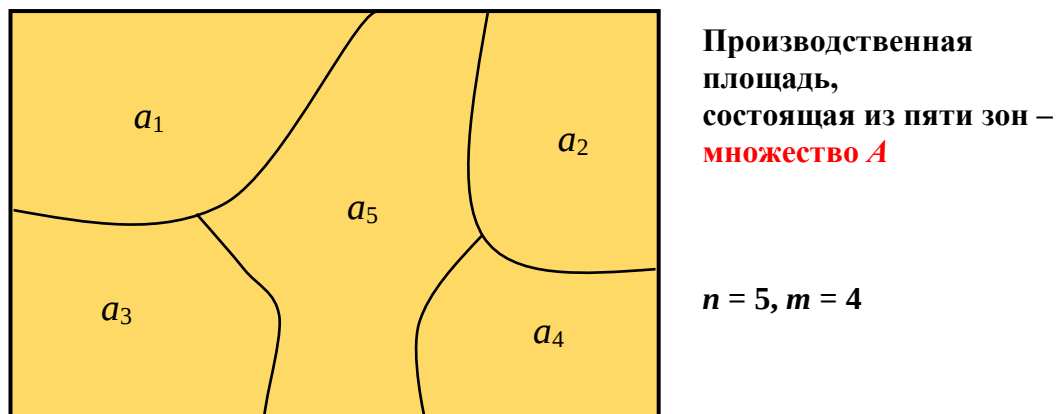


Рисунок 1.1 – Пример профиля предпочтения

На рисунке 1.1 показано, что площадь состоит из  $n$  зон, для каждой из которых имеется свой собственный набор проявления  $m$  свойств. Тогда мы можем получить профиль предпочтения, т.е. множество ранжирований  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$  пяти зон по четырем заданным свойствам:

$\lambda_1$ :  $a_2 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_3 \succ a_5$  – по влажности;

$\lambda_2$ :  $a_5 \succ a_4 \succ a_1 \succ a_3 \sim a_2$  – по температуре;

$\lambda_3$ :  $a_3 \sim a_4 \succ a_5 \succ a_1 \sim a_2$  – по скорости движения воздуха;

$\lambda_4$ :  $a_5 \succ a_1 \sim a_3 \succ a_2 \sim a_4$  – по наличию опасного производственного оборудования.

Далее можно ввести понятие «агрегирование предпочтений».

Агрегированием  $m$  предпочтений, которые заданы на множестве  $n$  объектов, будем называть определение единственного отношения предпочтения  $\beta$ , обеспечивающего наилучший компромисс между ранжированиями в исходном профиле. Такое единственное ранжирование  $\beta$  – ранжирование консенсуса.

Впервые математический подход к проблеме агрегирования предпочтений был рассмотрен в рамках теории социального выбора [3, 5, 6] как проблема голосования или группового решения, где множеству  $A$  сопоставляется множество кандидатов  $n$ , ранжируемых избирателями количества  $m$ . Тогда проблемой голосования является нахождение такого кандидата из множества  $n$ , которому оказана наибольшая степень поддержки  $m$  избирателей.

Толкование понятия наилучшего компромисса дает определение содержанию каждого из правил нахождения ранжирования консенсуса для заданных  $n$  альтернатив и  $m$  ранжирований [1]. В следующем подразделе рассмотрены наиболее распространенные правила голосования (правила агрегирования предпочтений).

### 1.1.2 Правило простого большинства

Согласно правилу простого большинства, победителем голосования признается тот кандидат, который был поставлен большинством избирателей на первое место.

Применив правило простого большинства для профиля предпочтения (1.6), можно сделать следующие выводы. Исходя из самого профиля, за то, что кандидаты  $a_1$ - $a_6$  были поставлены на первое место, они получили следующие голоса:  $a_3$  получил 2 голоса;  $a_1$ ,  $a_5$  и  $a_6$  – по 1 голосу;  $a_2$  и  $a_4$  – по 0 голосов. Таким образом, победитель голосования по правилу простого большинства – кандидат

под номером 3. Ранжирование консенсуса, определенное с помощью данного правила, имеет следующий вид:

$$\beta = \{a_3 \succ a_1 \sim a_5 \sim a_6 \succ a_2 \sim a_4\}. \quad (1.8)$$

Определенное отношение консенсуса (1.8) вызывает противоречие, потому как из профиля предпочтения (1.6) мы видим, что кандидат под номером 6 был предпочтителен кандидату под номером 3 тремя избирателями из пяти. Следовательно, во втором туре голосования кандидат под номером 3 уступить кандидату под номером 6.

При использовании такого правила голосования остается неясность – какой из кандидатов займет второе место: кандидат под номером 1 был на первом месте один раз, на втором – два раза. Кандидат под номером 3 был на первом месте два раза, на втором – ни разу. Можно предположить, что кандидат под номером 1 должен оказаться на втором месте, однако при выборе между этими двумя кандидатами трое избирателей отдали предпочтение кандидату 3, а лишь двое – кандидату 1.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что далеко не всегда правилом простого большинства можно добиться корректного результата, в случае если число кандидатов  $n > 1$ .

### 1.1.3 Правило Борда

Правило Борда – система голосования, целью которой является более тщательный учет предпочтений избирателей при наличии множества кандидатов. Имеет широкое применение в современности. В 1784 г. Жан-Шарлем де Борда [7] был предложен принцип, согласно которому баллы каждой альтернативе назначаются в зависимости от ее расположения в ранжировании:  $n - 1$  балла за первое место,  $n - 2$  балла за второе место и т.д. до 1 балла за предпоследнее место и 0 баллов за последнее. Для каждой альтернативы производится суммирование баллов по каждому ранжированию, а место в отношении консенсуса для нее определяется полученной суммой.

Для удобства подсчета баллов по правилу Борда будем пользоваться электоральной матрицей  $S = [s_{ij}]$ , где

$$s_{ij} = \sum_{k=1}^m b_{ij}^k, \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (1.9)$$

Элементы матрицы  $b_{ij}^k$  принимают следующие значения:

$$b_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i^k \succ a_j^k \\ 1/2, & \text{если } a_i^k \sim a_j^k \\ 0, & \text{если } a_i^k \prec a_j^k \end{cases}. \quad (1.10)$$

Очевидное свойство матрицы  $S$  заключается в том, что  $s_{ij} + s_{ji} = m$ .

В качестве примера приведем электоральную матрицу для профиля (1.6), матрица представлена в таблице 1.1. Крайний правый столбец таблицы отражает сумму баллов, которые были получены альтернативой по правилу Борда в каждом ранжировании. Эта сумма рассчитывается путем сложения всех элементов соответствующей строки в электоральной матрице.

Таблица 1.1 – Электоральная матрица для профиля предпочтения (1.6)

|       | $a_1$ | $a_2$          | $a_3$          | $a_4$          | $a_5$          | $a_6$         | Счет Борда                        |
|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------------------|
| $a_1$ | 0     | 4              | 2              | 4              | 4              | 2             | <b>16</b>                         |
| $a_2$ | 1     | 0              | $2\frac{1}{2}$ | $3\frac{1}{2}$ | $3\frac{1}{2}$ | 1             | <b><math>11\frac{1}{2}</math></b> |
| $a_3$ | 3     | $2\frac{1}{2}$ | 0              | $3\frac{1}{2}$ | 3              | 2             | <b>14</b>                         |
| $a_4$ | 1     | $1\frac{1}{2}$ | $1\frac{1}{2}$ | 0              | 3              | $\frac{1}{2}$ | <b><math>7\frac{1}{2}</math></b>  |
| $a_5$ | 1     | $1\frac{1}{2}$ | 2              | 2              | 0              | 2             | <b><math>8\frac{1}{2}</math></b>  |
| $a_6$ | 3     | 4              | 3              | $4\frac{1}{2}$ | 3              | 0             | <b><math>17\frac{1}{2}</math></b> |

Исходя из данных таблицы 1.1, можно определить ранжирование консенсуса, полученное в соответствии с правилом Борда. Ранжирование имеет вид:

$$\beta = \{a_6 \succ a_1 \succ a_3 \succ a_2 \succ a_5 \succ a_4\}. \quad (1.11)$$

Полученное ранжирование (1.11) связано с противоречием, т.к. трое избирателей из пяти (большинство) предпочли кандидата  $a_3$  кандидату  $a_1$  ( $a_3 \succ a_1$ ) и кандидата  $a_4$  кандидату  $a_5$  ( $a_4 \succ a_5$ ), тогда как согласно полученному ранжированию консенсуса мнение противоположно. Таким образом, используя правило Борда можно также получить некорректные результаты голосования. Происхождение недостатков данного правила обусловлено, прежде всего, тем, что к объектам нечисловой природы (местам в порядке предпочтения) применяются арифметические операции [8].

#### 1.1.4 Правило Кондорсе

Данное правило было предложено в 1785 г. маркизом де Кондорсе. Кондорсе предложил сравнивать альтернативы с учетом полной ординалистской информации о предпочтениях избирателей [9]. Суть правила заключается в следующем: производится парное сравнение альтернатив, и предпочтительной является та, которую предпочли большинство избирателей, т.е.  $a_i \succ a_j$ , тогда и только тогда, когда  $s_{ij} > s_{ji}$  для всех  $i \neq j$ . Другими словами, если альтернатива  $a_i$  получает большинство голосов в парном сравнении со всеми другими альтернативами, то она становится победителем и называется альтернативой Кондорсе [1].

Построим электоральную матрицу для профиля (1.6), представленную в таблице 1.2, колонки которой содержат количество ничьих, побед и поражений каждого кандидата и обозначены соответственно символами  $\sim$ ,  $\succ$  и  $\prec$ .

Таблица 1.2 – Результаты парных сравнений кандидатов профиля (1.6)

| Кандидат | $\succ$ | $\prec$ | $\sim$ |
|----------|---------|---------|--------|
| $a_1$    | 3       | 2       | 0      |
| $a_2$    | 2       | 2       | 1      |
| $a_3$    | 3       | 1       | 1      |

Продолжение таблицы 1.2

|       |   |   |   |
|-------|---|---|---|
| $a_4$ | 1 | 4 | 0 |
| $a_5$ | 0 | 5 | 0 |
| $a_6$ | 5 | 0 | 0 |

Таким образом, применив правило Кондорсе к профилю предпочтения (1.6), получили ранжирование консенсуса, имеющее вид:

$$\beta = \{a_6 \succ a_3 \succ a_1 \succ a_2 \succ a_4 \succ a_5\}. \quad (1.12)$$

В отличие от правил простого большинства и Борда, правило Кондорсе использует данные о всех отношениях предпочтения, содержащихся в профиле. Именно поэтому это правило признано как самое справедливое правило голосования [7]. Однако, имеется и существенный недостаток: может в принципе не иметься альтернативы Кондорсе.

Самим Кондорсе была выявлена возможность возникновения так называемого парадокса голосования Кондорсе, т.е. ситуации, при которой отношение консенсуса не является транзитивным. Т.е. возможно такое, что  $a_i \succ a_j$  и  $a_j \succ a_k$ , в то время как  $a_k \succ a_i$ . Иными словами, не всегда транзитивность каждого входящего в профиль предпочтения ранжирования является гарантией транзитивности профиля предпочтения в целом. Данный парадокс был описан в своей работе [10] маркизом де Кондорсе в 1785 г.

Приведем пример, описывающий вышепредставленный комментарий. Допустим, имеется следующий профиль предпочтения:

$$\begin{aligned} a_1 &\succ a_2 \succ a_3 \\ a_2 &\succ a_3 \succ a_1. \\ a_3 &\succ a_1 \succ a_2 \end{aligned} \quad (1.13)$$

Для того, чтобы применить к профилю (1.13) правило Кондорсе, необходимо для начала построить электоральную матрицу, представленную в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Электоральная матрица для профиля (1.13)

|       | $a_1$ | $a_2$ | $a_3$ |
|-------|-------|-------|-------|
| $a_1$ | 0     | 2     | 1     |
| $a_2$ | 1     | 0     | 2     |
| $a_3$ | 2     | 1     | 0     |

Из таблицы 1.3 видно, что в роли победителя может выступать каждая из альтернатив. Такая ситуация называется циклической неопределенностью (циклом Кондорсе), а в графе отношения консенсуса, представленном на рисунке 1.2, показан ориентированный цикл, в котором содержатся все три альтернативы.

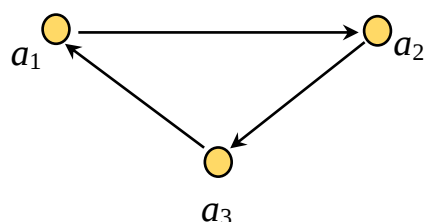


Рисунок 1.2 – Граф отношения консенсуса по правилу Кондорсе

Кеннет Эрроу в 1951 г. опубликовал теорему о невозможности [7, 11], в которой было показано, что ни одним из правил голосования не может быть обеспечено выполнение следующих аксиом (свойств) одновременно:

- единодушия, т.е. если объект  $a_i \succ a_j$  во всех ранжированиях  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m-1}, \lambda_m$ , то отношение  $a_i \succ a_j$  имеет место быть и в отношении консенсуса  $\beta$ ;
- отсутствия диктатора, т.е. не должно быть такого избирателя  $\lambda_k$ , чье предпочтение полностью определяло бы результат голосования вне зависимости от предпочтения остальных избирателей;
- независимости от посторонних альтернатив, т.е. если в отношении консенсуса альтернатива  $a_i$  признается наилучшей, то ни добавление, ни удаление альтернативы  $a_j$  не повлияет на это отношение консенсуса.

Следовательно, теорема Эрроу дает глубокое объяснение парадоксу Кондорсе, согласно которому не обязательно профиль предпочтения

транзитивен, даже при условии, что его каждое  $k$ -ое ранжирование является линейным порядком.

На протяжении долгого времени парадокс Кондорсе и возможные пути его разрешения составляют предмет множеств исследований. Проведенные исследования породили многочисленные новые правила голосования [3]. Одно из таких правил, которое является наиболее обоснованным с формальной точки зрения, – правило Кемени.

## 1.2 Правило Кемени

Американский математик Джон Джордж Кемени в своей работе [2, 3] предложил правило, согласно которому необходимо найти такой линейный порядок  $\beta$  (ранжирование Кемени) альтернатив, чтобы расстояние от этого линейного порядка до ранжирований исходного профиля предпочтения было минимальным. Другими словами, нужно найти такую перестановку строк и столбцов матрицы профиля, чтобы сумма элементов ее верхней треугольной подматрицы была минимальна.

Кемени ввел [3] функцию расстояния  $d(\lambda_k, \lambda_l)$  для двух ранжирований  $\lambda_k$  и  $\lambda_l$ , которая вычисляется по формуле

$$d(\lambda_k, \lambda_l) = \sum_{i < j} |r_{ij}^k - r_{ij}^l| \quad (1.14)$$

и определяется числом различий между двумя ранжированиями. Формула (1.14) подразумевает суммирование только элементов верхней треугольной подматрицы  $r_{ij}$ ,  $i < j$ , матрицы  $R$  [1].

Чтобы определить расстояние между профилем  $\Lambda$  и произвольным профилем  $\lambda$ , можно воспользоваться формулой

$$D(\lambda, \Lambda) = \sum_{k=1}^m d(\lambda, \lambda_k) = \sum_{i < j} \sum_{k=1}^m |r_{ij}^k - r_{ij}|. \quad (1.15)$$

Учитывая, что для естественного линейного порядка  $a_1 \succ a_2 \succ \dots \succ a_{n-1} \succ a_n$

$r_{ij} = 1$  для всех  $i < j$ , можно сделать вывод, что для любого  $k = 1, \dots, m$  модуль

$$|r_{ij}^k - r_{ij}| = \begin{cases} |1-1| = 0, \text{ если } a_i^k \succ a_j^k \\ |0-1| = 1, \text{ если } a_i^k \sim a_j^k \\ |-1-1| = 2, \text{ если } a_i^k \prec a_j^k \end{cases} \quad (1.16)$$

Тогда, применив к  $|r_{ij}^k - r_{ij}|$  обозначение  $d_{ij}^k$ , получаем представление формулы (1.15) в более удобном виде

$$D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} \sum_{k=1}^m d_{ij}^k. \quad (1.17)$$

Для матрицы  $(n \times n)$  профиля  $P = [p_{ij}]$  определим ее элементы как

$$p_{ij} = \sum_{k=1}^m d_{ij}^k, \quad i, j = 1, \dots, n, \quad (1.18)$$

а количество ранжирований  $m$  профиля  $\Lambda$  для каждого элемента матрицы представлено как  $\frac{1}{2}(p_{ij} + p_{ji}) = m$ ,  $i, j = 1, \dots, m$ . Следовательно, значение  $\frac{1}{2}p_{ij}$  имеет смысл числа предпочтений альтернативы  $a_j$  относительно альтернативы  $a_i$ .

Расстояние Кемени  $D(\lambda, \Lambda)$  будем трактовать и сумму элементов верхней треугольной подматрицы  $P_u$  матрицы профиля  $P$  и рассчитывать по формуле

$$D(\lambda, \Lambda) = \sum_{i < j} p_{ij}. \quad (1.19)$$

Порядку элементов  $a$  в ранжировании  $\lambda$  соответствуют перестановки соответствующих столбцов и строк матрицы профиля  $P$ .

Для примера, построим матрицу профиля для профиля (1.6):

$$[p_{ij}] = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 6 & 2 & 2 & 6 \\ 8 & 0 & 5 & 3 & 3 & 8 \\ 4 & 5 & 0 & 3 & 4 & 6 \\ 8 & 7 & 7 & 0 & 4 & 9 \\ 8 & 7 & 6 & 6 & 0 & 6 \\ 4 & 2 & 4 & 1 & 4 & 0 \end{bmatrix}. \quad (1.20)$$

Элемент матрицы  $p_{24}$ , например, был получен как  $p_{24} = 0 + 0 + 2 + 1 + 0 = 3$ .

Пусть все  $n!$  линейные (строгие) отношения порядка  $\succ$  на  $A$  образуют пространство  $\Pi$ . Каждый линейный порядок соответствует одной из перестановок первых  $n$  натуральных чисел  $N_n = \{1, 2, \dots, n\}$  [1].

При использовании правила Кемени нашей целью является нахождение некоего линейного порядка  $\beta \in \Pi$  элементов  $a_1, a_2, \dots, a_{n-1}, a_n$ , при котором расстояние Кемени  $D(\lambda, \Lambda)$  от  $\beta$  до профиля  $\Lambda$  минимально, т.е.

$$\beta = \arg \min_{\lambda \in \Pi} D(\lambda, \Lambda). \quad (1.21)$$

Следовательно, найденное с использованием правила Кемени ранжирование консенсуса  $\beta$  – решение оптимизационной задачи (1.21), которое будем называть ранжирование (медиана) Кемени [3]. Таким образом, каждой перестановке строк и столбцов матрицы профиля соответствует перестановка соответствующих объектов из  $A$ .

Для профиля предпочтения (1.6) использование правила Кемени дает аналогичное решение, полученное при применении правила Кондорсе, т.е. ранжирование консенсуса имеет вид (1.12)  $\beta = \{a_6 \succ a_3 \succ a_1 \succ a_2 \succ a_4 \succ a_5\}$ .

Полученный результат является подтверждением того факта, что правило Кемени обладает достоинствами, являющимися близкими к положительным свойствам правила Кондорсе. Помимо этого, при реализации правила Кемени невозможно прийти к парадоксу.

С другой стороны, у правила Кемени имеется два значительных недостатка:

- задача о ранжировании Кемени является NP-полной [10, 12];
- число оптимальных решений (ранжирований консенсуса), определенных правилом Кемени может быть больше одного и достигать значений  $> 10^7$  даже при небольших  $n$  и  $m$  [12, 13].

Недостаток, связанный с тем, что задача о ранжировании Кемени является NP-полной, сводится к тому, что не существует такого алгоритма, который бы позволил найти решение за время, пропорциональное полиному от размерности задачи  $n$ . Однако, этот недостаток не является особо важным, т.к. приемлемая для практического применения размерность –  $n > 30$ , для которой имеются прецизионные алгоритмы решения [12, 14].

Что касается второго недостатка, то он полностью может уничтожить положительный эффект от использования правила Кемени и, следовательно, требуется разработка специальных мер для приведения множества решений к единственному оптимальному решению. Алгоритм для реализации свертывания зависит линейно от числа оптимальных решений, т.е. позволяет эффективно найти единственное решение [1].

### **1.3 Алгоритм определения ранжирования Кемени**

Задачу об определении ранжирования Кемени (ЗРК) (1.21) можно решить в общем случае с помощью метода полного перебора [12, 15]. Однако, метод полного перебора для решения ЗРК практически не используется, т.к. требуются слишком большие временные затраты.

Чтобы определить ранжирование консенсуса с использованием правила Кемени, можно воспользоваться различными методами решения оптимизационных задач. К решению ЗРК применяют динамическое программирование [16], целочисленное линейное программирование [17], а также различные поисковые методы [18]. В наибольшей степени результативным поисковым методом, применяемым для решения ЗРК, оказался метод ветвей и границ, подробно описанный в [14, 19].

Метод ветвей и границ – общий алгоритмический метод, с помощью которого можно найти оптимальные решения разнообразных задач. Для поиска решений используются две процедуры: процедура ветвления и процедура нахождения оценок. При ветвлении область допустимых решений разбивается

на подобласти меньшего размера; при нахождении оценок определяются верхние и нижние границы для принятия дальнейшего решения. Основная идея такого подхода заключается в том, что отсекаются подмножества допустимых решений, не содержащие оптимальных решений.

Научная группа под руководством С.В. Муравьева разработала формальную запись рекурсивного алгоритма (алгоритма 1) решения ЗРК RECURSALL, взяв за основу метод ветвей и границ [12]. Запись алгоритма 1 представлена в приложении А.

Первые шесть шагов алгоритма отвечают за формирование  $(n \times n)$  матрицы  $P$  для профиля предпочтения  $\Lambda$  в соответствии с формулами (1.18) и (1.19).

На седьмом шаге производится инициализация переменных, а на восьмом – вызов рекурсивной процедуры  $LEADER(K, D)$  при исходных значениях  $K = 1$  и  $D = 0$ ; затем алгоритм прекращает свою работу.

С девятого по девятнадцатый шаг определяется рекурсивная процедура  $LEADER(K, D)$ . В алгоритме ветвей и границ, реализуемом с использованием рекурсивной процедуры, исследуется древовидное пространство возможных решений, что представлено на рисунке 1.3. На рисунке 1.3 показано, что каждый узел соответствует множеству с установленным порядком элементов  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_{K-1}, s_K\}$ ; такой порядок рассматривается в качестве «лидера» всех дальнейших решений, в которых он содержится в качестве начальной части. Корень дерева поиска – лидер абсолютно каждого возможного решения; для корня  $S = \emptyset$ . Так как лидер определяется элементами  $N_n = \{1, 2, \dots, n-1, n\}$ , то для любого лидера  $S$  имеет место быть его дополнению  $\bar{S} = T = \{t_1, t_2, \dots, t_{K-n}\} = N_n \setminus S$ .

Десятый шаг соответствует рекурсивной процедуре  $LEADER(K, D)$ , содержащей главный цикл по  $l$  – номеру лидера на  $K$ -м уровне дерева поиска. Одиннадцатый шаг заключается в формировании текущего лидера  $S$  путем сочленения предыдущего лидера с первым порядковым элементом  $t_l$  множества  $T$ , т.е.  $S = \{s_1, \dots, s_{K-1}, s_K = t_l\}$ , причем элемент  $t_l$  удаляется из  $T$ . На рисунке 1.4 представлен пример, когда при  $n = 6$  на третьем уровне дерева поиска  $K = 3$

лидером является  $S = \{2, 1, 3\}$ , а  $T = \{4, 5, 6\}$  соответственно. Тогда для следующего уровня  $S = \{2, 1, 3, 4\}$ , а  $T = \{5, 6\}$ .

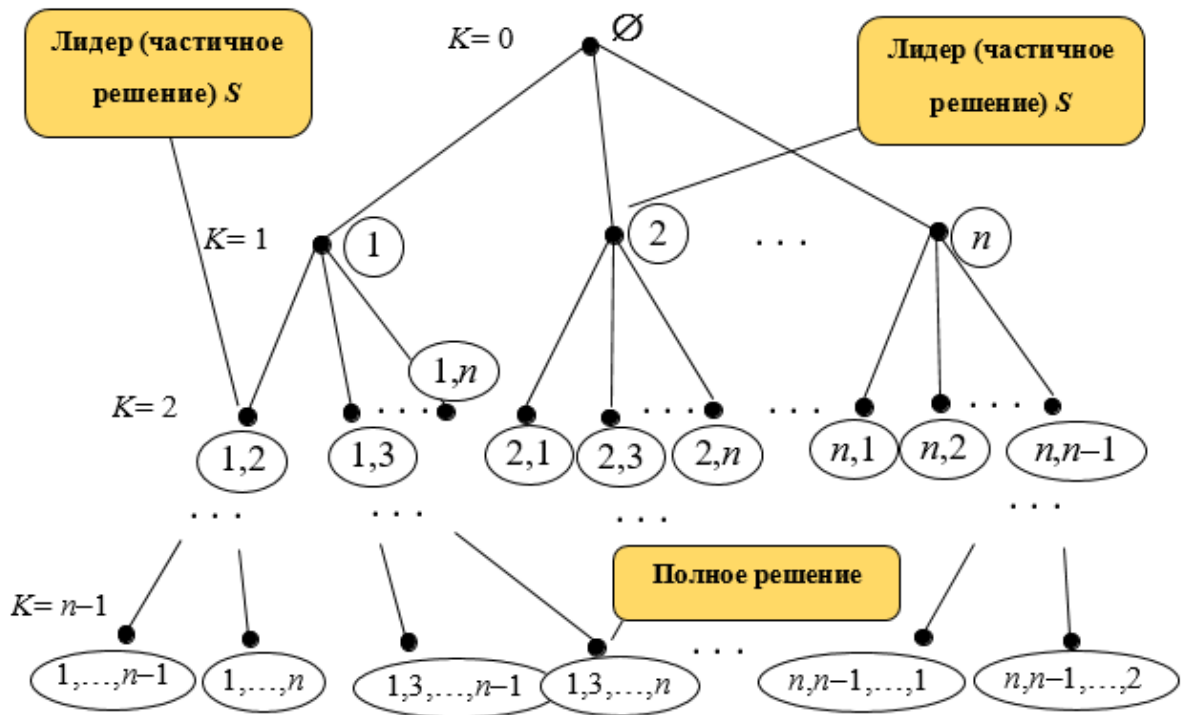


Рисунок 1.3 – Древоподобное пространство решений для алгоритма RECURSALL

Двенадцатый и тринадцатый шаги отвечают за вычисления оценки нижний границы расстояния между профилем  $\Lambda$  и оптимальным линейным порядком для текущего лидера. Для примера, приведенного на рисунке 1.4,  $D = 51$ ,  $D_e = 51 + 6 = 57$ ,  $D_{low} = 57 + 4 = 61$ .

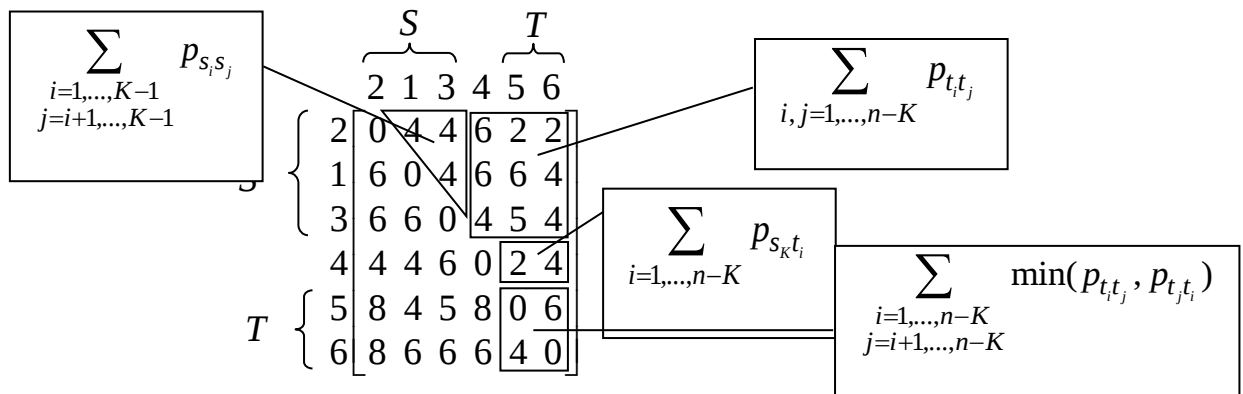


Рисунок 1.4 – Пример оценки перспективности лидера

Начиная с четырнадцатого и заканчивая девятнадцатым шагом, производится оценивание перспективности лидера, т.е. сравниваются нижняя граница  $D_{low}$  и принятая за верхнюю границу  $D_u$  – наименьшая из нижних границ, достигнутых на данный момент. В том случае, когда  $D_{low} \leq D_u$ , а текущее решение не является полным ( $K < n - 1$ ), вызывается рекурсивная процедура *LEADER*, имеющая уже новые параметры, которые обеспечивают ветвление поискового дерева. В противоположном случае, когда  $D_{low} > D_u$ , часть дерева поиска отсекается, т.е. любое решение с текущим лидером не может быть оптимальным. При полноте решения для случая  $D_{low} \leq D_u$  (т.е. оно определяет порядок каждого элемента в ранжировании) оно записывается порой  $\beta_{N_{kem}} = S$  и  $D_u = D_{low}$ . До того момента, пока не будет отсечено каждое неперспективное решение, поиск остальных полных и неполных решений продолжается.

Алгоритм, представленный в приложении А, позволяет найти все возможные ранжирования консенсуса, т.е. решения ЗРК  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{kem}}$ . В подразделе 1.2 уже было сказано, что число таких оптимальных решений  $N_{kem}$  может быть очень большим даже при небольших значениях  $n$  и  $m$ . Множество ранжирований, полученных на выходе алгоритма, будет называться выходным профилем ЗРК и обозначаться как  $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{kem}}\}$ . В таком случае, в качестве входного профиля ЗРК будет исходный профиль предпочтения  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{m-1}, \lambda_m\}$ , что представлено на рисунке 1.5.

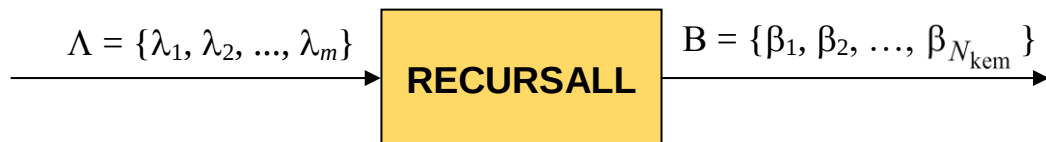


Рисунок 1.5 – Вход и выход алгоритма для решения ЗРК

Для того, чтобы определить единственное итоговое ранжирование  $\beta_{fin} = \Phi(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{kem}})$  из множества полученных ранжирований консенсуса, будем использовать следующий принцип: если отношения  $a_i < a_j$  и  $a_i > a_j$  при всех  $i$  и  $j$  встречаются во всех ранжированиях консенсуса одно и то же число раз,

тогда в итоговом ранжировании  $\beta_{\text{fin}} a_i \sim a_j$ . Если ситуация противоположна, то в итоговое ранжирование  $\beta_{\text{fin}}$  будет включено отношение строгого предпочтения, встречаемое наибольшее число раз среди оптимальных решений.

Таким образом, несмотря на то, что ни в одном ранжировании консенсуса не содержатся эквивалентности, в итоговом ранжировании могут содержаться пары эквивалентных альтернатив.

## **2 Геометрический подход Саари к анализу методов агрегирования предпочтений**

Дональд Саари – доктор математических и экономических наук Калифорнийского университета. Являясь экспертом в вопросах о методах голосования, предложил использовать геометрию применительно к правилам голосования и, соответственно, агрегированию предпочтений.

Главной целью геометрического подхода к агрегированию предпочтений является доказательство того факта, что наглядное изображение намного показательнее, чем текстовое описание. Также геометрия – средство, с помощью которого можно достаточно просто увидеть и оценить неожиданные и парадоксальные отношения на множестве объектов. Именно поэтому используют графики, диаграммы и т.п.

Главной причиной, почему предметная область социального выбора настолько сложна, является «проклятие размерности». «Проклятие размерности» – проблема, связанная с экспоненциальным возрастанием количества данных из-за увеличения размерности пространства. Термин был введен Ричардом Беллманом в 1961 году [20]. Например, имея формулировку задачи для трех альтернатив, профильное пространство размерности  $3! = 6$  делает невозможным использование стандартных графов, чтобы связать между собой профили предпочтения и результаты голосования. Т.к. невозможно использовать стандартные графические методы, необходимо было создать новый геометрический инструмент.

### **2.1 Использование геометрии для представления профиля предпочтения**

Традиционный способ описания профиля предпочтения для трех альтернатив  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  – перечисление количества голосов, отданных за каждое из шести ранжирований. Пример такого перечисления представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Описание профиля предпочтения

| Количество избирателей, проголосовавших за ранжирование | Ранжирование              | Количество избирателей, проголосовавших за ранжирование | Ранжирование              |
|---------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------|
| 7                                                       | $a_1 \succ a_2 \succ a_3$ | 12                                                      | $a_3 \succ a_2 \succ a_1$ |
| 15                                                      | $a_1 \succ a_3 \succ a_2$ | 4                                                       | $a_2 \succ a_3 \succ a_1$ |
| 2                                                       | $a_3 \succ a_1 \succ a_2$ | 12                                                      | $a_2 \succ a_1 \succ a_3$ |

На самом деле, подсчет голосов в данном случае может быть затратным по времени: необходимо тщательно проверять данные, чтобы определить, какое количество избирателей проранжировало кандидатов различными способами. Был разработан следующий геометрический подход, который значительно упрощает процесс подсчета голосов и выбора наилучшей альтернативы.

Представим каждого кандидата как вершину равностороннего треугольника, как показано на рисунке 2.1.

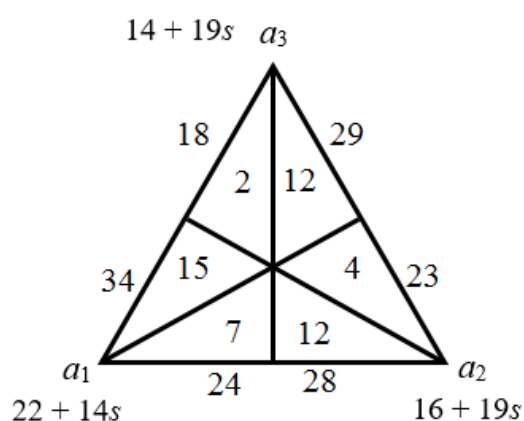


Рисунок 2.1 – Представление профиля предпочтения

Любая точка в данном треугольнике определяет ранжирование по ее расстоянию до каждой вершины: к какой вершине расстояние от точки меньше, тот кандидат и набрал большее количество голосов. Если, к примеру,

рассматривать точку на вертикальной линии рисунка 2.1, которая находится на одинаковом расстоянии от альтернатив  $a_1$  и  $a_2$ , то можно говорить об отношении эквивалентности  $a_1 \sim a_2$ . Аналогично, можно определить отношения  $a_1 \sim a_3$  и  $a_2 \sim a_3$ . Такое бинарное отношение разбивает треугольник на 13 зон: шесть маленьких треугольников, показывающих строгое ранжирование, и семь оставшихся зон ранжирования, включающих в себя результаты ничьей. Например, число «15» находится в зоне, ближайшей к вершине  $a_1$ , далее по близости – к вершине  $a_3$ , дальше всего – к вершине  $a_2$ . Данная зона отвечает за ранжирование  $a_1 \succ a_3 \succ a_2$ .

При геометрическом представлении профиля предпочтения число проголосовавших за определенное ранжирование совпадает с зоной ранжирования. Представляя профиль предпочтения в векторной форме, необходимо начать с ранжирования  $a_1 \succ a_2 \succ a_3$ , отвечающего за зону 1, и закончить  $a_2 \succ a_1 \succ a_3$ , отвечающим за зону 6. Тогда вектор имеет вид (7, 15, 2, 12, 4, 12).

Позиционный выбор назначает специальные баллы кандидатам в зависимости от их расположения при голосовании. Для трех кандидатов существует вектор голосования  $(w_1, w_2, w_3)$ , причем  $w_1 \geq w_2 \geq w_3$ ,  $w_1 > w_3$ , где  $w_j$  – количество баллов, назначенных  $j$ -му кандидату. Для нормализации допустим, что  $w_3 = 0$ , и разделим веса  $w_1$ . В результате получаем значение  $w_s = (w_1/w_1, w_2/w_1, 0) = (1, s, 0)$ ,  $0 \leq s \leq 1$ . Например, назначено 7, 5 и 0 баллов кандидатам в ранжировании голосующего, следовательно, получаем вектор голосования (7, 5, 0) с нормализованным значением  $w_{5/7} = (7/7, 5/7, 0)$ . Правила простого большинства и антибольшинства определены векторами (1, 0, 0) и (1, 1, 0), тогда как правило Борда определено вектором (2, 1, 0) с нормализованным значением  $w_{1/2} = (1, 1/2, 0)$ . Для  $n$  кандидатов счет Борда назначает баллы  $(n-1, n-2, \dots, 1, 0)$ .

С учетом данной нормализации для подсчета голосов кандидата  $a_1$  необходимо прибавить  $s$  раз число голосующих, которые поставили его в своем

ранжировании на второе место, к его результату по методу простого большинства. На рисунке 2.2 это результат по методу простого большинства кандидата  $a_1$  с учетом  $s$  раз суммы чисел зон 3 и 6 (зоны, обозначенные двойной стрелкой и светло-желтым цветом). Можно рассчитать значение суммы голосов у вершины  $a_1$  как  $(15 + 7) + s \cdot (2 + 12) = 22 + 14s$ . Аналогично можно определить эти суммы для оставшихся вершин треугольника.

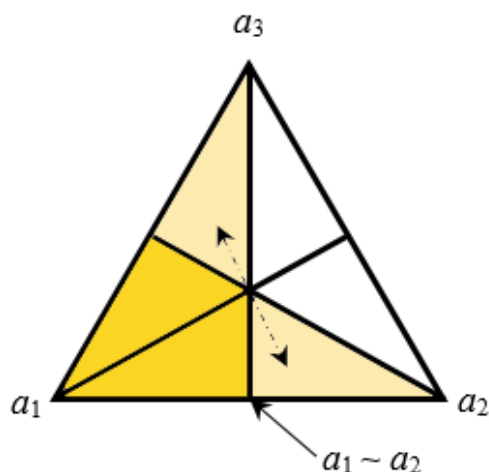


Рисунок 2.2 – Подведение итогов голосования

## 2.2 Применение геометрического представления профиля предпочтения к правилам агрегирования предпочтений

Использование геометрического подхода при определении победителя по правилу простого большинства сводится к следующему: необходимо сложить числа в маленьких треугольниках, прилегающих к каждой из вершин, а затем сравнить полученные значения. Пример подсчета голосов по методу простого большинства представлен на рисунке 2.3.

Рассмотрим подсчет голосов для каждой из альтернатив. Для альтернативы  $a_1$  необходимо сложить числа в треугольниках, закрашенных красным цветом, для  $a_2$  – зеленым, для  $a_3$  – синим. Таким образом, получили следующий результат: за альтернативу  $a_1$  отдано 22 голоса, за  $a_2$  – 16 голосов, за  $a_3$  – 14 голосов. Следовательно, победителем по методу простого большинства становится  $a_1$ . Ранжирование консенсуса имеет вид:  $\beta = \{a_1 \succ a_2 \succ a_3\}$ .

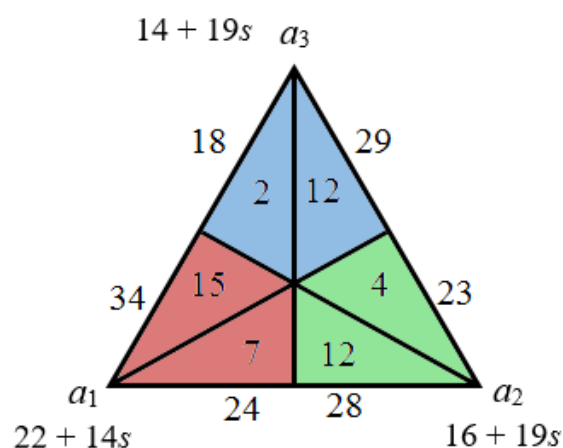


Рисунок 2.3 – Подсчет голосов по методу простого большинства

Для определения победителя по правилу Борда будем пользоваться рисунком 2.4.

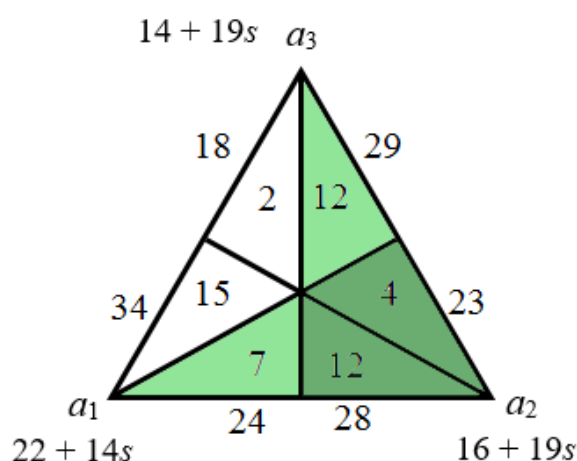


Рисунок 2.4 – Подсчет голосов по правилу Борда

С использованием такого геометрического представления профиля предпочтения нет необходимости строить электоральную матрицу для нахождения наилучшей альтернативы. Чтобы определить количество голосов, отданных за каждого кандидата, нужно сложить числа в двух треугольниках, прилегающих к соответствующей вершине, состоящих из трех маленьких треугольников. На рисунке 2.4 представлен пример для альтернативы  $a_2$ . Счет, набранный этой альтернативой, определяется как сумма чисел первого треугольника ( $7 + 12 + 4$ ) и второго треугольника ( $12 + 4 + 12$ ), т.е.  $(23 + 28) = 51$ .

Аналогичным образом рассчитывается счет для  $a_1$ :  $(7 + 15 + 2) + (15 + 7 + 12) = (24 + 34) = 58$ ; для  $a_3$ :  $(2 + 12 + 4) + (12 + 2 + 15) = (18 + 29) = 47$ . Таким образом, наибольший счет набрал кандидат  $a_1$ ; консенсуса имеет вид:  $\beta = \{a_1 \succ a_2 \succ a_3\}$ .

Правило Кондорсе подразумевает парное сравнение альтернатив со всеми другими альтернативами. Аналогично с правилом Борда, нет необходимости в построении электоральной матрицы – подсчет осуществляется по геометрическому представлению профиля предпочтения, что показано на рисунке 2.5.

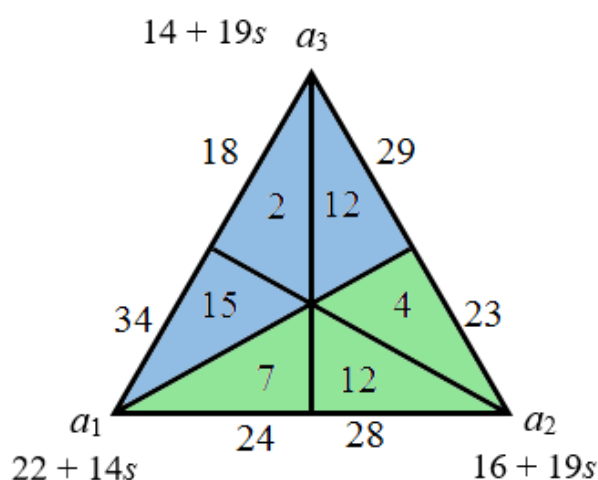


Рисунок 2.5 – Подсчет голосов по правилу Кондорсе

На рисунке 2.5 представлен пример для подсчета голосов между альтернативами  $a_2$  и  $a_3$ : треугольник, закрашенный синим цветом, отвечает за предпочтение  $a_3 \succ a_2$ , треугольник, закрашенный зеленым цветом, – за предпочтение  $a_2 \succ a_3$ . Сумма чисел данных треугольников отражена на отрезке между сравниваемыми альтернативами:  $(15 + 2 + 12) = 29$  – голоса, отданные за результат  $a_3 \succ a_2$ , а  $(7 + 12 + 4) = 23$  – голоса, отданные за результат  $a_2 \succ a_3$ . Таким образом, в данной паре отношение предпочтения имеет вид  $a_3 \succ a_2$ . Аналогично можно рассмотреть альтернативы  $a_1$  и  $a_3$ , а также  $a_1$  и  $a_2$ . В паре  $a_1$  и  $a_3$  распределение голосов следующее: 34 за  $a_1 \succ a_3$  и 18 за  $a_3 \succ a_1$ ; в паре  $a_1$  и  $a_2$ : 24

за  $a_1 \succ a_2$  и 28 за  $a_2 \succ a_1$ . Следовательно, получили следующие отношения предпочтений:  $a_3 \succ a_2$ ,  $a_2 \succ a_1$ ,  $a_1 \succ a_3$ . В данном случае можно говорить о возникновении парадокса Кондорсе.

Далее покажем, как можно избежать возникновения парадокса Кондорсе при геометрической обработке профиля предпочтения. При анализе правил голосования чаще всего необходимо определить, имеется ли в заданном профиле предпочтения хотя бы доля в направлении Кондорсе.

Начнем с так называемого «базового профиля». Такие профили являются «нейтральными» в том смысле, что они всего лишь создают результаты полных ничьих для всех позиционных методов и выборе победителя по правилу Кондорсе. Базисным вектором для пространства является вектор  $K^3 = (1, 1, 1, 1, 1, 1)$  – ситуация, когда каждое ранжирование поддерживается одним голосующим. В общем случае базовый профиль задан как  $cK^3$ , где  $c > 0$  – скалярная величина. При наличии трех кандидатов базовые вектора определяют одномерное подпространство. В случае  $n > 3$  кандидатов базовые вектора находятся в  $[n! - 2^{n-1}(n - 2) - 1]$ -мерном пространстве. Например, для шести кандидатов необходимо, чтобы было использовано 80 % из 720 размерностей (591) профильного пространства, а для десяти кандидатов – 99,88 % всех размерностей профиля.

Чтобы создать профиль с определенным циклом, можно, например, передвинуть голоса избирателей таким образом, что все они будут находиться в зонах  $a_1 \succ a_2$ ,  $a_2 \succ a_3$  и  $a_3 \succ a_1$ , как показано на рисунке 2.6. Т.е. в данном случае результат по правилу простого большинства является фиксированным – сумма двух чисел в маленьких треугольниках у вершины осталась прежней, как и на рисунке 2.1. Например, число 22 у вершины  $a_1$  получили путем сложения  $(15 + 7)$ , аналогично и для двух оставшихся вершин. Направление профиля, представленное на рисунке 2.6 определяет те комбинации предпочтений избирателей, которые влияют на результат парного голосования и ни на что кроме этого.

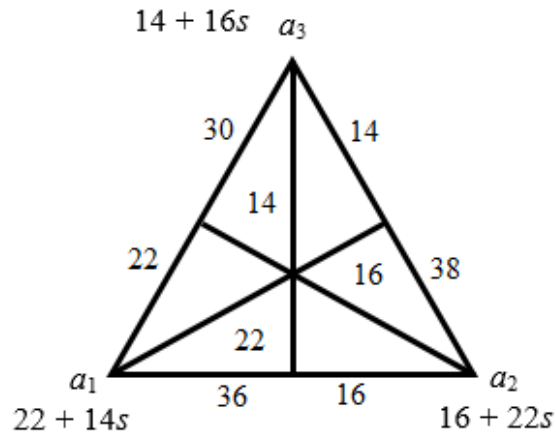


Рисунок 2.6 – Создание профиля предпочтения с циклом

Поскольку на рисунке 2.6 числа после перестановки оказались в зонах 1, 3 и 5, то образовался вектор  $v = (1, 0, 1, 0, 1, 0)$ . Здесь «1» соответствует наличию голосов в зоне, «0» – отсутствию. Чтобы создать координатную систему с векторами, ортогональными к  $K^3$  (во избежание технических проблем), необходимо, чтобы сумма координат равнялась нулю. Введем вектор  $C^3 = 2v - K^3 = (1, -1, 1, -1, 1, -1)$ . Будем интерпретировать «-1» для  $C^3$  как изменение выбора избирателя в пользу «+1», т.е. будем трактовать  $C^3$  как вектор, вносящий изменения в заданный профиль без изменения количества голосов. Наиболее значимое свойство этого профиля Кондорсе  $C^3$  – он не изменяет позиционный выбор, однако формирует цикл Кондорсе.

Согласно геометрическому подходу Саари, необходимое и достаточное условие возникновения парадокса Кондорсе – наличие в профиле достаточно большого компонента  $C^3$ .

Чтобы показать, имеется ли в профиле предпочтения доля в направлении Кондорсе, зададим вектор  $b$ , имеющий эвклидову длину  $\|b\|$ . Тогда величина

вектора  $a$  в направлении  $\left(\frac{1}{\|b\|}\right)b$  задана скалярным произведением  $\left\langle a, \left(\frac{1}{\|b\|}\right)b \right\rangle$ .

Так как эвклидова длина вектора  $C^3$  определяется как

$\|C^3\| = \sqrt{1^2 + (-1)^2 + \dots + (-1)^2} = \sqrt{6}$ , величина профиля, представленного на

рисунке 2.1, а в направлении  $\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)C^3$  является изрядно большой величиной:

$$\left\langle (7, 15, 2, 12, 4, 12), \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)(1, -1, 1, -1, 1, -1) \right\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)[7 - 15 + 2 - 12 + 4 - 12] = -\frac{26}{\sqrt{6}}$$

Это значит, что профиль, представленный на рисунке 2.1, а имеет

$$\left(-\frac{26}{\sqrt{6}}\right)\left[\left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)C^3\right] = \left(-\frac{13}{3}\right)C^3 \text{ компонент. Отрицательный знак перед}$$

компонентом соответствует знаку коэффициента  $x$  в  $xC^3$ . Таким образом, направление циклического эффекта пар задано как  $a_3 \succ a_2, a_2 \succ a_1, a_1 \succ a_3$ .

Для сравнения, приведем другой пример:

$$\left\langle (3, 6, 2, 1, 2, 0), \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)C^3 \right\rangle = \left(\frac{1}{\sqrt{6}}\right)[3 - 6 + 2 - 1 + 2 - 0] = 0. \text{ Следовательно,}$$

профиль  $(3, 6, 2, 1, 2, 0)$  не имеет компонент Кондорсе и является ортогональным к этому пространству.

### 2.3 Полное профильное пространство при наличии трех кандидатов

Значительное препятствие, возникающие при рассмотрении профильного пространства трех кандидатов, является его большая размерность –  $3! = 6$ . Одна из размерностей может быть опущена путем замены числа голосующих, у каждого из которых имеется одинаковое с остальными ранжирование. Чтобы исключить еще одну размерность, можно назначить ноль голосующих за какое-либо ранжирование. Например, чтобы проанализировать профиль  $(4, 6, 3, 9, 7, 2)$ , вычтем  $2K^3$ , чтобы получить  $(2, 4, 1, 7, 5, 0)$ . (Такое уменьшение изначально сокращает число циклов Кондорсе.) Изменив обозначения, если необходимо, получаем совершенно случайный выбор ранжирования при отсутствии голосующих, что показано в шестой зоне рисунка 2.7. Таким образом, относительно уменьшения на  $kK^3$  и изменения обозначений рисунок 2.7 отражает базовый профиль.

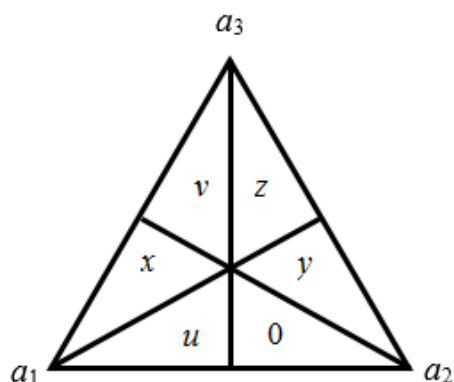


Рисунок 2.7 – Профиль с измененными обозначениями

Тогда уравнение

$$\rho = \left[ (x, y, z, u, v) \in \mathbb{R}^5 \mid x, y, z, u, v \geq 0, x + y + z + u + v = 1 \right] \quad (2.1)$$

определяет равносторонний тетраэдр, представленный на рисунке 2.8, в четырехмерном пространстве. Однако, трудно представить себе объекты в таком пространстве.

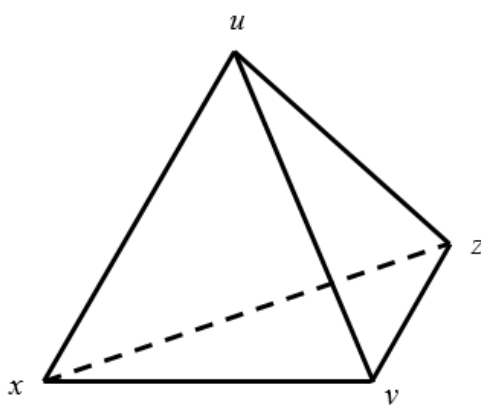


Рисунок 2.8 – Равносторонний тетраэдр для данных четырех зон

Можно воспользоваться описанием ситуации на внешней поверхности тетраэдра  $\rho$ , когда одна из переменных равна нулю. Если, скажем,  $v = 0$ , то оставшиеся переменные  $\left[ (x, y, z, u) \in \mathbb{R}^4 \mid x, y, z, u \geq 0, x + y + z + u = 1 \right]$  образуют равносторонний тетраэдр, представленный на рисунке 2.8. Для лучшего понимания геометрического подхода к правилам голосования с использованием такого тетраэдра, необходимо сделать его развертку. Выберем, к примеру,

вершину  $u$  и раскроем три соединенные грани. На рисунке 2.9 представлен вид фигуры после «раскрывания» граней. В каждом из представленных четырех треугольников можно осуществить анализ, чтобы определить, какие профили выявляют какое поведение при различных правилах голосования.

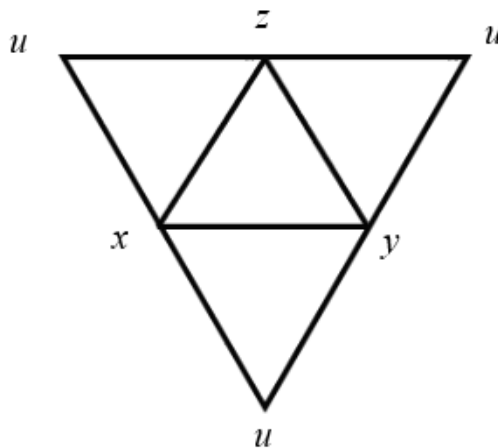


Рисунок 2.9 – Развернутый тетраэдр

Аналогичным образом, как рисунок 2.8 конвертируется в рисунок 2.9, можно развернуть уравнение (11) четырехмерного равностороннего тетраэдра в пять трехмерных тетраэдров. Каждый из них определен в результате присвоения значения 0 одной из пяти переменных. Также, как и развернутый трехмерный тетраэдр «присоединяет» три равносторонних треугольника к сторонам центрального равностороннего треугольника, четырехмерный объект «присоединяет» четыре равносторонних тетраэдра – каждый к стороне центрального равностороннего тетраэдра. Анализ поведения правил голосования по каждому из тетраэдров известен, тогда исследование соединительных граней тетраэдра помогает нарисовать общую картину  $\rho$ . Эта картина позволяет увидеть неожиданные результаты.

## 2.4 Достоинства и недостатки геометрического подхода к агрегированию предпочтений

Рассмотренный в данном разделе геометрический подход Саари к агрегированию предпочтений, безусловно, является полезным инструментом для анализа правил голосования. Можно выделить следующие достоинства метода:

- геометрия может быть использована для анализа и обнаружения новых свойств парных и позиционных правил голосования;
- с помощью геометрии можно изобразить профиль предпочтения, что значительно облегчает подсчет голосов;
- наглядное изображение профиля предпочтения позволяет сократить временные затраты на обработку данных стандартными правилами голосования;
- геометрия используется для построения системы координат профиля предпочтения, которая в дальнейшем превращается в инструмент для анализа правил голосования;
- инструмент полностью дает объяснение различным известным парадоксам;
- с помощью геометрического подхода можно определить, какими неожиданными результатами при обработке результатов голосования можно пренебречь, а какие, наоборот, играют важную роль.

Однако, несмотря на большое количество достоинств геометрического подхода, можно отметить и следующие недостатки:

- профиль предпочтения строится на основании предпочтений избирателей, которые состоят из ранжирований, определенных исключительно строгими порядками. Таким образом, применение метода вызывает трудности при наличии слабых порядков;
- наглядное представление, как таковое, в большей степени применимо для случаев, когда число кандидатов  $n = 3$ . На случаи при  $n > 3$  рекомендации данного подхода также распространяются, однако, визуализация профильного пространства становится затруднительной;

– геометрический подход не рассматривает применение правила Кемени к разрешению парадокса Кондорсе и нахождению ранжирования консенсуса.

### 3 Геометрические аспекты обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений

Как в теории, так и в практике измерений широко используется геометрическое описание результатов измерений – в виде интервалов, которые имеют экспериментально определенные или заранее заданные значения неопределенности. Кроме того, интервальное представление данных является типичной формой во многих областях, например, в распределенных вычислениях, базах данных, системах и сетях сбора данных [21, 22].

В данном разделе показана процедура комплексирования данных, при которой каждый интервал на числовой вещественной оси представлен отношением слабого порядка – ранжированием – на множестве принадлежащих этому интервалу дискретных значений. Применение в качестве результата комплексирования наилучшего значения ранжирования консенсуса, определенного для множества ранжирований, который соответствуют исходным интервалам, гарантирует высокую точность и робастность процедуры комплексирования интервальных данных.

#### 3.1 Постановка задачи

Пусть на вещественной оси имеется набор  $m$  интервалов  $\{I_k\}$ , где  $k = 1, \dots, m$ . Каждый из этих интервалов характеризуется нижней границей  $l_k$ , верхней границей  $u_k$  и центральной точкой  $x_k$ . Тогда  $I_k = [l_k, u_k]$ ;  $l_k < x_k$ ;  $x_k = 0,5 \cdot (u_k + l_k)$ ;  $l_k, u_k, x_k \in \mathbb{R}$ , что показано на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Интервал  $I_k$  на вещественной оси

Зачастую центральная точка  $x_k$  является результатом какого-либо измерения, интервал неопределенности которого выражается как

$[x_k - 0,5 \cdot (u_k - l_k), x_k + 0,5 \cdot (u_k - l_k)] = [x_k - \varepsilon_k, x_k + \varepsilon_k]$ . В данном случае  $k$ -й интервал может быть представлен парой  $\langle x_k, \varepsilon_k \rangle$ .

Любые два интервала необязательно имеют непустое пересечение, т.е. могут существовать два таких интервала  $I_j$  и  $I_k$ , причем  $j \neq k$  и  $k = 1, \dots, m$ , что  $I_j \cap I_k \neq \emptyset$ . Такие интервалы будем называть несовместными.

Отметим, что целью комплексирования интервалов является выбор точки  $x^*$  на вещественной оси, которая бы принадлежала максимальному числу интервалов из  $\{I_k\}$ . Необходимо выбрать точку из конечного числа элементов, относящихся к интервалам, т.к. в общем случае, каждый в каждом замкнутом интервале на вещественной оси число точек бесконечно. Для этой цели необходимо ввести понятие диапазона актуальных значений (ДАЗ)  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , для которого характерно, как и для вещественной оси, бинарное отношение линейного, т.е. полного, порядка  $a_1 < a_2 < \dots < a_n$ . Такое бинарное отношение является транзитивным, антисимметричным и линейным.

Формирование ДАЗ можно рассматривать как объединение интервалов  $\{I_k\}$  и соответствующее разбиение результата объединения на равные подынтервалы. Тем не менее, существование интервалов, являющихся несовместными, может образовать разрывы в результате объединения. В этом случае мы формируем дискретное множество  $A$ , начиная с заданных непрерывных интервалов  $\{I_k\}_{k=1}^m$ , используя следующие три шага, представленных на рисунке 3.2.

На первом шаге, для исключения разрывов, за нижнюю границу ДАЗ  $a_1$  выбирается  $l_k$  – наименьшая нижняя граница для всех интервалов, т.е.

$$a_1 = \min\{l_k \mid k = 1, \dots, m\}, \quad (3.1)$$

а за верхнюю границу ДАЗ  $a_n$  – наибольшая верхняя граница для этих интервалов  $u_k$ :

$$a_n = \max\{u_k \mid k = 1, \dots, m\}. \quad (3.2)$$

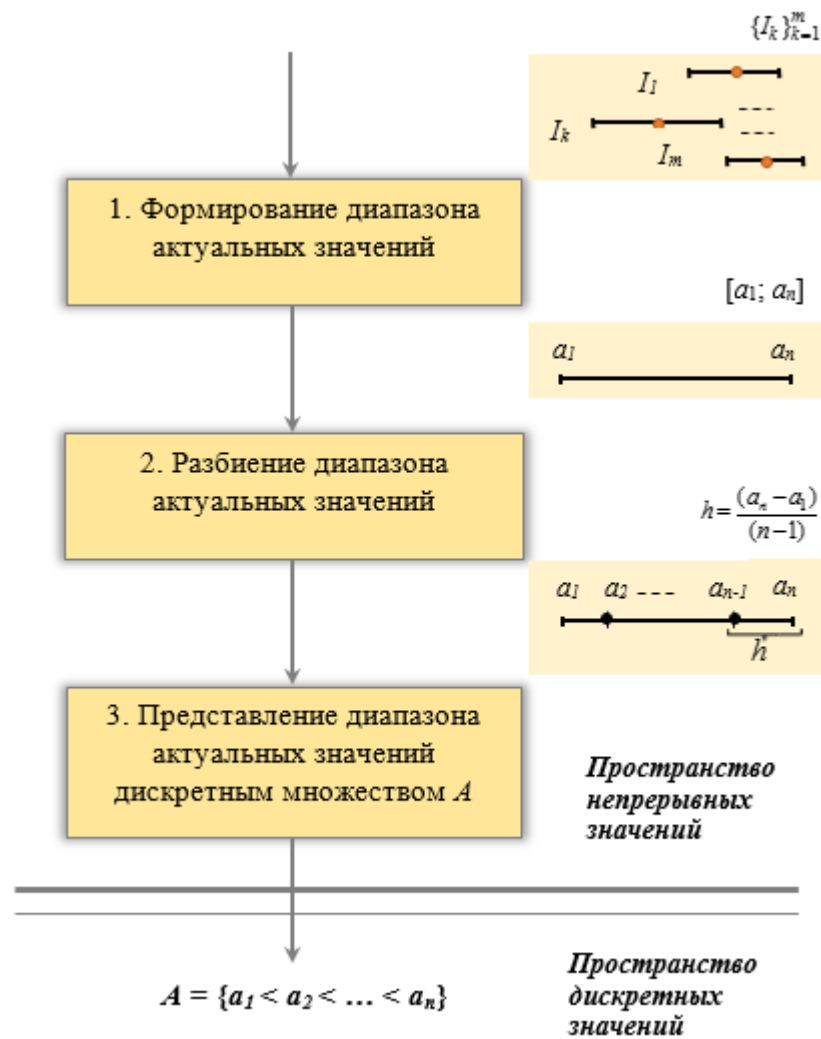


Рисунок 3.2 – Три шага перехода пространства непрерывных значений к пространству дискретных значений при формировании ДАЗ

Затем, чтобы сформировать элементы  $a_2, a_3, \dots, a_{n-1}$ , следует разбить полученный ранее интервал  $[a_1, a_n]$  на  $n - 1$  равных подынтервалов, имеющих длину

$$h = \frac{(a_n - a_1)}{(n-1)}. \quad (3.3)$$

Будем называть длину  $h$  нормой (шагом) разбиения. Очевидно, что после разбиения норму можно определить по формуле

$$h = |a_i - a_{i-1}|, i = 2, \dots, n, \quad (3.4)$$

а  $i$ -й элемент ДАЗ по формуле

$$a_i = a_{i-1} + h, i = 2, \dots, n. \quad (3.5)$$

Проблема второго шага – выбор такого подходящего числа  $n$  (которое определяет мощность множества  $A$  или разбиение ДАЗ) в формуле (3.3), чтобы гарантировалась необходимая и достаточная точность значений  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , поскольку только одно из них берется как результат агрегирования  $x^*$ .

Согласно третьему шагу, множество  $A = \{a_1 < a_2 < \dots < a_n\}$  дискретных значений  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  линейного порядка может быть использовано для формирования ранжирований, представляющих интервалы  $\{I_k\}_{k=1}^m$ .

Ранжирование  $n$  элементов множества  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  в виде  $\lambda = (a_1 \succ a_2 \dots \sim a_s \sim a_t \succ \dots \sim a_n)$  определяет бинарное отношение слабого порядка, другими словами, предпочтения, на множестве  $A$ . Это значит, что ранжирование  $\lambda$  – объединение двух следующих отношений: отношения строгого предпочтения  $\rho$ , при котором  $a_i \succ a_j$ , и отношения эквивалентности  $\tau$ , считаемое как индифферентность, при котором  $a_i \sim a_j$ ; т.е.  $\lambda = \rho \cup \tau$ .

Набор из  $m$  ранжирований  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$  из  $n$  элементов будем называть профилем предпочтения при заданных  $n$  и  $m$ . Каждый отдельный профиль предпочтения может содержать как различные, так и множество одинаковых ранжирований.

### 3.2 Инранжирования

Следует отметить, что не все возможные слабые порядки на множестве  $A$  могут представить интервалы  $\{I_k\}_{k=1}^m$ . Тогда можно говорить о ранжированиях, наведенных интервалами, которые будем называть инранжированиями; остальные ранжирования в корне не могут выполнять данную роль.

### 3.2.1 Представление интервалов ранжированиями

Пусть  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  является множеством  $n$  дискретных значений, полученных путем разбиения ДАЗ на равные  $n - 1$  подынтервалы.

Для любого отдельно взятого интервала  $I_k$  можно рассмотреть множество  $A$  как объединение двух непересекающихся подмножеств: подмножество  $A_k$ , включающее в себя все те элементы  $A$ , принадлежащие интервалу  $I_k$ , и дополнение  $\bar{A}_k$ , включающее в себя оставшиеся элементы множества  $A$ , т.е.  $A = A_k \cup \bar{A}_k$ ,  $A_k \cap \bar{A}_k = \emptyset$  для любого  $k = 1, \dots, m$ . Иллюстрация последнего комментария представлена на рисунке 3.3.

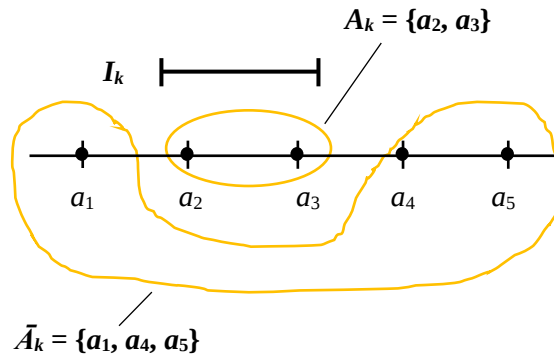


Рисунок 3.3 – Пример разбиения множества  $A$  на подмножества  $A_k$  и  $\bar{A}_k$  относительно интервала  $I_k$ ,  $n = 5$

Таким образом, для любого  $k = 1, \dots, m$  некоторое  $k$ -ое ранжирование  $\lambda_k$ , наведенное интервалом  $I_k$  и состоящее из элементов множества  $A$ , должно удовлетворять следующим условиям при  $i, j = 1, \dots, n$ :

$$a_i \in A_k \wedge a_j \notin A_k \Rightarrow a_i \succ a_j; \quad (3.6)$$

$$a_i, a_j \in A_k \vee a_i, a_j \notin A_k \Rightarrow a_i \sim a_j; \quad (3.7)$$

$$a_i \notin A_k \wedge a_j \in A_k \Rightarrow a_i \prec a_j. \quad (3.8)$$

Можно интерпретировать  $k$ -ое ранжирование, как включающее в себя два класса эквивалентностей, состоящих из подмножеств  $A_k$  и  $\bar{A}_k$ . Более того, элементы класса  $A_k$  строго предпочтительны элементам класса  $\bar{A}_k$ , т.е. всегда

выполняется условие  $\lambda_k = A_k \succ \bar{A}_k$ . Следовательно, ранжирование содержит в себе единственный знак строгого порядка « $\succ$ » и  $n - 1$  знаков эквивалентности « $\sim$ ». Например, одно из возможных ранжирований для  $n = 5$  может иметь вид  $\lambda_k = \{a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$ , где  $A_k = \{a_2 \sim a_3\}$ ,  $\bar{A}_k = \{a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$  и  $A_k \succ \bar{A}_k = \{a_2 \sim a_3\} \succ \{a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$ , как показано в примере на рисунке 3.3.

Серия элементов  $\{a_i\}$  множества  $A$  является строго монотонной, начиная с  $a_i < a_{i+1}$  для всех  $i \in \mathbb{N}$ . Становится ясно, что класс  $A_k \subseteq A$  может включать в себя исключительно подсерии элементов множества  $A$  без разрывов, другими словами, индексы этих элементов должны формировать часть натурального ряда чисел. Это значит, что различие между индексами в любой паре соседних элементов  $a_i$  и  $a_j$  не должно превышать единицу. Тогда справедливо следующее условие:

$$a_i, a_j \in A_k \text{ являются соседними натуральными числами} \Rightarrow j = i + 1. \quad (3.9)$$

Ранжирование, удовлетворяющее условиям (3.6) – (3.9), будем называть ранжированием, наведенным интервалом, или сокращенно инранжированием.

Таким образом, группа интервалов  $\{I_k\}$ , где  $k = 1, \dots, m$ , может быть представлена профилем предпочтения  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ , где любое  $\lambda_k$  – инранжирование.

### 3.2.2 Пространство инранжирований

Отдельный профиль предпочтения будет состоять из инранжирований, взятых из пространства всех возможных инранжирований для конкретного  $n$ . Вследствие, представляет интерес вопрос о том, как много различных инранжирований существует для различных  $n$ .

Несоблюдение условия (3.9) приводит к существованию запрещенных ранжирований, которые, в свою очередь, удовлетворяют условиям (3.6) – (3.8). Структура пространств всех инранжирований и запрещенных ранжирований для

различных  $n = 1, \dots, 5$  представлена в таблице 3.1; в данной таблице  $|A_k| = 1, \dots, n$  является мощностью множества  $A_k$ . Для краткости изложения будем обозначать элементы ранжирований их индексами, а подмножества  $A_k$  и  $\bar{A}_k$  путем взятия в круглые скобки соответствующих наборов индексов; опустим также символы « $\succ$ » и « $\sim$ ». Например,  $\{a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5\} \Leftrightarrow (34)(125)$ .

Из принципа построения таблицы 3.1 (смотри также рисунки 3.6 – 3.8) следует, что мощности пространств инранжирований в зависимости от  $n$  образуют последовательность чисел 0, 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, 45, ..., 378, 406, ... – целочисленную последовательность с номером A000217 в онлайн-энциклопедии OEIS. Элементы данной последовательности называются «треугольными числами  $T_n$ ». Треугольным числом принято называть число, которое подсчитывает объекты, которые могут сформировать равносторонний треугольник, как показано на рисунке 3.4. С точки зрения арифметики,  $n$ -ое треугольное число – это сумма натуральных чисел от 1 до  $n$ . Свойства треугольных чисел описаны в п. 3.3.1.

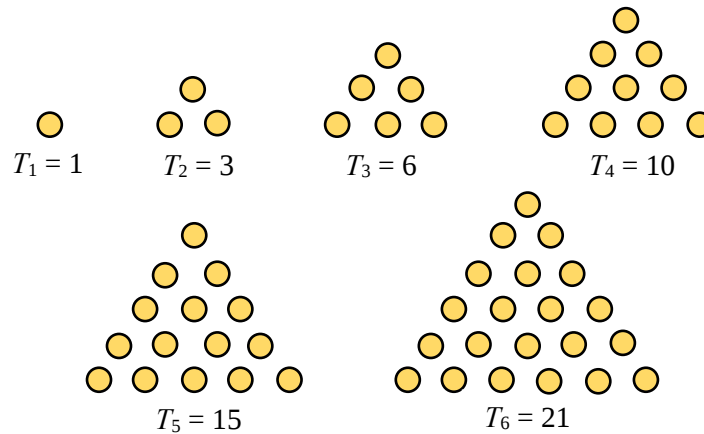


Рисунок 3.4 – Первые шесть треугольных чисел

Мощности  $F_n$  запрещенных ранжирований в зависимости от  $n$  соответствуют целочисленной последовательности 0, 0, 1, 5, 16, 42, 99, 219, 466, 968, ..., 130918, 261972, ..., имеющей номер A002662 в OEIS. Мощность  $F_n$  определяется по формуле:

$$F_n = 2^n - 1 - \frac{n(n+1)}{2}. \quad (3.10)$$

Таблица 3.1 – Пространства инранжирований и запрещенные ранжирования для различных  $n = 1, \dots, 5$  и их мощности

| $n$                       | $ A_k $ | Инранжирования                       | Мощность<br>$T_n$ | Запрещенные<br>ранжирования      | Мощность<br>$F_n$ |
|---------------------------|---------|--------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-------------------|
| <b><math>n = 1</math></b> | 1       | 1                                    | <b>1</b>          | $\emptyset$                      | <b>0</b>          |
| <b><math>n = 2</math></b> | 1       | 12<br>21                             | <b>3</b>          | $\emptyset$                      | <b>0</b>          |
|                           | 2       | (12)                                 |                   | $\emptyset$                      |                   |
| <b><math>n = 3</math></b> | 1       | 1(23)<br>2(13)<br>3(12)              | <b>6</b>          | $\emptyset$                      | <b>1</b>          |
|                           | 2       | (12)3<br>(23)1                       |                   | (13)2                            |                   |
|                           | 3       | (123)                                |                   | $\emptyset$                      |                   |
| <b><math>n = 4</math></b> | 1       | 1(234)<br>2(134)<br>3(124)<br>4(123) | <b>10</b>         | $\emptyset$                      | <b>5</b>          |
|                           | 2       | (12)(34)<br>(23)(14)<br>(34)(12)     |                   | (14)(23)<br>(13)(24)<br>(24)(13) |                   |
|                           | 3       | (123)4<br>(234)1                     |                   | (124)3<br>(134)2                 |                   |
|                           | 4       | (1234)                               |                   | $\emptyset$                      |                   |
| <b><math>n = 5</math></b> | 1       | 1(2345)<br>2(1345)                   | <b>15</b>         | $\emptyset$                      | <b>16</b>         |

Продолжение таблицы 3.1

|  |   |                                                  |  |                                                                                         |  |
|--|---|--------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |   | 3(1245)<br>4(1235)<br>5(1234)                    |  |                                                                                         |  |
|  | 2 | (12)(345)<br>(23)(145)<br>(34)(125)<br>(45)(123) |  | (13)(245)<br>(14)(235)<br>(15)(234)<br>(24)(135)<br>(25)(134)<br>(35)(124)              |  |
|  | 3 | (123)(45)<br>(234)(15)<br>(345)(12)              |  | (124)(35)<br>(125)(34)<br>(134)(25)<br>(135)(24)<br>(145)(23)<br>(235)(14)<br>(245)(13) |  |
|  | 4 | (1234)5<br>(2345)1                               |  | (1235)4<br>(1245)3<br>(1345)2                                                           |  |
|  | 5 | (12345)                                          |  | ∅                                                                                       |  |

### 3.3 Свойства пространства инранжирований

#### 3.3.1 Треугольные числа

Все  $n$ -треугольные числа задаются следующими формулами:

$$T_n = \frac{1}{2}n(n+1), \quad (3.11)$$

$$T_n = 1 + 2 + 3 + \dots + (n-2) + (n-1) + n = \sum_{j=1}^n j, \quad (3.12)$$

$$T_n = \binom{n+1}{2}, \quad (3.13)$$

где  $\binom{n+1}{2}$  – биномиальный коэффициент.

Биномиальный коэффициент определяет количество сочетаний из  $(n+1)$  по 2.

Например, 1596 – это треугольное число:  $T_{56} = (56 \cdot 57)/2$ .

Также треугольные числа являются частью треугольника Паскаля, которые выстроены вдоль диагоналей, параллельных сторонам этого треугольника, как показано на рисунке 3.5. Треугольником Паскаля называют бесконечную таблицу биномиальных коэффициентов треугольной формы, где сумма каждых двух располагающихся рядом чисел образует стоящее снизу них число.

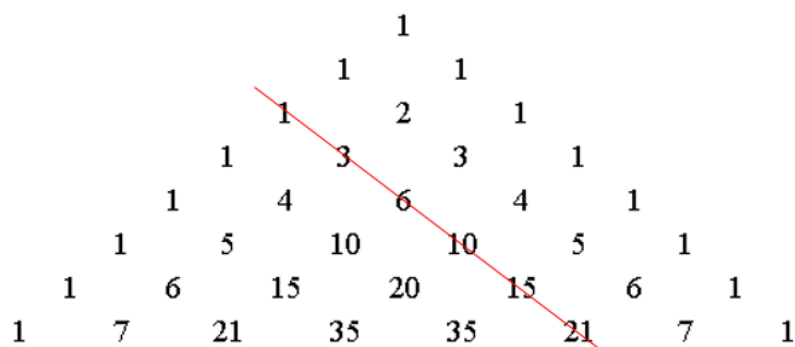


Рисунок 3.5 – Треугольные числа как часть треугольника Паскаля

На рисунке 3.6 представлены все возможные интервалы и соответствующие им треугольные числа при  $n = 1, \dots, 5$ . Для каждого пересечения интервалов можно построить интервальные графы, особенности которых описаны в п. 3.3.2.

### 3.3.2 Интервальные графы

В теории графов интервальным графом является граф пересечения множества интервалов на прямой. Такой граф имеет одну вершину для каждого интервала в множестве, а также ребро между каждой из пар вершин при условии пересечения соответствующих интервалов. На рисунке 3.7 представлен пример интервального графа с семью вершинами.

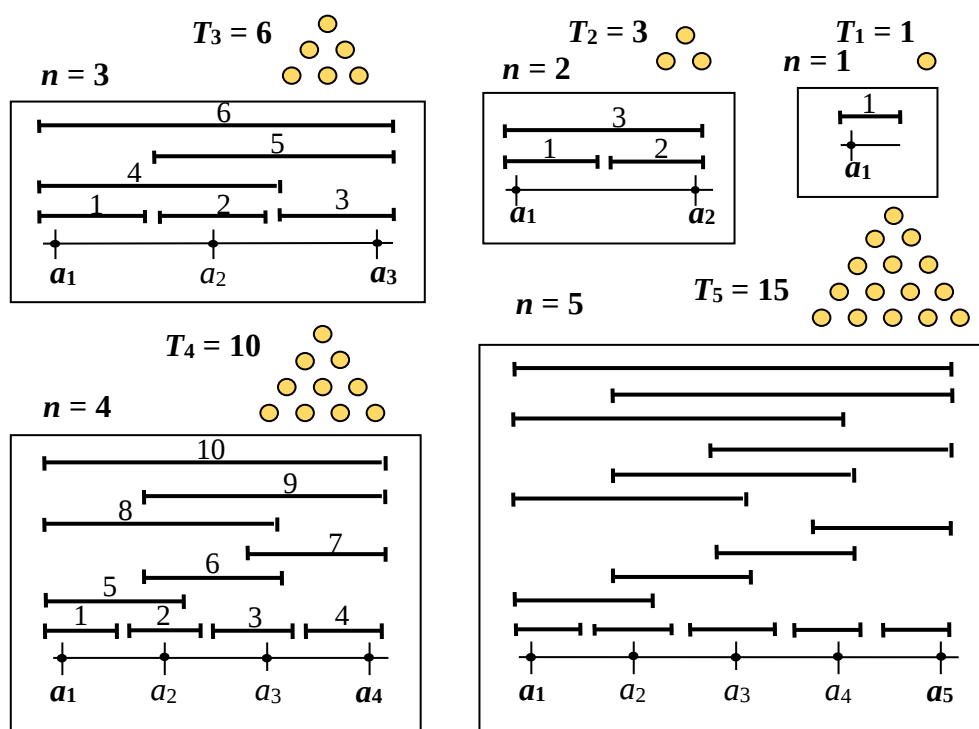


Рисунок 3.6 – Все возможные интервалы и соответствующие им треугольные числа при  $n = 1, \dots, 5$ .

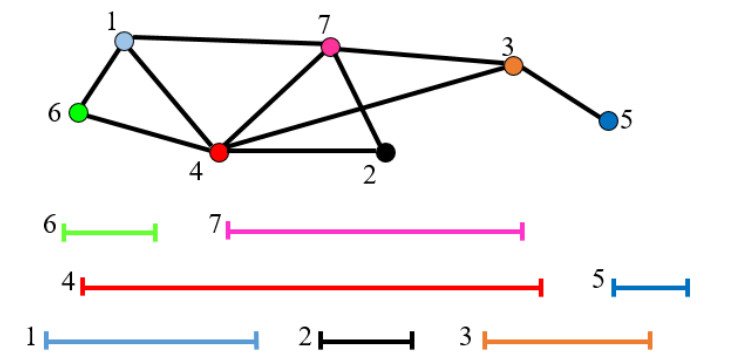


Рисунок 3.7 – Интервалы на прямой и соответствующий интервальный граф

Формально, интервальный граф является ненаправленным графом, сформированным множеством интервалов  $S_i$ , где  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , путем создания одной вершины  $v_i$  для каждого интервала  $S_i$  и соединения двух вершин  $v_i$  и  $v_j$  ребром при условии, что соответствующие интервалы имеют непустое пересечение. Тогда

$$E(G) = \{\{v_i, v_j\} | S_i \cap S_j \neq \emptyset\}. \quad (3.14)$$

Исходя из формулы (3.14), можно получить общее свойство для интервальных графов. Таким образом, граф  $G$  является интервальным только в том случае, если наибольшие клики (клики максимального размера) данного графа могут быть упорядочены  $M_1, M_2, \dots, M_k$  так, что для любой  $v \in M_i \cap M_k$ , где  $i < k$ , также выполняется  $v \in M_j, i \leq j \leq k$  [23].

На основании рисунка 3.6 построили интервальные графы для интервалов и соответствующих им треугольным числам при  $n = 1, \dots, 4$ . Данные графы представлены на рисунке 3.8. Исходя из построенных интервальных графов можно заметить прослеживаемость  $T_{n+1}$  от  $T_n$ .

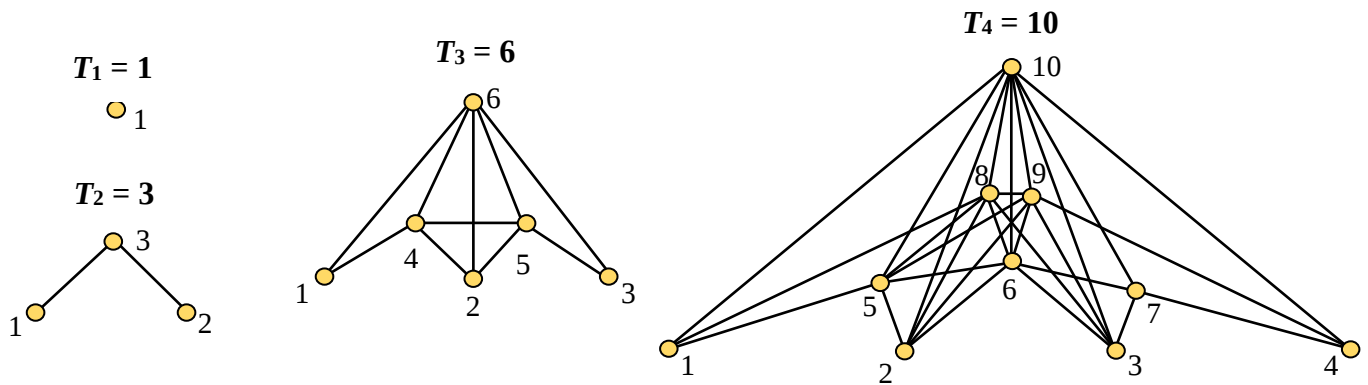


Рисунок 3.8 – Интервальные графы для интервалов и соответствующим им треугольным числам

### 3.3.3 Построение пространства инранжирований

При фиксированном значении  $n$  становится возможным получить элементы множества  $A_k$ , используя следующую формулу:

$$A_k \in \bigcup_{j=0}^{n-1} \bigcup_{i=1}^{n-j} \{a_{i+j}\}. \quad (3.15)$$

Справедливость формулы (3.15) при  $n = 5$  подтверждается данными, представленными в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Обоснование формулы (3.15) для  $n = 5$

| $j =  A_k $ | Элементы множества $A_k$                                                                             |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | $\{a_i\}, i = 1, \dots, n$                                                                           |
| 2           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\}, i = 1, \dots, (n - 1)$                                                    |
| 3           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\} \cup \{a_{i+2}\}, i = 1, \dots, (n - 2)$                                   |
| 4           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\} \cup \{a_{i+2}\} \cup \{a_{i+3}\}, i = 1, \dots, (n - 3)$                  |
| 5           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\} \cup \{a_{i+2}\} \cup \{a_{i+3}\} \cup \{a_{i+4}\}, i = 1, \dots, (n - 4)$ |

Учитывая то, что в формуле (3.15) значение  $n$  задано, то имеется следующее общее выражение, описывающее все инранжирования:

$$\lambda_k \in \bigcup_{j=0}^{n-1} \left\{ \left( \bigcup_{i=1}^{n-j} \{a_{i+j}\} \right) \succ \left( A_k \setminus \bigcup_{i=1}^{n-j} \{a_{i+j}\} \right) \right\}. \quad (3.16)$$

На представленных ниже рисунках показаны пространства инранжирований, принадлежащих перестановочному многограннику, для значений  $n$  от 1 до 4. Можно заметить, что размерность пространства возрастает при увеличении  $n$ . Так, например, перестановочный многогранник первого порядка является точкой (0D-пространство), а второго порядка – отрезок (1D-пространство), как показано на рисунке 3.9.

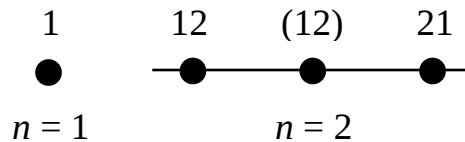


Рисунок 3.9 – Пространства инранжирований для  $n = 1$  и  $n = 2$

В случае перестановочного многогранника третьего порядка пространство инранжирований представляет собой правильный шестиугольник (2D-пространство). На рисунке 3.10 представлено построение такого пространства: сначала строится непосредственно сам правильный шестиугольник, включающий в себя как запрещенные ранжирования, так и строгие порядки. Затем удаляется ребро, относящееся к запрещенному ранжированию, т.е.  $(13)2$ . Строгие порядки, несмотря на то, что не принадлежат  $\lambda_k$ , остаются учтенными, т.к. они участвуют в формировании инранжирований. В целом, все слабые порядки возникают из некоторых комбинаций строгих порядков.

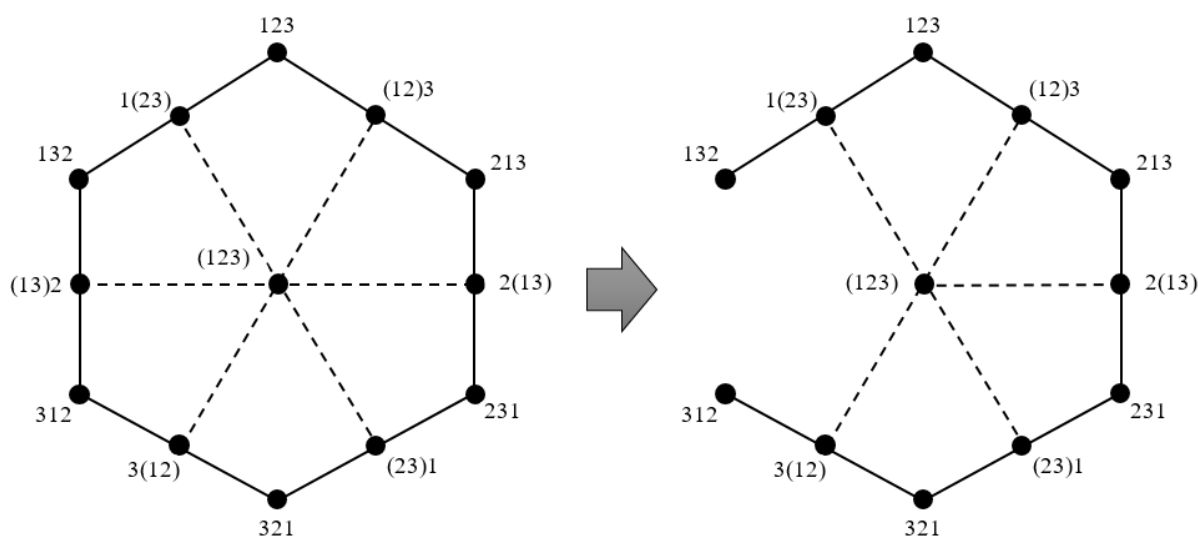


Рисунок 3.10 – Пространство инранжирований для  $n = 3$

Пространство инранжирований перестановочного многогранника в случае  $n = 4$  имеет вид усеченного октаэдра, как представлено на рисунке 3.11. В данном случае, аналогично, сначала строится такой усеченный октаэдр со всеми запрещенными ранжированиями, затем, согласно таблице 3.1 удаляется пять ребер:  $(14)(23)$ ,  $(13)(24)$ ,  $(24)(13)$ ,  $(124)3$  и  $(134)2$ .

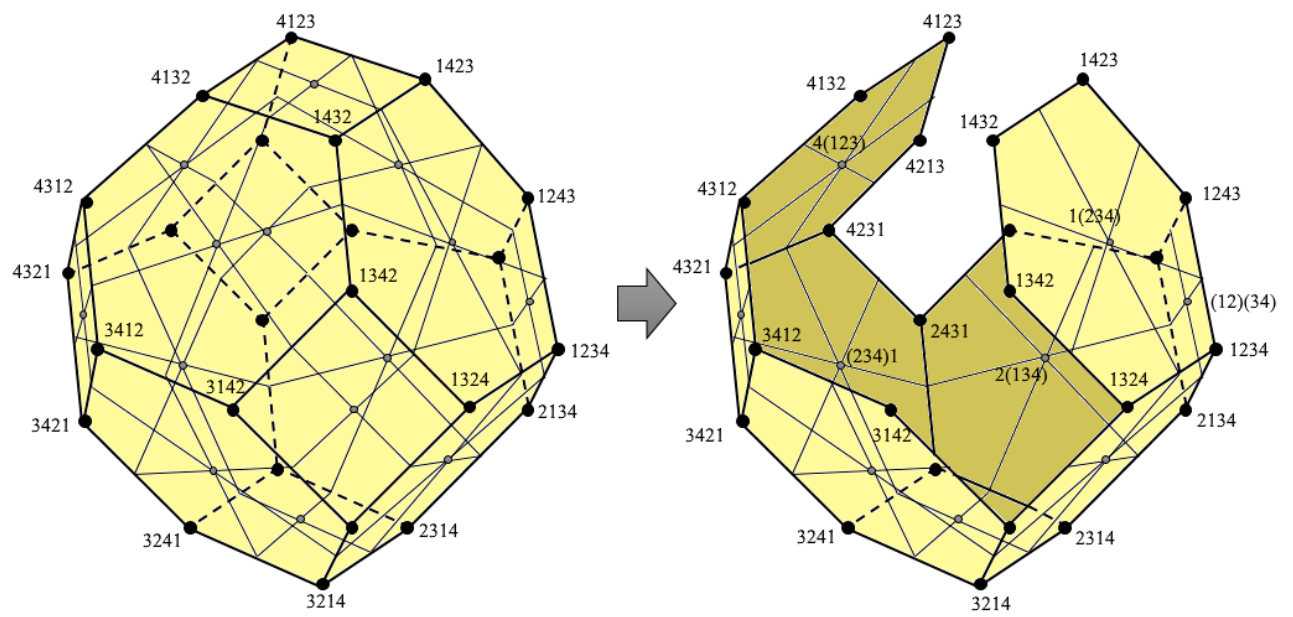


Рисунок 3.11 – Пространство инранжирований для  $n = 4$

## **4 Практическое применение обработки интервальных данных методом агрегирования предпочтений**

В данном разделе представлено использование метода агрегирования предпочтений, основанное на правиле Кемени, для обработки данных сличений. Рассмотрены данные межлабораторных сличений, которые являются типичным примером представления в виде интервальных данных. Такие интервальные данные могут быть преобразованы в форму ранжирований значений измеряемой величины, к которым применимы методы голосования либо агрегирования предпочтений.

### **4.1 Проблема обработки данных межлабораторных сличений**

Согласно рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29 [24] сличением эталонов называют установление соотношения между результатами измерений при воспроизведении и передаче единицы измерения или шкалы измерений данными эталонами одного уровня точности.

На различных уровнях сличения имеют разные цели, требования к подготовке, проведению, а также представлению их результатов. Таким образом, различают, как показано на рисунке 4.1, следующие сличения:

- сличения национальных эталонов на международном уровне, проводимые национальными метрологическими институтами (НМИ) – хранителями эталонов;
- сличения, проводимые на уровнях калибровочных лабораторий (КЛ), испытательных лабораторий (ИЛ) и поверочных лабораторий (ПЛ) (далее – аккредитованные лаборатории), в целях проверки их квалификации.

Для определения, насколько качественно выполняются испытания либо измерения КЛ, ИЛ и ПЛ, проводят проверку квалификации этих лабораторий посредством проведения межлабораторных сличений (МС) [25, 26].

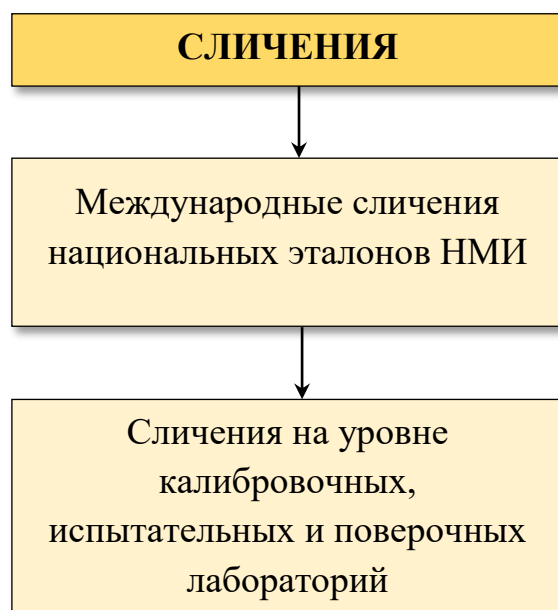


Рисунок 4.1 – Уровни сличений

На сегодняшний день основополагающий документ, применяемый для проверки квалификации, – международный стандарт ISO/IEC 17043 [25]. Данный документ дает следующее определение МС – организация, выполнение и оценивание измерений или испытаний одного и того же или нескольких подобных образцов двумя или более лабораториями в соответствии с заранее установленными условиями. Также, согласно стандарту, следующие типичные задачи МС:

- оценка характеристик функционирования лабораторий при проведении испытаний либо выполнении измерений, а также их постоянный мониторинг;
- выявление и устранение проблем в лабораториях;
- определение результативности и сравнимость методов испытаний либо измерений;
- гарантия доверия у заказчиков;
- определение различий между лабораториями;
- обоснование заявленной неопределенности;
- установление значений стандартных образцов и оценка пригодности их применения для определенных процедур испытаний либо измерений;

– установление эквивалентности измерений, проводимых НМИ и региональными метрологическими организациями, взаимодействующими с ними.

Руководствуясь источниками [27, 28], МС можно разбить на три группы, руководствуясь целью их проведения. Классификация МС представлена на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Классификация межлабораторных сличений

Основная задача сличения любого уровня и вида – установить опорное значение измеряемой величины, которое наилучшим образом характеризовало бы наибольшее согласованное подмножество (НСП) – наибольшее подмножество надежных результатов измерений (РИ). С этой целью лаборатории, участвующие в сличении, дают оценку одному и тому же номинальному значению величины. Далее участники предоставляют

координатору сличений РИ, а именно оценки номинального значения и соответствующие стандартные неопределенности. В свою очередь, координатором сличений проводится обработка предоставленных результатов и формирование заключения для каждой участвующей лаборатории. Лаборатории, получившие ненадежные (несогласованные) результаты, в формировании конечного опорного значения не участвуют. На рисунке 4.3 представлена процедура сличений, состоящая из пяти основных этапов.



Рисунок 4.3 – Этапы проведения сличений

Существующие методы проверки согласованности РИ, полученных лабораториями, и определения опорного значения зависят от многих факторов и имеют ограничения. Например, существуют ограничения на допустимое количество лабораторий-участников, также распространено исходное предположение о нормальном распределении.

Таким образом, существует проблема наличия робастного метода обработки данных МС, при условии, что закон распределения РИ лабораторий неизвестен либо отличается от нормального.

Как правило, данные МС предоставляются в виде интервальных данных, которые в дальнейшем можно преобразовать в форму ранжирования значений измеряемой величины. Следовательно, перспективно применение методов

голосования либо агрегирования предпочтений с целью придать свойство робастности обработке данных МС.

В практике сличений на различных уровнях широко применимы следующие процедуры: процедура А, различные алгоритмы на основе статистических критериев, алгоритм Нильсена и др. В п. 4.2 рассмотрено применение метода агрегирования предпочтений к обработке данных МС.

## **4.2 Метод обработки данных сличений на основе агрегирования предпочтений**

### **4.2.1 Алгоритм обработки данных сличений на основе агрегирования предпочтений**

Описанный в первом разделе метод, реализующий принцип Кемени, – метод агрегирования предпочтений (МАП) взят за основу алгоритма 2, предназначенного для обработки данных МС [29, 30]. На рисунке 4.4 представлена схема, в которой отражены основные этапы МАП, реализующие следующие действия:

- формируется диапазон актуальных значений (ДАЗ)  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ;
- строится профиль предпочтения  $\Lambda$ , состоящий из  $m$  интервалов  $u(x_k)$ ;
- формируется матрица профиля  $P = [p_{ji}]$ ;
- определяется ранжирование консенсуса в соответствии с правилом Кемени  $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{\text{kem}}}\}$ ;
- определяется единственное ранжирование консенсуса  $\beta_{\text{fin}} = \Phi(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{\text{kem}}})$ ;
- находится опорное значение  $x_{\text{ref}}$ ;
- определяются ненадежные результаты  $m'$ ;
- находятся интервалы неопределенности опорного значения  $u(x_{\text{ref}})$ .

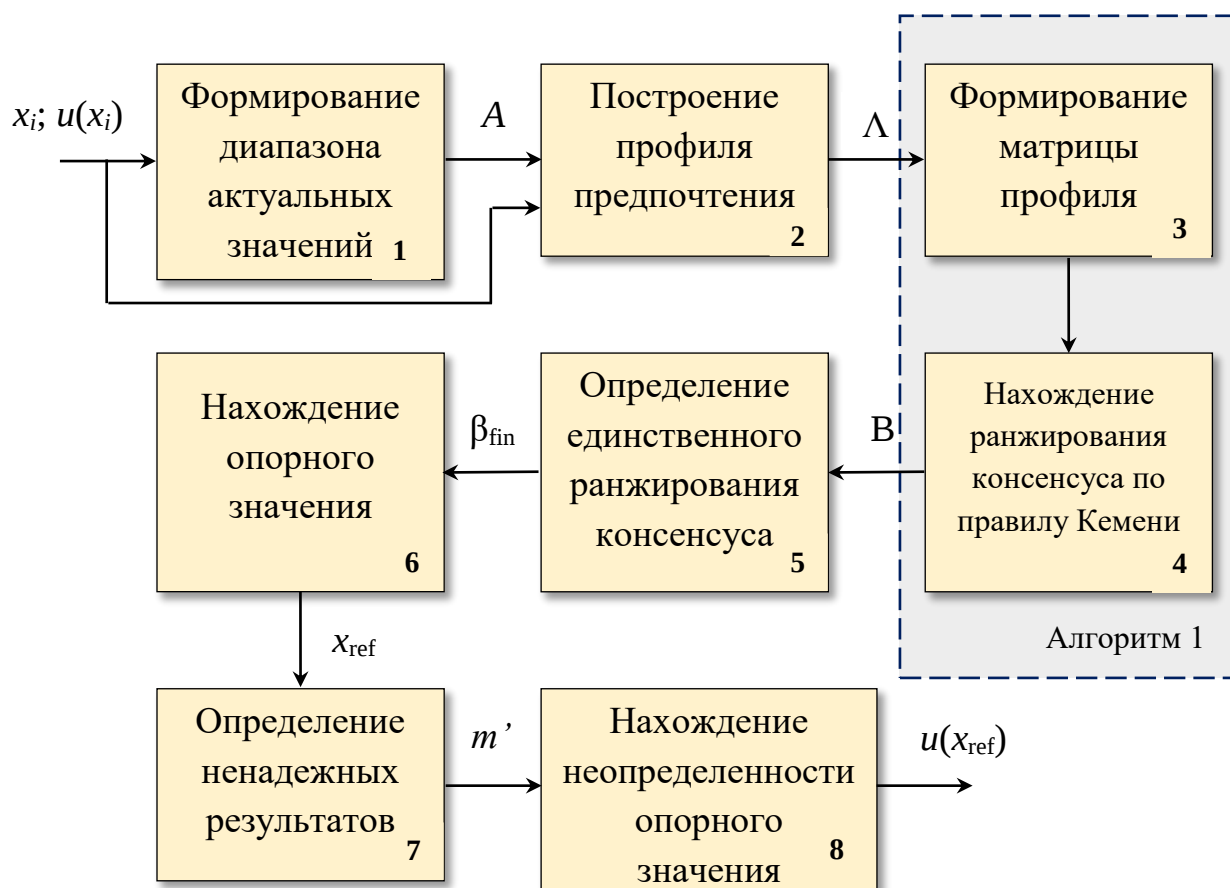


Рисунок 4.4 – Структура алгоритма обработки данных методом агрегирования предпочтений

Формальная запись алгоритма обработки данных сличений МАП представлена в приложении Б.

Первый этап МАП реализуется с первого по третий шаг. Интервал неопределенности, полученный  $i$ -й участвующей лабораторией, представляется как нижняя  $u_n(x_i)$  и верхняя  $u_v(x_i)$  границы данного интервала  $u(x_i) = [u_n(x_i), u_v(x_i)]$ .

ДАЗ измеряемой величины определяется с целью преобразования интервалов неопределенности  $m$  лабораторий в  $m$  ранжирований. Для ДАЗ выбирается начальное значение  $a_1 = \min\{u_n(x_i) | i = 1, \dots, m\}$  – наименьшая нижняя граница интервалов неопределенности, полученных лабораториями. В свою очередь, конечное значение  $a_n = \max\{u_v(x_i) | i = 1, \dots, m\}$  – наибольшая верхняя граница интервалов неопределенности.

ДАЗ делится на равные  $n - 1$  интервалы, имеющие длину  $s$ , которая определяется по формуле:

$$c = \frac{a_n - a_1}{n - 1}. \quad (4.1)$$

При этом  $n$  значений измеряемой величины  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  соответствуют границам интервалов разбиения, как показано на рисунке 4.5. Данные границы будут являться альтернативами при определении ранжирования консенсуса. В качестве избирателей выступают лаборатории-участники. Необходимо учесть, что, выбирая подходящее число  $n$ , мы осуществляем гарантию необходимой и достаточной точности представления значений измеряемой величины  $a_i$ , так как одно из этих значений будет выбрано как опорное значение.

Диапазон актуальных значений (ДАЗ) =  $A$

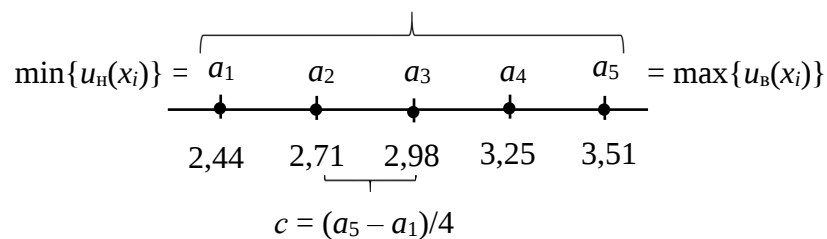


Рисунок 4.5 – Пример формирования ДАЗ А

На втором этапе, с четвертого по восьмой шаг, производится формирование профиля  $\Lambda$  из  $m$  ранжирований, которые описывают интервалы неопределенностей соответствующих лабораторий. Каждое  $k$ -е ранжирование, где  $k = 1, \dots, m$ , – объединение бинарного отношения строгого предпочтения « $\succ$ » и бинарного отношения эквивалентности « $\sim$ ». Такие отношения при  $i, j = 1, \dots, n$  имеют следующие свойства:

- $$\begin{aligned} \text{а) } a_i \succ a_j, \text{ если } a_i \in u(x_k) \text{ и } a_j \notin u(x_k); \\ \text{б) } a_i \sim a_j, \text{ если } a_i, a_j \in u(x_k) \text{ или } a_i, a_j \notin u(x_k); \\ \text{в) } a_i \prec a_j, \text{ если } a_i \notin u(x_k) \text{ и } a_j \in u(x_k). \end{aligned} \quad (4.2)$$

Следовательно, предоставленный лабораторией РИ представляется в виде ранжирования значений измеряемой величины, где эквивалентные значения, которые входят в интервал неопределенности  $u(x_k)$ , более предпочтительны, остальные значения из  $A$  менее предпочтительны и эквивалентны друг другу, как показано на рисунке 4.6.

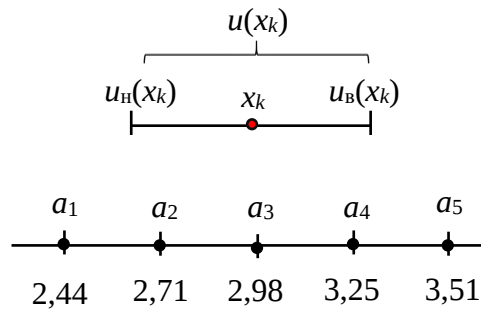


Рисунок 4.6 – Формирование  $k$ -го ранжирования для  $k$ -й лаборатории

На девятом шаге реализуется алгоритм, описанный в п. 1.3 и представленный в приложении А Алгоритм 1, в соответствии с которым реализуются третий и четвертые этапы МАП, показанные на рисунке 4.3. Алгоритм 1 определяет выходной профиль  $V = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{\text{kem}}}\}$ .

На пятом этапе, на десятом шаге, определяется единственное ранжирование консенсуса  $\beta_{\text{fin}}$  по описанному в п. 1.3 принципу.

На одиннадцатом шаге за опорное значение  $x_{\text{ref}}$  берется медиана находящихся в крайнем левом положении, т.е. имеющих наивысший ранг эквивалентных элементов  $a^{(1)}$  в единственном ранжировании консенсуса  $\beta_{\text{fin}}$ .

На заключительных шагах с двенадцатого по четырнадцатый из списка всех лабораторий-участников удаляются те, в интервалах неопределенностей которых не содержится определенного ранее опорного значения. На пятнадцатом шаге устанавливается стандартная неопределенность выявленного опорного значения – выбирается наименьшее из двух значений: максимальной нижней границы  $u_n(x_i) \leq x_{\text{ref}}$  и минимальной верхней границы  $u_b(x_i) \geq x_{\text{ref}}$  интервалов неопределенностей лабораторий.

#### 4.2.2 Пример реализации метода агрегирования предпочтений

В следующем примере рассмотрим работу МАП для данных сличений 15 лабораторий, сгенерированных программным генератором псевдослучайных чисел. Смоделированные данные представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Смоделированные данные сличений

| Лаборатория | $x_i$  | $u(x_i)$ |
|-------------|--------|----------|
| 1           | 2,9175 | 0,1903   |
| 2           | 3,0850 | 0,2441   |
| 3           | 3,2251 | 0,2891   |
| 4           | 2,4911 | 0,0534   |
| 5           | 2,9892 | 0,2133   |
| 6           | 3,2222 | 0,2881   |
| 7           | 2,7377 | 0,1326   |
| 8           | 3,0693 | 0,2390   |
| 9           | 2,5594 | 0,0753   |
| 10          | 3,0999 | 0,2489   |
| 11          | 2,9183 | 0,1905   |
| 12          | 2,8937 | 0,1827   |
| 13          | 2,6260 | 0,0967   |
| 14          | 2,8988 | 0,1843   |
| 15          | 3,0772 | 0,2416   |

Тогда получаем следующие значения  $a_1, \dots, a_5$ :

$$a_1 = 2,44;$$

$$a_2 = 2,71;$$

$$a_3 = 2,98;$$

$$a_4 = 3,24;$$

$$a_5 = 3,51.$$

Далее формируем профиль предпочтения, состоящий из 15 ранжирований, которые описывают интервалы неопределенностей соответствующих лабораторий:

$$\begin{aligned}
 \lambda_1: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 & \quad \lambda_6: a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5 & \quad \lambda_{11}: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 \\
 \lambda_2: a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5 & \quad \lambda_7: a_2 \succ a_1 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 & \quad \lambda_{12}: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 \\
 \lambda_3: a_3 \sim a_4 \sim a_5 \succ a_1 \sim a_2 & \quad \lambda_8: a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5 & \quad \lambda_{13}: a_2 \succ a_1 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 \\
 \lambda_4: a_1 \succ a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 & \quad \lambda_9: a_1 \sim a_2 \sim a_3 \sim a_4 \sim a_5 & \quad \lambda_{14}: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 \\
 \lambda_5: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5 & \quad \lambda_{10}: a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5 & \quad \lambda_{15}: a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Получили одно оптимальное решение, представленное в таблице 4.2, для профиля предпочтения (4.3).

Таблица 4.2 – Оптимальное решение для профиля предпочтения (4.3)

|                         |   |                          |   |   |
|-------------------------|---|--------------------------|---|---|
| 3                       | 4 | 2                        | 1 | 5 |
| $D_{\text{least}} = 96$ |   | $D(\beta, \Lambda) = 96$ |   |   |
| $N_{\text{kem}} = 46$   |   | $n = 5, m = 15$          |   |   |

Следовательно, единственное ранжирование консенсуса будет иметь следующий вид:

$$\beta_{\text{fin}} = \{a_3 \succ a_4 \succ a_2 \succ a_1 \succ a_5\},$$

для которого в качестве опорного значения  $x_{\text{ref}}$  берется  $a_3 = 2,98$ . Данному опорному значению соответствует стандартная неопределенность  $u(x_{\text{ref}}) = 0,04$  (на рисунке 4.7 опорное значение обозначено прямой красной горизонтальной линией, а стандартная неопределенность – пунктирной красной линией).

Исходя из результатов рисунка 4.7, результаты лабораторий под номерами 4, 7, 9 и 13 будут исключены из формирования НСП данных сличений, так как их интервалы неопределенностей не содержат в себе установленного опорного значения.

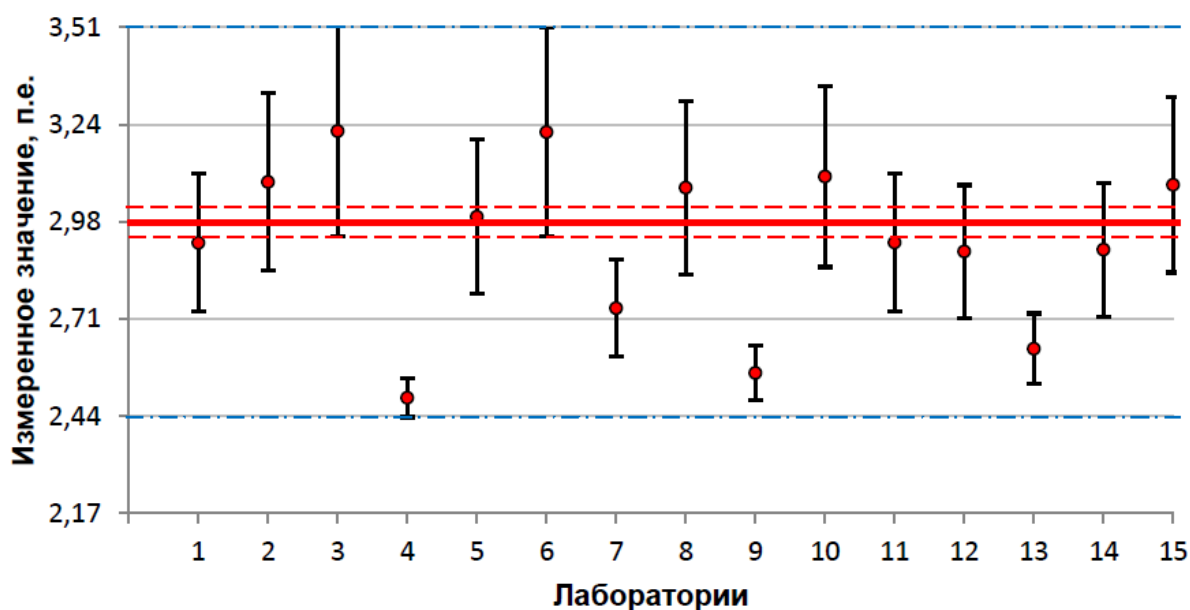


Рисунок 4.7 – Смоделированные данные межлабораторных сличений для 15 лабораторий-участников

С целью оценки работоспособности и качества МАП был разработан программный комплекс (ПК) INTERLABCOM, который позволяет проводить анализ экспериментальных исследований, генерировать данные сличений с различными видами распределения, а также производить документацию промежуточных и итоговых результатов проведенных исследований. Было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612263 «Программный комплекс для моделирования и обработки результатов межлабораторных сличений» [31]. В составе ПК INTERLABCOM имеется программное обеспечение (ПО), непосредственно разработанное с целью обработки данных межлабораторных сличений с использованием МАП. Также было получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612262 «Программное обеспечение для обработки результатов межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений» [32].

### 4.3 Обработка результатов реальных межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений

#### 4.3.1 Межлабораторные сличения для определения единицы мощности микроволнового излучения

В публикации [33] представлены результаты МС единицы мощности микроволнового излучения в диапазоне от 50 МГц до 26,5 ГГц, проводимые Национальным институтом метрологических исследований (INRIM) города Турина. Для проведения сличений 12 лабораториям-участникам был предоставлен эталон сравнения – датчик мощности мод. 438А, выпускаемый компанией Hewlett Packard. МС проводились для подтверждения заявленных неопределенностей участвующих лабораторий, которые аккредитованы национальной системе аккредитации в области измерений микроволновых излучений.

В таблице 4.3 и на рисунке 4.8 представлены результаты МС. Номинальный калибровочный коэффициент для используемого эталона сравнения равен 1,0 на частоте 1 ГГц. Обработка результатов сличений была реализована алгоритмом Нильсена. В результате было получено опорное значение  $x_{\text{ref}} = 0,985$ , за которое «проголосовали» наибольшее число лабораторий.

В итоге НСП, полученное в соответствии с результатами обработки алгоритмом Нильсена, состоит из одиннадцати лабораторий, за исключением лаборатории под номером 11 – ее результат, согласно условиям алгоритма, является ненадежным.

Таблица 4.3 – Результаты МС в области измерений микроволнового излучения

| Лаборатория | $x_i$ | $u(x_i)$ |
|-------------|-------|----------|
| 1           | 0,985 | 0,013    |
| 2           | 0,989 | 0,008    |
| 3           | 0,982 | 0,013    |

Продолжение таблицы 4.3

|    |       |       |
|----|-------|-------|
| 4  | 0,982 | 0,035 |
| 5  | 0,984 | 0,014 |
| 6  | 0,980 | 0,028 |
| 7  | 0,981 | 0,017 |
| 8  | 0,990 | 0,021 |
| 9  | 0,982 | 0,011 |
| 10 | 0,989 | 0,017 |
| 11 | 1,017 | 0,014 |
| 12 | 0,987 | 0,019 |

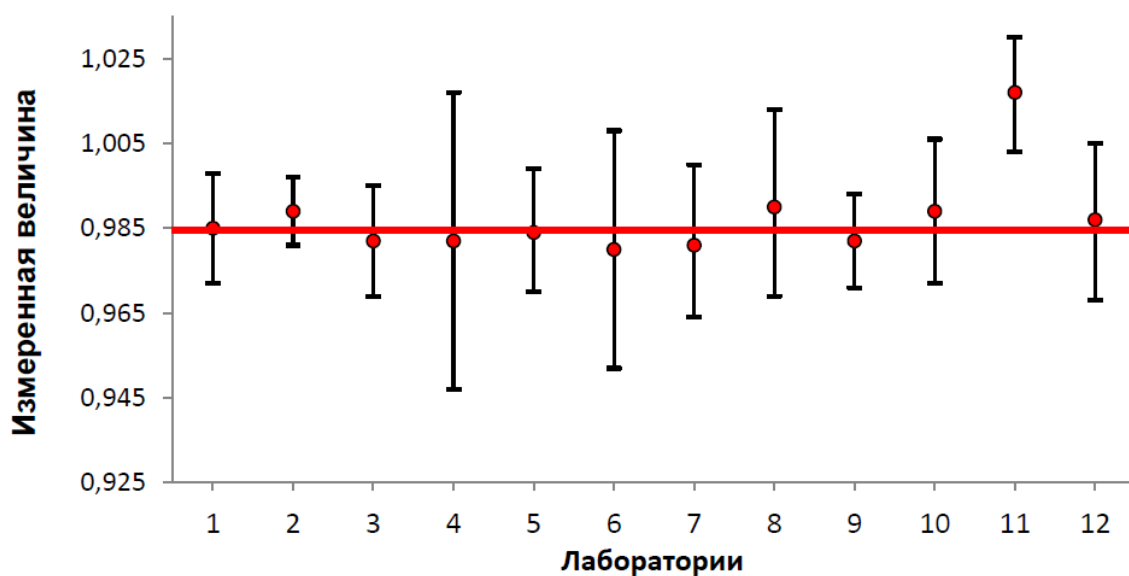


Рисунок 4.8 – Результаты МС, полученные в соответствии с алгоритмом Нильсена

Для лабораторий под номерами 1, 2, ..., 12 ранжирования имеют соответствующий вид:

$\lambda_1: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5;$

$\lambda_2: a_3 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_4 \sim a_5;$

...

$\lambda_7: a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5;$

$\lambda_8: a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5$  и т.д.

Для профиля предпочтения было определено два оптимальных решения, как показано в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Оптимальные решения для профиля предпочтения

|                         |   |                          |   |   |
|-------------------------|---|--------------------------|---|---|
| 3                       | 2 | 4                        | 5 | 1 |
| 3                       | 2 | 4                        | 1 | 5 |
| $D_{\text{least}} = 74$ |   | $D(\beta, \Lambda) = 74$ |   |   |
| $N_{\text{kem}} = 2$    |   | $n = 5, m = 12$          |   |   |

Следовательно, единственное ранжирование консенсуса будет иметь следующий вид:

$$\beta_{\text{fin}} = \{a_3 \succ a_2 \succ a_4 \succ a_1 \sim a_5\}.$$

В данном ранжировании консенсуса на первом месте, строго предпочитаемом остальным, оказалось значение  $a_3$ , следовательно, оно выбрано как опорное значение  $x_{\text{ref}} = 0,989$ , которому соответствует неопределенность  $u(x_{\text{ref}}) = 0,004$ . НСП, полученное в результате обработки МАП, включает в себя, как и при обработке с помощью алгоритма Нильсена, 11 лабораторий. Результаты МС, обработанные МАП, представлены на рисунке 4.9.

Сравнение обработки данных МС двумя алгоритмами представлено в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты обработки данных МС с использованием алгоритма Нильсена и МАП

| Алгоритм Нильсена |              | МАП              |              |
|-------------------|--------------|------------------|--------------|
| $x_{\text{ref}}$  | Мощность НСП | $x_{\text{ref}}$ | Мощность НСП |
| 0,985             | 11           | 0,989            | 11           |

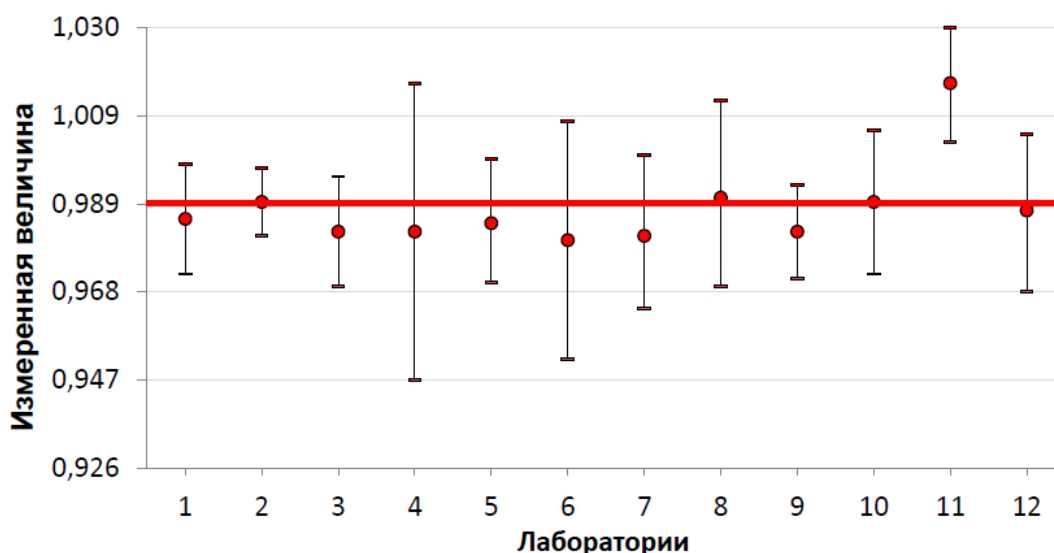


Рисунок 4.9 – Результаты МС, полученные в соответствии с МАП

#### 4.3.2 Межлабораторные сличительные испытания средств измерений теплофизических и температурных величин

Межлабораторные сличительные испытания (МСИ) средств измерений теплофизических и температурных величин проводились провайдером – Федеральным бюджетным учреждением «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Томской области» (ФБУ «Томский ЦСМ»).

Целью МСИ являлась оценка технической компетентности измерительных (поверочных, калибровочных) лабораторий (центров), метрологических служб, осуществляющих поверку, калибровку средств измерений теплофизических и температурных величин. МСИ проводились в соответствии с программой проведения МСИ средств измерений теплофизических и температурных величин, утвержденной провайдером.

В качестве образца контроля (ОК) выступал термометр лабораторный электронный «ЛТ-300». Лаборатории-участники выполняли испытания ОК в соответствии с методикой поверки ТКЛШ 2.822.000 МП [34] в контрольных точках: минус 45, 0, 100, 200 и 280 °С. При отсутствии у участника возможности

проведения измерений в некоторых точках (по техническим или иным причинам), измерения в этих точках не проводились.

В качестве референтной лаборатории выступала аккредитованная лаборатория (ОТТФХСИ) ФБУ «Томский ЦСМ»; участниками МСИ были пять лабораторий, каждой из которых был присвоен уникальный код для обеспечения конфиденциальности информации.

Результат предоставлялся в виде отклонения действительного значения температуры от заданного значения (т.е. абсолютная погрешности ОК) и интервала расширенной неопределенности измерения. Полученные результаты измерений лабораториями-участниками представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты измерений при проведении МСИ

| Код участника | Полученные результаты измерений, °C |                    |                    |                    |                    |
|---------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | - 45 °C                             | 0 °C               | 100 °C             | 200 °C             | 280 °C             |
| 1             | 0,028 ±<br>0,012                    | - 0,007 ±<br>0,013 | 0,005 ±<br>0,013   | - 0,090 ±<br>0,059 | - 0,173 ±<br>0,071 |
| 2             | —                                   | - 0,020 ±<br>0,036 | - 0,028 ±<br>0,036 | - 0,114 ±<br>0,068 | - 0,148 ±<br>0,068 |
| 3             | 0,026 ±<br>0,024                    | 0,010 ±<br>0,014   | - 0,023 ±<br>0,024 | - 0,108 ±<br>0,024 | - 0,142 ±<br>0,062 |
| 4             | 0,122 ±<br>0,051                    | 0,047 ±<br>0,023   | 0,134 ±<br>0,022   | 0,100 ±<br>0,061   | 0,080 ±<br>0,081   |
| 5             | 0,028 ±<br>0,048                    | - 0,038 ±<br>0,047 | - 0,036 ±<br>0,048 | —                  | —                  |
| 6             | 0,002 ±<br>0,059                    | 0,000 ±<br>0,058   | 0,010 ±<br>0,058   | 0,000 ±<br>0,245   | 0,010 ±<br>0,245   |

Исходя из таблицы 4.6 была построена таблица 4.7, в которой представлены результаты обработки данных с помощью МАП.

Таблица 4.7 – Обработка данных таблицы 4.6 с использованием МАП

| Контрольная точка                            | - 45 °С          | 0 °С               | 100 °С             | 200 °С             | 280 °С             |
|----------------------------------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Результат ( $x^* \pm \varepsilon^*$ ),<br>°С | 0,029 ±<br>0,011 | - 0,001 ±<br>0,004 | - 0,019 ±<br>0,020 | - 0,111 ±<br>0,021 | - 0,170 ±<br>0,035 |

На основании полученных данных организатором была проведена оценка МСИ с использованием z-индекса в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13528 [27]. Посредством полученного z-индекса выносятся решение об удовлетворительности, сомнительности либо неудовлетворительности результатов МСИ лаборатории-участника.

Также полученные результаты были обработаны МАП, представленном в данном разделе. В таблицах 4.8-4.12 представлены обобщенные результаты МСИ для пяти контрольных точек, полученные двумя методами.

Таблица 4.8 – Обобщенные результаты МСИ для контрольной точки минус 45 °С

| Информация о полученных результатах<br>испытаний | Приписанное значение<br>абсолютной погрешности ОК<br>0,028 °С |                |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------|
|                                                  | С<br>использованием<br>z-индекса                              | МАП            |
| Всего                                            | 4                                                             | 4              |
| Удовлетворительных (входит в НСП)                | 3                                                             | 3              |
| Неудовлетворительных (не входит в НСП)           | 1 (участник 4)                                                | 1 (участник 4) |
| Процент удовлетворительных результатов           | 75                                                            |                |

Таблица 4.9 – Обобщенные результаты МСИ для контрольной точки 0 °С

| Информация о полученных результатах испытаний | Приписанное значение абсолютной погрешности ОК<br>- 0,007 °С |                |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------|
|                                               | С<br>использованием<br>z-индекса                             | МАП            |
| Всего                                         | 5                                                            | 5              |
| Удовлетворительных (входит в НСП)             | 5                                                            | 4              |
| Неудовлетворительных (не входит в НСП)        | 0                                                            | 1 (участник 4) |
| Процент удовлетворительных результатов        | 100                                                          | 80             |

Таблица 4.10 – Обобщенные результаты МСИ для контрольной точки 100 °С

| Информация о полученных результатах испытаний | Приписанное значение абсолютной погрешности ОК<br>0,005 °С |                |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|----------------|
|                                               | С<br>использованием<br>z-индекса                           | МАП            |
| Всего                                         | 5                                                          | 5              |
| Удовлетворительных (входит в НСП)             | 4                                                          | 4              |
| Неудовлетворительных (не входит в НСП)        | 1 (участник 4)                                             | 1 (участник 4) |
| Процент удовлетворительных результатов        | 80                                                         | 80             |

Таблица 4.11 – Обобщенные результаты МСИ для контрольной точки 200 °С

| Информация о полученных результатах испытаний | Приписанное значение абсолютной погрешности ОК<br>- 0,090 °С |     |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
|                                               | С<br>использованием<br>z-индекса                             | МАП |
| Всего                                         | 4                                                            | 4   |
| Удовлетворительных (входит в НСП)             | 4                                                            | 4   |
| Неудовлетворительных (не входит в НСП)        | 0                                                            | 0   |
| Процент удовлетворительных результатов        | 100                                                          | 100 |

Таблица 4.12 – Обобщенные результаты МСИ для контрольной точки 280 °С

| Информация о полученных результатах испытаний | Приписанное значение абсолютной погрешности ОК<br>- 0,173 °С |     |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
|                                               | С<br>использованием<br>z-индекса                             | МАП |
| Всего                                         | 4                                                            | 4   |
| Удовлетворительных (входит в НСП)             | 4                                                            | 4   |
| Неудовлетворительных (не входит в НСП)        | 0                                                            | 0   |
| Процент удовлетворительных результатов        | 100                                                          | 100 |

Как видно из обобщенных таблиц 4.8-4.12, результаты участника под номером 4 оказались неудовлетворительными в двух контрольных точках при обработке организатором МСИ с использованием z-индекса и в трех контрольных точках при обработке МАП.

В работе [1] было доказано, что МАП характеризуется значительно большей робастностью по сравнению с другими методами обработки данных;

при использовании МАП в качестве опорного значения можно выбирать то, для которого получается НСП максимальной мощности.

Таким образом, участнику под номером 4 рекомендовано выяснить и устранить причины неудовлетворительных результатов. В качестве возможных причин неудовлетворительных результатов рекомендовано рассмотреть недостаточное точное соблюдение процедур, предусмотренных методикой поверки ТКЛШ 2.822.000 МП «Термометр лабораторный электронный «ЛТ-300». Методика поверки», недостаточную эффективность внутреннего контроля качества результатов измерений, правильность выбора эталонных средств измерений.

Для предоставленных данных также было определено условно истинное значение температуры в контрольной точке согласно рекомендации МОЗМ RI 33 [35]. Результаты представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Условно истинное значение температуры в контрольных точках

| Контрольная точка | - 45 °C           | 0 °C               | 100 °C             | 200 °C             | 280 °C             |
|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Результат, °C     | 45,006 ±<br>0,028 | - 0,019 ±<br>0,016 | 100,020 ±<br>0,012 | 200,057 ±<br>0,002 | 279,998 ±<br>0,066 |

В данном разделе была экспериментально проверена работоспособность МАП, применяемого к результатам практических сличений. Все представленные случаи показали, что опорное значение и соответствующая неопределенность, определенные по МАП, оказались достаточно близкими со значениями, которые были получены координаторами сличений.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Цель магистерской диссертации – предложение геометрического подхода к сравнительному анализу методов агрегирования предпочтений, а также использование МАП к обработке данных межлабораторных сличений. Следовательно, исследования, проведенные в рамках написания дипломной работы, не несут в себе особых денежных затрат.

В данном разделе комплексно описаны и проанализированы финансово-экономические аспекты выполненной работы. Произведена оценка полных денежных затрат на исследование, а также дана приближенная экономическая оценка результатов его внедрения. В заключении дана комплексная оценка научно-техническому уровню работы на основе экспертных данных.

### **5.1 Организация и планирование работ**

Рациональное планирование занятости каждого участника и сроков выполнения отдельных работ является необходимым условием при организации процесса реализации конкретного проекта. В данном пункте приводится полный перечень выполняемых работ, для которых определяются исполнители и рациональная продолжительность. Также строится линейный график реализации проекта, для которого сводятся в таблицу вышеуказанные данные. В таблице 5.1 представлен перечень выполненных в ходе диссертации работ, а также исполнители (Н – научный руководитель, С – студент) и их загрузка.

Таблица 5.1 – Перечень выполненных в ходе диссертации работ

| Номер<br>этапа | Этап работы                     | Исполнители | Загрузка<br>исполнителей |
|----------------|---------------------------------|-------------|--------------------------|
| 1              | Постановка целей и задач        | НР          | НР – 100 %               |
| 2              | Составление и<br>утверждение ТЗ | НР, С       | НР – 100 %<br>С – 20 %   |

Продолжение таблицы 5.1

|    |                                             |       |                        |
|----|---------------------------------------------|-------|------------------------|
| 3  | Подбор и изучение материалов                | НР, С | НР – 40 %<br>С – 100 % |
| 4  | Разработка календарного плана               | НР, С | НР – 100 %<br>С – 20 % |
| 5  | Обсуждение литературы                       | НР, С | НР – 20 %<br>С – 100 % |
| 6  | Проведение теоретических расчетов           | С     | С – 100 %              |
| 7  | Проведение экспериментов                    | С     | С – 100 %              |
| 8  | Сопоставление результатов                   | С     | С – 100 %              |
| 9  | Оценка эффективности полученных результатов | НР, С | НР – 40 %<br>С – 100 % |
| 10 | Оформление расчетно-пояснительной записки   | С     | С – 100 %              |
| 11 | Оформление графического материала           | С     | С – 100 %              |
| 12 | Подведение итогов                           | НР, С | НР – 50 %<br>С – 100 % |

### 5.1.1 Продолжительность этапов работ

Для расчета продолжительности этапов работ был использован опытно-статистический метод. Для определения ожидаемых значений продолжительности работ  $t_{ож}$  использовали следующую формулу:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{\min} + 2 \cdot t_{\max}}{5}, \quad (5.1)$$

где  $t_{\min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{\max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.

Для того, чтобы построить линейный график, необходимо произвести расчет длительности этапов в рабочих днях  $T_{РД}$ , после чего перевести ее в календарные дни. Использовали формулу:

$$T_{РД} = \frac{t_{ожс}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (5.2)$$

где  $K_{ВН}$  – коэффициент выполнения работ, который учитывает влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей (примем  $K_{ВН} = 1$ );

$K_{Д}$  – коэффициент, который учитывает дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ (примем  $K_{Д} = 1,2$ ).

Перевод продолжительности этапа из рабочих дней в календарные осуществляется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (5.3)$$

где  $T_{КД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$  – коэффициент календарности, который позволяет перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях. Этот коэффициент рассчитывается по формуле:

$$T_{К} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (5.4)$$

где  $T_{КАЛ}$  – число календарных дней ( $T_{КАЛ} = 365$ );

$T_{ВД}$  – число выходных дней (для 2016 года  $T_{ВД} = 53$ );

$T_{ПД}$  – число праздничных дней (для 2016 года  $T_{ПД} = 14$ ).

Подставив в формулу (5.4) числовые значения, получили  $T_{К} = 1,225$ .

В таблице 5.2 представлено определение продолжительности этапов работ, а также их трудоемкости по исполнителям, задействованным на каждом этапе.

Таблица 5.2 – Трудозатраты на выполнение диссертации

| Номер<br>этапа | Испол-<br>нители | Продолжительность<br>работ, дни |            |                  | Трудоемкость работ по<br>исполнителям, чел.-дн. |       |          |        |
|----------------|------------------|---------------------------------|------------|------------------|-------------------------------------------------|-------|----------|--------|
|                |                  |                                 |            |                  | $T_{PD}$                                        |       | $T_{KD}$ |        |
|                |                  | $t_{\min}$                      | $t_{\max}$ | $t_{о\ddot{u}c}$ | НР                                              | С     | НР       | С      |
| 1              | 2                | 3                               | 4          | 5                | 6                                               | 7     | 8        | 9      |
| 1              | НР               | 2,00                            | 5,00       | 3,20             | 3,84                                            | 0,00  | 4,70     | 0,00   |
| 2              | НР, С            | 1,00                            | 3,00       | 1,80             | 2,16                                            | 0,43  | 2,65     | 0,53   |
| 3              | НР, С            | 14,00                           | 20,00      | 16,40            | 7,87                                            | 19,68 | 9,64     | 24,11  |
| 4              | НР, С            | 2,00                            | 4,00       | 2,80             | 3,36                                            | 0,67  | 4,12     | 0,82   |
| 5              | НР, С            | 3,00                            | 6,00       | 4,20             | 1,01                                            | 5,04  | 1,23     | 6,17   |
| 6              | С                | 13,00                           | 17,00      | 14,60            | 0,00                                            | 17,52 | 0,00     | 21,46  |
| 7              | С                | 6,00                            | 9,00       | 7,20             | 0,00                                            | 8,64  | 0,00     | 10,58  |
| 8              | С                | 1,00                            | 3,00       | 1,80             | 0,00                                            | 2,16  | 0,00     | 2,65   |
| 9              | НР, С            | 4,00                            | 5,00       | 4,40             | 2,11                                            | 5,28  | 2,59     | 6,47   |
| 10             | С                | 15,00                           | 20,00      | 17,00            | 0,00                                            | 20,40 | 0,00     | 24,99  |
| 11             | С                | 7,00                            | 10,00      | 8,20             | 0,00                                            | 9,84  | 0,00     | 12,05  |
| 12             | НР, С            | 6,00                            | 9,00       | 7,20             | 4,32                                            | 8,64  | 5,29     | 10,58  |
| Итого          |                  |                                 |            | 88,8             | 24,67                                           | 98,30 | 30,22    | 120,42 |

Используя величины трудоемкости этапов по исполнителям  $T_{KD}$ , построили линейный график осуществления проекта, представленный в таблице 5.3. На графике работы для научного руководителя выделены косой штриховкой, а студента – сплошной заливкой.

Таблица 5.3 – Линейный график работ

| Номер<br>этапа | НР   | С    | Февраль                                                                             |    |    | Март |    |    | Апрель |    |    | Май |     |     | Июнь |     |
|----------------|------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|----|------|----|----|--------|----|----|-----|-----|-----|------|-----|
|                |      |      | 10                                                                                  | 20 | 30 | 40   | 50 | 60 | 70     | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130  | 140 |
| 1              | 4,70 | 0,00 |  |    |    |      |    |    |        |    |    |     |     |     |      |     |

Продолжение таблицы 5.3

|    |      |       |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
|----|------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 2  | 2,65 | 0,53  |  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 3  | 9,64 | 24,11 |                                                                                   |  |  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 4  | 4,12 | 0,82  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 5  | 1,23 | 6,17  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |  |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 6  | 0,00 | 21,46 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |  |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 7  | 0,00 | 10,58 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |  |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 8  | 0,00 | 2,65  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |  |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 9  | 2,59 | 6,47  |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |  |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 10 | 0,00 | 24,99 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |  |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |
| 11 | 0,00 | 12,05 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |  |                                                                                       |                                                                                       |
| 12 | 5,29 | 10,58 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |  |  |

### 5.1.2 Расчет накопления готовности проекта

В данном пункте оцениваются текущие состояния результатов работы над проектом. Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов по окончании текущего (*i*-го) этапа выполнен общий объем работ по проекту в целом.

Степень готовности проекта определяется по формуле:

$$CG_i = \frac{TP_i^H}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i TP_k}{TP_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m TP_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m TP_{km}}, \quad (5.5)$$

где  $TP_{общ.}$  – общая трудоемкость проекта;

$TP_i$  ( $TP_k$ ) – трудоемкость  $i$ -го ( $k$ -го) этапа проекта,  $i = \overline{1, I}$ ;

$TP_i^H$  – накопленная трудоемкость  $i$ -го этапа проекта по его завершении;

$TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) – трудоемкость работ, выполняемых  $j$ -м участником на  $i$ -м этапе,

здесь  $j = \overline{1, m}$  – индекс исполнителя ( $m = 2$ ).

Величины  $TP_{ij}$  ( $TP_{kj}$ ) определяются по таблице 5.2 из столбцов (6,  $j = 1$ ) и (7,  $j = 2$ ). Величина  $TP_{общ.}$  определяется суммой чисел из итоговых клеток этих столбцов. На основании полученных данных составили таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

| Этап работы                                 | $TP_i, \%$ | $CG_i, \%$ |
|---------------------------------------------|------------|------------|
| Постановка целей и задач                    | 3,12       | 3,12       |
| Составление и утверждение ТЗ                | 2,11       | 5,23       |
| Подбор и изучение материалов                | 22,40      | 27,63      |
| Разработка календарного плана               | 3,28       | 30,91      |
| Обсуждение литературы                       | 4,92       | 35,83      |
| Проведение теоретических расчетов           | 14,25      | 50,08      |
| Проведение экспериментов                    | 7,03       | 57,10      |
| Сопоставление результатов                   | 1,76       | 58,86      |
| Оценка эффективности полученных результатов | 6,01       | 64,87      |
| Оформление расчетно-пояснительной записки   | 16,59      | 81,46      |
| Оформление графического материала           | 8,00       | 89,46      |
| Подведение итогов                           | 10,54      | 100,00     |

## 5.2 Расчет сметы затрат на выполнение проекта

В данном пункте приведены все расходы, необходимые для реализации работ в рамках написания магистерской диссертации. Т.к. работа не предполагает расходы на услуги сторонних организаций, командировки и т.п., учитываются следующие затраты:

- материалы и покупные изделия;
- заработная плата;
- затраты на электроэнергию;
- амортизационные расходы;
- прочие расходы.

### 5.2.1 Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относят стоимость материалов и покупных изделий, приобретенных непосредственно для реализации проекта. Цена материальных ресурсов определяется соответствующими ценниками либо договорами поставки. Также включаются расходы на совершение сделки купли-продажи, т.е. транзакции (ТРЗ). Они приблизительно оцениваются в процентах к отпускной цене закупаемых материалов, как правило, это от 5 до 20 %. В таблице 5.5 представлены затраты на материалы для реализации проекта.

Таблица 5.5 – Расчет затрат на материалы

| Наименование материалов      | Цена за ед., руб. | Количество | Сумма, руб. |
|------------------------------|-------------------|------------|-------------|
| Заправка картриджа           | 250               | 1          | 250         |
| Пачка бумаги формата А4      | 200               | 1          | 200         |
| Цветные чернила для принтера | 95                | 3          | 285         |
| Итого                        |                   |            | 735         |

Размер ТРЗ выбирается самостоятельно исполнителем работы. Допустим, ТЗР составляет 7 % от отпускной цены материалов, следовательно, расходы с учетом ТЗР равны:

$$C_{mat} = 735 \cdot 1,07 = 786,45 \text{ руб.}$$

### 5.2.2 Расчет заработной платы

В данной статье расходов учитывается заработная плата научного руководителя (НР) и инженера, т.е. студента-дипломника (С), а также премии, входящие в фонд заработной платы. Основанием расчета основной заработной платы является трудоемкость выполнения каждого этапа и величина месячного оклада исполнителя. Оклады участников реализации проекта взяты на официальном сайте НИ ТПУ, причем за оклад студента взят оклад соответствующего специалиста собственной кафедры.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{дн-т}$ ) вычисляется по формуле, учитывающей, что в 2016 году 298 рабочих дней и, соответственно, в месяце в среднем 24,83 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе):

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{24,83}, \quad (5.6)$$

где  $МО$  – месячный оклад исполнителя работ.

В таблице 5.6 приведены расчеты затрат на полную заработную плату  $C_{ЗП}$ . Для каждого исполнителя затраты времени округлены и взяты из таблицы 5.2. Также используются коэффициенты премий ( $K_{П}$ ), дополнительной заработной платы ( $K_{доп.ЗП}$ ) районной надбавки ( $K_p$ ). Значения данных коэффициентов следующие:  $K_{П} = 1,1$ ;  $K_{доп.ЗП} = 1,188$ ;  $K_p = 1,3$ . Таким образом, переход от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, участвующего в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) осуществляется путем умножения тарифной суммы на интегральный коэффициент  $K_u = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$ . Данный коэффициент справедлив при расчетах для шестидневной рабочей неделе.

Таблица 5.6 – Затраты на заработную плату

| Исполни-<br>тель | Оклад,<br>руб./мес. | Среднедневная<br>ставка,<br>руб./раб. день | Затраты<br>времени,<br>раб. дни | Коэффициент<br>$K_u$ | Фонд<br>заработной<br>платы,<br>руб. |
|------------------|---------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| НР               | 33162,870           | 1335,600                                   | 25,000                          | 1,699                | 56729,480                            |
| С                | 7864,110            | 316,720                                    | 98,000                          | 1,699                | 52734,190                            |
| Итого $C_{3П}$   |                     |                                            |                                 |                      | 109463,700                           |

### 5.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Единый социальный налог (ЕСН) включает в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляющие 27 % от полной заработной платы по проекту. Затраты на ЕСН  $C_{соц} = 0,27 \cdot C_{3П} = 29555,19$  руб.

### 5.2.4 Расчет затрат на электроэнергию

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

$$C_{эл.об} = P_{об} \cdot t_{об} \cdot Ц_{э}, \quad (5.7)$$

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

$Ц_{э}$  – тариф на 1 кВт·час;

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

Для НИ ТПУ значение  $Ц_{э} = 5,782$  руб./ кВт·час с учетом НДС.

Время работы оборудования определяется на основе итоговых данных таблицы 5.2 ( $T_{РД}$ ) для исполнителя С из расчета восьмичасового рабочего дня по следующей формуле:

$$t_{об} = T_{PD} \cdot K_t, \quad (5.8)$$

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

Мощность, потребляемая оборудованием, вычисляется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном} \cdot K_C, \quad (5.9)$$

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

$K_C$  – коэффициент загрузки, который зависит от средней степени использования номинальной мощности. Приняли  $K_C = 1$ , т.к. использовали технологическое оборудование малой мощности.

В таблице 5.7 представлен расчет затрат на электроэнергию для технологических целей.

Таблица 5.7 – Затраты на технологическую электроэнергию

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

### 5.2.5 Расчет амортизационных расходов

В данной статье рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта. Используется следующая формула:

$$C_{AM} = \frac{H_A \cdot C_{об} \cdot t_{pf} \cdot n}{F_D}, \quad (5.10)$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$C_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы оборудования. В 2016 г. (298 рабочих дней при шестидневной рабочей неделе) примем  $F_D = 298 \cdot 8 = 2384$  часа;

$t_{pf}$  – фактическое время работы оборудования;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

Для расчета значения  $H_A$  необходимо знать рамочные значения сроков амортизации оборудования  $C_A$ . Величина  $H_A$  является обратной величине  $C_A$ . В таблице 5.8 представлены расчеты амортизационных расходов.

Таблица 5.8 – Амортизационные расходы

| Наименование оборудования | $C_A$ , лет | $H_A$ | $C_{об}$ , руб. | $t_{pf}$ , час | $n$  | $C_{AM}$ , руб. |
|---------------------------|-------------|-------|-----------------|----------------|------|-----------------|
| Персональный компьютер    | 2,50        | 0,40  | 50000,00        | 550,50         | 1,00 | 4618,31         |
| Струйный принтер          | 2,00        | 0,50  | 13500,00        | 15,73          | 1,00 | 44,53           |
| Итого                     |             |       |                 |                |      | 4662,84         |

### 5.2.6 Расчет прочих расходов

В статье прочих расходов учитываются расходы на выполнение проекта, которые не были учтены в предыдущих статьях. Их принимают равными 10 % от суммы всех предыдущих расходов, т.е.  $C_{проч} = 0,1 \cdot (C_{мат} + C_{ЗП} + C_{соц} + C_{эл.об} + C_{AM})$ . Получили значение 14578,23 руб.

### 5.2.7 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, определили общую себестоимость проекта «Геометрический подход к сравнительному анализу методов агрегирования предпочтений». В таблице 5.9 представлена смета затрат.

Таблица 5.9 – Смета затрат на разработку проекта

| Статья затрат                 | Условное обозначение | Сумма, руб. |
|-------------------------------|----------------------|-------------|
| Материалы и покупные изделия  | $C_{\text{мат}}$     | 786,45      |
| Основная заработная плата     | $C_{\text{ЗП}}$      | 109463,70   |
| Отчисления в социальные фонды | $C_{\text{соц}}$     | 29555,19    |
| Расходы на электроэнергию     | $C_{\text{эл.об}}$   | 1314,13     |
| Амортизационные отчисления    | $C_{\text{АМ}}$      | 4662,84     |
| Прочие расходы                | $C_{\text{проч}}$    | 14578,23    |
| Итого                         |                      | 160360,51   |

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 160360,51$  руб.

### 5.2.8 Расчет прибыли

При отсутствии у исполнителя данных для применения «сложных» методов определения прибыли от реализации проекта, принимается значение в размерах от 5 до 20 % от полной себестоимости проекта. Будем считать, что она составила 10 %, тогда прибыль от реализации проекта – 16036,05 руб.

### 5.2.9 Расчет НДС

На сегодняшний день НДС составляет 18 % от суммы затрат на разработку и прибыли. Тогда для данного проекта НДС принимает значение 31751,38 руб.

### 5.2.10 Цена разработки НИР

Цена разработки НИР равна полной себестоимости, прибыли и НДС, т.е.  
 $C_{НИР} = 208147,94$  руб.

### 5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Экономический эффект от разработки носит универсальный общепроизводственный и общенаучный характер и определяется областями, которым присущи высокоточные измерения любых количественных показателей.

Величина эффекта может определяться только условно (в зависимости от диапазона применения методики) в результате специально организованного объемного исследования, что выходит за рамки представленной работы.

### 5.4 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень показывает, насколько проект влияет на уровень и динамику обеспечения научно-технического прогресса в области исследования. Чтобы определить научную ценность, техническую значимость и эффективность НИР, используются балльные оценки, т.е. каждый фактор оценивается определенным количеством баллов. Далее проводится обобщенная оценка по сумме баллов всех показателей. На основании обобщенной оценки делается вывод о целесообразности НИР.

Метод балльных оценок заключается в том, что на основании оценок признаков работы вычисляется интегральный индекс ее научно-технического уровня (НТУ) по следующей формуле:

$$I_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (5.11)$$

где  $I_{НТУ}$  – интегральный индекс научно-технического уровня;

$R_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$n_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта в баллах.

В таблице 5.10 представлены частные оценки уровня  $n_i$  и их краткое обоснование.

Таблица 5.10 – Оценка научно-технического уровня НИР

| Значимость | Признак НТУ                      | Уровень фактора   | Выбранный балл | Обоснование выбранного балла                                                                    |
|------------|----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,4        | Уровень новизны ( $n_1$ )        | Новая             | 6              | МАП получает результаты точнее, чем другие методы, принятые мировым метрологическим сообществом |
| 0,1        | Теоретический уровень ( $n_2$ )  | Разработка метода | 6              | Разработка нового метода обработки интервальных данных                                          |
| 0,5        | Возможность реализации ( $n_3$ ) | От 5 до 10 лет    | 4              | Внедрение нового метода занимает длительный период времени                                      |

Исходя из данных таблицы 5.11, получили следующее значение интегрального показателя НТУ для проекта:

$$I_{НТУ} = 0,4 \cdot 6 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 4 = 2,4 + 0,6 + 2,0 = 5,0.$$

Следовательно, данный проект имеет средний уровень научно-технического эффекта.

## **6 Социальная ответственность**

Международный стандарт ISO 26000:2010 «Руководство по социальной ответственности» [36] является руководством по принципам, которые лежат в основе социальной ответственности, основных тем и проблем социальной ответственности, а также способам интеграции социально ответственного поведения в стратегии и процессы организации [37].

В данном стандарте социальная ответственность определяется как ответственность организации за воздействие ее решений и деятельности на общество и окружающую среду через прозрачное и этическое поведение, которое:

- содействует устойчивому развитию, включая здоровье и благосостояние общества;
- учитывает ожидания заинтересованных сторон;
- соответствует применяемому законодательству и согласуется с международными нормами поведения;
- интегрировано в деятельность всей организации и применяется в ее взаимоотношениях [36].

Объектом исследования магистерской диссертации являются интервальные данные, в виде которых предоставляются данные кураторам сличений различных уровней.

Согласно техническому заданию (ТЗ) в ходе работы должны быть рассмотрены основные правила агрегирования предпочтений, разобраны геометрические аспекты обработки интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений, а также применен метод агрегирования предпочтений (МАП) для обработки данных межлабораторных сличений.

Проведение исследований осуществлялось в учебной аудитории Кафедры систем управления и мехатроники. Данная аудитория оснащена рабочими местами, компьютеры студенты приносят с собой по мере необходимости.

В данном разделе будет рассмотрена профессиональная социальная ответственность, т.е. вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при

проведении исследований, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

## **6.1 Производственная безопасность**

### **6.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования**

Согласно ГОСТ 12.0.003 [38] опасные и вредные производственные факторы делятся на следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

Поскольку исследования проводились в учебной лаборатории, список вредных факторов ограничивается работами с персональным компьютером (ПК). Перечень данных факторов представлен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Перечень опасных и вредных факторов, создаваемых объектом исследования

| Источник фактора, наименование работ | Факторы                                                                                                                                          |                   | Нормативные документы                                                                                                     |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                      | Вредные                                                                                                                                          | Опасные           |                                                                                                                           |
| Работа с ПК                          | Температура; влажность; скорость движения воздуха; напряженность зрения; естественное и искусственное освещение; шум; электромагнитное излучения | Электрический ток | Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4-548-96 [39]; естественное и искусственное |

*Продолжение таблицы 6.1*

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | освещение СП 52.13330.2011 [40]; Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [41]; Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [42]; Защитное заземление, зануление, ГОСТ 12.1.030 [43] |
|--|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Представленные в таблице 6.1 факторы могут повлиять на здоровье исследователя, привести к аварийной ситуации, поэтому необходимо устанавливать эффективный контроль за соблюдением требований и норм, предъявляемых к их параметрам.

### **6.1.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в учебной аудитории при проведении исследований**

Улучшению условий труда для пользователей ПК в последнее десятилетие уделяется большое внимание. Основной фактор, влияющий на производительность труда пользователя ПК, – комфортное и безопасное условие труда. При несоблюдении эргономики могут возникнуть довольно серьезные последствия.

При проведении исследований в учебных аудиториях важную роль играет организация рабочего места. Она должна соответствовать правилам охраны труда и удовлетворять требованиям удобства выполнения работы, экономии энергии и времени оператора.

Основной документ, который определяет условия труда на персональных электронно-вычислительных машинах (ПЭВМ), – санитарные нормы и правила [42]. В данном документе регламентируются основные требования к помещениям, микроклимату, шуму, вибрации, освещению помещений и рабочих мест, организации и оборудованию рабочих мест.

Опасность поражения электрическим током является основным опасным фактором. Согласно правилам ПУЭ [44] и исходя из анализа состояния аудитории, по степени опасности поражения электрическим током ее можно отнести к классу помещений без повышенной опасности.

### **6.1.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов**

Основная задача производственной санитарии – изучение причин, условий и производственных факторов, которые отрицательно влияют на здоровье работающего, организация мероприятий для предупреждения профессиональных заболеваний, а также оздоровление условий труда и повышение его производительности.

#### **6.1.3.1 Микроклимат**

В рабочем помещении должны быть обеспечены оптимальные параметры микроклимата, т.к. эти параметры обеспечивают хорошее самочувствие человека, состояние теплового комфорта, необходимую работоспособность. Как результат, повышается производительность труда. Чтобы обеспечить на рабочем месте благоприятные условия работы, которые соответствуют физиологическим

потребностям человеческого организма, в санитарных нормах [39] установлены оптимальные и метеорологические условия для рабочей зоны помещения. В тех случаях, когда по технологическим требованиям и иным обоснованиям не могут быть обеспечены оптимальные параметры, устанавливаются допустимые. Допустимые условия микроклимата не вызывают нарушений здоровья у человека, но могут явиться причиной возникновения теплового дискомфорта, ухудшения самочувствия и снижения работоспособности.

Показателями, которые характеризуют микроклимат рабочей зоны, являются:

- температура воздуха, °С;
- относительная влажность воздуха, %;
- скорость движения воздуха, м/с.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 [39] в таблице 6.2 представлены оптимальные показатели микроклимата рабочей зоны, допустимые – в таблице 6.3.

Таблица 6.2 – Оптимальные показатели микроклимата

| Период года | Температура воздуха, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Теплый      | 23-25                   | 40-60                              | 0,1                            |
| Холодный    | 22-24                   | 40-60                              | 0,1                            |

Таблица 6.3 – Допустимые показатели микроклимата

| Период года | Температура воздуха, °С           |                                   | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с    |                                   |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|             | Диапазон ниже оптимальных величин | Диапазон выше оптимальных величин |                                    | Диапазон ниже оптимальных величин | Диапазон выше оптимальных величин |

*Продолжение таблицы 6.3*

|               |           |           |       |     |     |
|---------------|-----------|-----------|-------|-----|-----|
| Теп-<br>лый   | 21,0-22,9 | 24,1-25,0 | 15-75 | 0,1 | 0,2 |
| Холод-<br>ный | 20,0-21,9 | 25,1-28,0 | 15-75 | 0,1 | 0,1 |

Для рабочей зоны параметры микроклимата соответствуют допустимым значениям. В учебной аудитории водяная система отопления, для поддержания необходимой комфортной температуры помещения используется кондиционер. Для обеспечения естественной вентиляции воздуха во время перерыва аудитория проветривается.

#### **6.1.3.2 Освещение**

Рациональное освещение помещения и рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условий труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. Нерациональное освещение может вызвать утомление организма, зрения, а также травматизм на рабочем месте.

В учебной аудитории применяется совместное освещение. Основной источник освещения – шесть потолочных светильников фирмы Philips с зеркальными решетками, в каждом по четыре люминесцентные лампы типа TL-D с мощностью 60 Вт. Светильники имеют квадратную форму со стороной 0,54 м и создают равномерное освещение всей аудитории. Схема расположения светильников представлена на рисунке 6.1.

В соответствии с СП 52.13330.2011 [40] работа за компьютером с относительной продолжительностью зрительной работы менее 70 % относится к разряду II, подразряду Б.

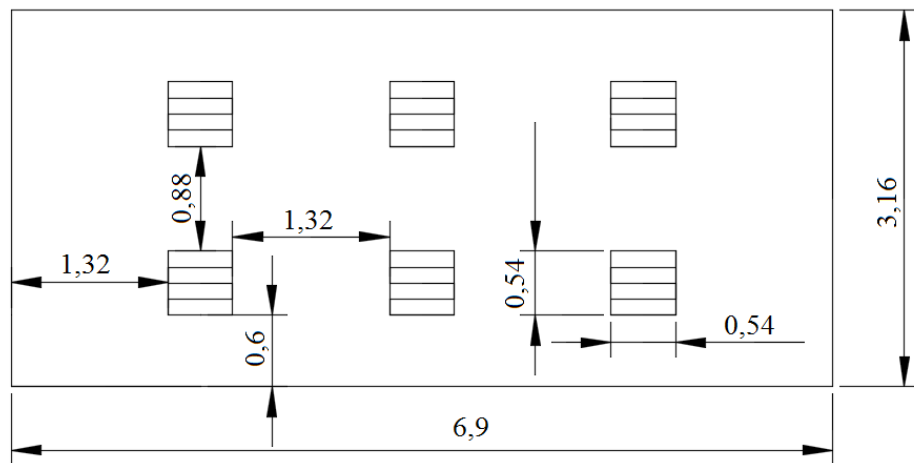


Рисунок 6.1 – Расположение светильников в аудитории

В помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения  $E_n$  должна быть не менее 300 лк. Коэффициент пульсации освещенности  $K_n$  не должен превышать 5 %, коэффициент естественной освещенности (КЕО) не должен превышать 2,1 % в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 [41] и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [42].

Расчет искусственного освещения для учебной аудитории.

Данные для расчета:

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

Рассчитали индекс помещения  $i$  по формуле (6.1):

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

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

Исходя из значения индекса помещения определили коэффициент использования светового потока  $\eta = 38 \%$ .

Требуемый световой поток нашли по формуле (6.2):

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

В результате получили значение  $\Phi = 12967,11$  лм.

В каждом светильнике 4 лампы со световым потоком 2500 лм. Таким образом, необходимое число светильников в ряду должно быть равно одному.

Рассчитали фактическое освещение в помещении. Получили значение светового потока  $\Phi = 30000$  лм для одного ряда светильников, т.е. для трех светильников с четырьмя лампами. На основании полученного значения рассчитали фактическое значение освещения в помещении по формуле (6.3):

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

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

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

### 6.1.3.3 Шум

Длительное воздействие шума на рабочем месте крайне негативно сказывается на работающем: происходит снижение внимания, увеличение расхода энергии при одинаковой физической нагрузке, замедление скорости реакций и т.д. Как результат, производительность труда падает и снижается качество выполняемой работы.

Согласно санитарным правилам и нормам [42] в учебной аудитории, предназначенной для работы с ПЭВМ, предельно допустимый уровень звука не должен превышать значение 50 дБ. Основные источники шума в аудитории – компьютер, кондиционер и люминесцентные лампы. Учебный корпус находится

вдали от центральных улиц, автомобильных дорог, железнодорожных путей и аэропортов. По субъективным ощущениям на рабочем месте уровень шума не превышает допустимого значения.

#### 6.1.3.4 Электромагнитное излучение

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

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

Временно допустимые уровни (ВДУ) ЭМП при работе с компьютером приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Временно допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах [45]

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

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз. Также должна быть учтена схема размещения рабочих мест с компьютерами: расстояние между рабочими местами – 2 м, между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м.

Компьютер, на котором проводилось выполнение исследования, оснащен LCD монитором, напряженность ЭМП которого менее 2,5 В/м, что соответствует норме.

#### **6.1.3.5 Электрический ток**

Согласно ГОСТ 12.1.019 [46] учебная аудитория является помещением без повышенной опасности, т.е. отсутствуют какие-либо условия, создающие опасность: оно сухое, хорошо отапливаемое, полы токонепроводящие, температура и влажность соответствует нормам. В аудитории отсутствуют электроустановки, за исключением кондиционера и приносимого с собой пользователем компьютера.

Деятельность непосредственно связана с ПЭВМ, токоведущие части которого изолированы, т.е. случайное прикосновение к токоведущим частям исключено. Также в аудитории присутствует кондиционер, у которого также имеется изоляция токоведущих частей.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление.

Заземление корпуса ПЭВМ, а также кондиционера обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно ПУЭ [7] для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Основное организационное мероприятие по электробезопасности – инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе.

## **6.2 Экологическая безопасность**

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

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

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

## **6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **6.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

Как было указано ранее, при выполнении исследований в рамках магистерской диссертации деятельность основывалась исключительно на использовании ПЭВМ.

Объект исследования, т.е. интервальные данные, не могут инициировать ЧС. Следовательно, можно говорить только о тех ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований вне зависимости от объекта.

### **6.3.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в аудитории при проведении исследований**

В данном пункте будет рассмотрен наиболее вероятный вид ЧС в учебной аудитории – пожар.

Учебная аудитория не предполагает работу с горючими веществами и материалами в горячем состоянии, а предназначена только для проведения лекционных занятий и работы с ПЭВМ. Таким образом, согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [47] аудитория относится к классу помещений с пониженной пожароопасностью – Д.

Основными причинами пожара могут явиться:

- несоблюдение норм пожарной безопасности сотрудниками либо студентами;
- нарушение технологического процесса;
- использование неисправного оборудования;
- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- курение в неположенном месте.

### **6.3.3 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Во избежание возникновения пожара необходимо выполнение следующих требований:

- выполнение работ в аудитории только с исправным оборудованием и электропроводки;

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

Аудитория, в которой проводилось исследование, находится в учебном корпусе 18. Данное здание соответствует всем требованиям пожарной безопасности: имеется система охранно-пожарной сигнализации, порошковые огнетушители, планы эвакуации и таблички с направлениями к запасному выходу. План эвакуации этажа, на котором расположена учебная аудитория, представлен на рисунке 6.2.

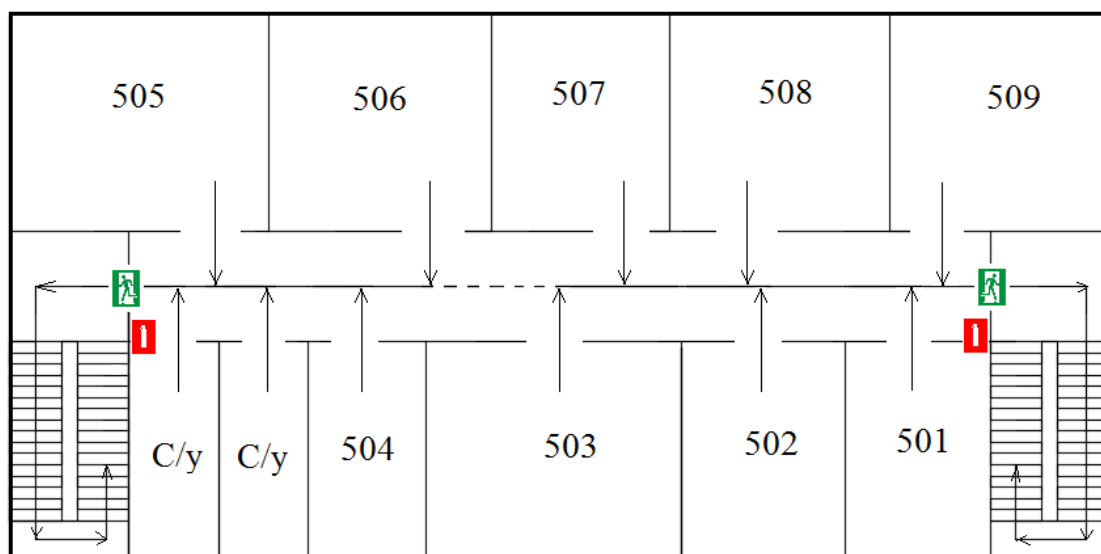


Рисунок 6.2 – План эвакуации при пожаре

## 6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

### 6.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В системе источников трудового отражается как единство, так и дифференциация трудового законодательства.

Под единством трудового законодательства понимаются общие нормы трудового законодательства, выражающиеся:

- в принципах правового регулирования труда, являющимися общими для всех производств на всей территории страны;
- в единых основных трудовых правах для всех работников.

Дифференциация правового регулирования труда определяется специальными нормами, которые применяются лишь к определенной категории работников. Основаниями для дифференциации являются:

- вредность и тяжесть условий труда;
- климатические условия Крайнего Севера и приравненных к нему мест;
- другие субъектные основания и специфики конкретной трудовой области.

Виды специальных норм трудового права:

- нормы-льготы (различного рода компенсации, пособия и льготы);
- нормы-приспособления (адаптирующие общие нормы к специфике отрасли);
- нормы-изъятия (обоснованные ограничения общих трудовых прав).

Деятельность по написанию магистерской диссертации осуществлялась в г. Томск, который относится к районам Крайнего Севера и приравненных к ним местностям. Таким образом, при расчете в разделе 5 заработной платы как научного руководителя, так и студента-дипломника был учтен вид специальных норм трудового права, а именно норма-льгота в виде районного коэффициента 1,3.

## **6.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

### **6.4.2.1 Организация рабочего места**

В соответствии с ГОСТ 12.2.032 [48] конструкция рабочего места и взаиморасположение всех его элементов должны соответствовать физиологическим, антропометрическим и психологическим требованиям, а также характеру производимой работы.

Согласно санитарным нормам и правилам [42] высота рабочей поверхности в среднем устанавливается на уровне нерегулируемой высоты в 0,725 м. В учебной аудитории высота рабочей поверхности не регулируется и составляет 0,7 м. Пространство для ног должно быть не менее 0,6 м, шириной – не менее 0,5 м, глубиной на уровне колен – не менее 0,45 м.

Высота сиденья устанавливается на уровне 0,42 м.

Монитор компьютера следует размещать на расстоянии от 0,6 до 0,7 м и на 20 градусов ниже глаз пользователя. Схема рабочего места представлена на рисунке 6.3.

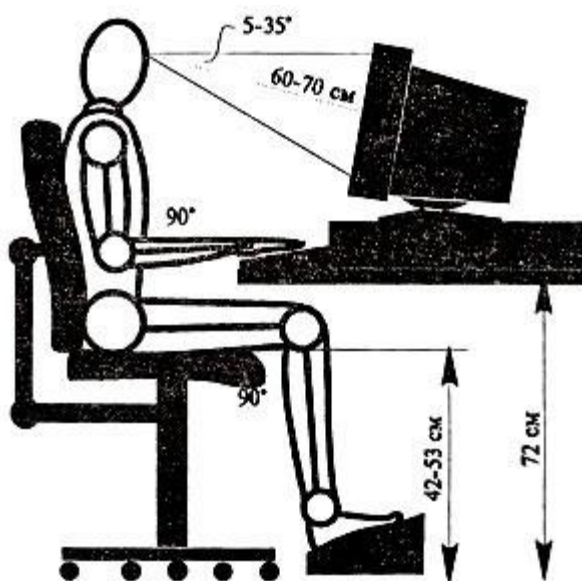


Рисунок 6.3 – Схема рабочего места при работе с ПЭВМ

Для обеспечения оптимальных условий труда пользователя ПЭВМ необходимо также учитывать следующие факторы:

- освещение;
- шум;
- микроклимат.

Требования к выше названным факторам были подробно описаны в 6.1.3.1, 6.1.3.2 и 6.1.3.3.

#### **6.4.2.3 Режим труда и отдыха**

В санитарных нормах [42] установлено, что вид выполняемой деятельности относится к группе В, т.е. является творческой работой в режиме диалога с ПЭВМ. Для группы В категория тяжести и напряженности работы устанавливается по суммарному времени работы с ПЭВМ за рабочую смену.

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

## Заключение

В ходе работы были рассмотрены геометрические аспекты метода комплексирования интервальных данных с помощью агрегирования предпочтений, а также практическое применение метода агрегирования предпочтений к результатам межлабораторных сличений.

Были проанализированы основные правила агрегирования предпочтений с точки зрения применения к ним геометрического подхода. Было показано, как комплексирование интервальных данных позволяет представлять их в виде ранжирований, т.е. преобразовывать из пространства непрерывных значений в пространство дискретных значений.

Были рассмотрены основные свойства пространства ранжирований, наведенных интервалами, – инранжирований, показано, как меняется структура этого пространства в зависимости от мощности  $n$  разбиения диапазона актуальных значений.

Была проведена обработка результатов межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений, после чего проведен сравнительный анализ результатов, полученных в рамках данной работы, и результатов, полученных организатором сличений. Было установлено, что метод обработки результатов межлабораторных сличений, используемый организатором, выявил два неудовлетворительных результата, а метод агрегирования предпочтений – три результата.

Таким образом, была подтверждена целесообразность использования метода агрегирования предпочтений, а также его робастность по сравнению с другими методами.

Полученные результаты позволяют рекомендовать метод агрегирования предпочтений к применению в области обработки интервальных данных результатов измерений.

### **Список публикаций**

1 Muravyov, S.V. Numerical experimental investigation of comparison data evaluation method using preference aggregation / Sergey V. Muravyov, Irina A. Marinushkina, Daiana D. Garif // ACTA IMEKO. – 2017. – Vol. 6. – № 1 – P. 20-26.

### Список использованных источников

- 1 Маринушкина И.А. Обработка данных сличений электрических величин методом агрегирования предпочтений: дис. канд. техн. наук: 05.11.01. – Томск., 2015. – 147 с.
- 2 Кемени, Дж. Кибернетическое моделирование. / Дж., Кемени, Дж. Снелл – М.: Сов. радио, 1972. – 192 с.
- 3 Kemeny, J. Mathematics without numbers / J. Kemeny // Daedalus. – 1959. – Vol. 88. – P. 571–591.
- 4 Metropolis, N. The Monte Carlo Method / N. Metropolis, S. Ulam // Journal of the American Statistical Association. – 1949. – № 44 – P. 335-341.
- 5 NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, 1.3.6.6.18. Binomial Distribution <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda366i.htm>.
- 6 Young, H.P. Optimal voting rules / H.P. Young // Journal of Economic Perspectives. – 1995. – № 9. – P. 51-64.
- 7 Литвак, Б.Г. Экспертная информация: Методы получения и анализа. / Б.Г. Литвак – М.: Радио и связь, 1982. – 184 с.
- 8 Метод Борда //ru.wikipedia.org Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_Борда](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_Борда) – Загл. с экрана (дата обращения: 25.10.2015).
- 9 Парадокс Кондорсе //ru.wikipedia.org Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс\\_Кондорсе](https://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс_Кондорсе) – Загл. с экрана (дата обращения: 30.10.2015).
- 10 Dutta, B. Covering sets and a new Condorcet choice correspondence / B. Dutta // Journal of Economic Theory. – 1988. –44. – P. 63-80.
- 11 Barthelemy, J.P., Arrow's theorem: unusual domains and extended codomains / J.P. Barthélemy // Mathematical Social Sciences. – 1982 – Vol. 3. – Issue 1. – P. 79-89.
- 12 Muravyov, S.V. Multiple solutions of an exact algorithm for determination of all Kemeny rankings: preliminary experimental results / S.V.Muravyov, E.V.Tarakanov // Proc. Intern. Conf. on Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems (ICIMCS

- 2011, 13-14 December 2011, Hong Kong) ASME Press New York. – Vol. 1. – P. 17-20.
- 13 Box, G.E.P. A note on the generation of random normal deviates / G.E.P. Box, M.E. Muller // The Annals of Mathematical Statistics. – 1958. – Vol. 29. – № 2. – P. 610-611.
- 14 Muravyov, S.V. Ordinal measurement, preference aggregation and interlaboratory comparisons / S.V.Muravyov // Measurement. – 2013. – Vol. 46. – № 8. – P. 2927-2935.
- 15 Muravyov, S.V. Rankings as ordinal scale measurement results / S.V. Muravyov // Metrology and Measurement Systems. – 2007. – Vol. XIII. – №. 1 – P. 9-24.
- 16 Nielsen, J., A mathematical model of the finding of usability problems / J. Nielsen, T.K. Landauer // Proceedings of the ACM/IFIP INTERCHI'93 Conference, IOS Press, The Netherlands, Amsterdam. – 1993. – P. 206-213.
- 17 Blumenthal, S. Estimating the Binomial Parameter  $n$  / S. Blumenthal, R.C. Dahiya // Journal of the American Statistical Association. – 1981. – Vol. 76. – № 376. – P. 903-909.
- 18 Фридман, А.А. Дискретные задачи и метод ветвей и границ / А.А. Фридман, А.А. Вотяков А.А. // Экономика и математические методы. – 1974. – №. 3. – С. 611-621.
- 19 Маринушкина, И.А. Разработка программного комплекса для моделирования и обработки результатов межлабораторных сличений / И.А. Маринушкина, С.А. Хруль // Научная сессия ТУСУР–2015: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 13–15 мая 2015 г.): В-Спектр, 2015. – Ч. 4. – С. 232-234.
- 20 Проклятие размерности //machinelearning.ru MachineLearning.ru. Профессиональный информационно-аналитический ресурс, посвященный машинному обучению, распознаванию образов и интеллектуальному анализу данных. URL: [https:// http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Проклятие\\_размерности](https://http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Проклятие_размерности) – Загл. с экрана (дата обращения: 01.03.2016).

- 21 B. Parhami, Distributed Interval Voting with Node Failures of Various Types, in: Proc 12th IEEE Workshop on Dependable Parallel, Distributed and Network-Centric Systems, DPDNS '07, 2007. – P. 1-7.
- 22 R.E. Moore, R.B. Kearfott, M.J. Cloud, Introduction to Interval Analysis, SIAM, 2009.
- 23 Peter C. Fishburn. Interval orders and interval graphs: A study of partially ordered sets. — New York, 1985.
- 24 РМГ 29-2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 60 с.
- 25 ГОСТ ISO/IEC. 17043-2013. Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации. – М.: Стандартинформ, 2013. – 39 с.
- 26 Маринушкина, И.А. Межлабораторные сличения как инструмент оценки качества работы измерительных лабораторий / Маринушкина, И.А. // Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Россия молодая". (21-24 апреля 2015 г., Кемерово) – С. 1-3.
- 27 ГОСТ Р ИСО 13528-2010. Статистические методы. Применение при экспериментальной проверке компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний. – М.: Стандартинформ, 2012. – 61 с.
- 28 Ефремова, Н.Ю. Опыт оценивания данных межлабораторных сличений калибровочных и поверочных лабораторий / Н.Ю.Ефремова, А.Г.Чуновкина // Измерительная техника. – 2007. – № 6. – С. 15-21.
- 29 Воробьева, Н.В. Предварительные результаты применения алгоритма нахождения отношения консенсуса в межлабораторных сравнительных испытаниях / Н.В. Воробьева, И.А. Маринушкина // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 9-13 апреля 2012 г.), Томск: ТПУ, 2012. – Т. 1 – С. 179-180.

- 30 Муравьев, С.В. Алгоритмы голосования в программах проверки квалификации испытательных лабораторий / С.В. Муравьев, И.А. Маринушкина // Ползуновский вестник. – 2015. – № 2. – С. 31-35.
- 31 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612263 (RU); заявка № 2014663437 от 23.12.2014, дата рег. 16.02.2015; Бюл. № 3 от 20.03.2015 // С.В. Муравьев, И.А. Маринушкина, С.А. Хруль. Программный комплекс для моделирования и обработки результатов межлабораторных сличений.
- 32 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015612262 (RU); заявка № 2014663436 от 23.12.2014, дата рег. 16.02.2015; Бюл. № 3 от 20.03.2015 // С.В. Муравьев, И.А. Маринушкина, С.А. Хруль. Программное обеспечение для обработки результатов межлабораторных сличений методом агрегирования предпочтений.
- 33 Box, G.E.P. A note on the generation of random normal deviates / G.E.P. Box, M.E. Muller // The Annals of Mathematical Statistics. – 1958. – Vol. 29. – № 2. – P. 610-611.
- 34 ТКЛШ 2.822.000 МП. Термометр лабораторный электронный «ЛТ-300». Руководство по эксплуатации. – 16 с.
- 35 Международная рекомендация МОЗМ Р 93. Диоптриметры. – 1999 г. – 27 с.
- 36 ГОСТ Р ИСО 26000-2012. Руководство по социальной ответственности. – М.: Стандартинформ, 2012. – 61 с.
- 37 ISO 26000 //ru.wikipedia.org Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ISO\\_26000](https://ru.wikipedia.org/wiki/ISO_26000) – Загл. с экрана (дата обращения: 14.05.2017).
- 38 ГОСТ 12.0.003-74. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1974. – 4 с.
- 39 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 20 с.

- 40 Свод правил: СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение. – М.: Минрегион России, 2011. – 74 с.
- 41 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 2003. – 24 с.
- 42 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 43 ГОСТ 12.1.030–81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1981. – 10 с.
- 44 Правила устройства электроустановок: ПУЭ 7. Издание 7. – М.: Госэнергонадзором Минэнерго России, 2003.
- 45 Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003.
- 46 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – М.: Стандартиформ, 2010. – 27 с.
- 47 Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123 – ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями от 23 июня 2014) [Электронный ресурс] – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_159028/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_159028/) – Загл. с экрана (дата обращения 14.05.2017).
- 48 ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 9 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Алгоритм 1

**Вход:**

$\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$ : профиль предпочтения

**Пусть:**

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ : множество альтернатив

$P = [p_{ij}]$ :  $(n \times n)$  матрица профиля

$P_u$ : верхняя треугольная подматрица матрицы  $P$

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ : частичное решение (лидер)

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_{K-n}\}$ : дополнение  $S$  до полного порядка

$K = 0, \dots, n - 1$ : уровень дерева поиска

$D$ : сумма элементов  $P_u$ , соответствующих текущему лидеру

$D_u$ : верхняя граница

$D_{Low}$ : нижняя граница

$N_n = \{1, 2, \dots, n\}$ : первые  $n$  натуральных чисел

$N_{kem}$ : число ранжирований консенсуса

$\beta_{Nkem}$ : ранжирование консенсуса

[формирование матрицы профиля  $P$ ]

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

2:     **for**  $j = i + 1$  **to**  $n$  **do**

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

4:             **if**  $a_i^{k_i} \sim a_j^{k_j}$  **then**  $p_{ij} \leftarrow p_{ij} + 1$ ;  $p_{ji} \leftarrow p_{ji} + 1$

5:             **if**  $a_i^{k_i} \prec a_j^{k_j}$  **then**  $p_{ij} \leftarrow p_{ij} + 2$

6:             **if**  $a_i^{k_i} \succ a_j^{k_j}$  **then**  $p_{ji} \leftarrow p_{ji} + 2$

**end for**

**end for**

**end for**

[нахождение ранжирования консенсуса]

7:  $D_u \leftarrow \infty$ ;  $S \leftarrow \emptyset$ ;  $T \leftarrow N_n$ ;  $N_{kem} \leftarrow 1$  [инициализация]

8:  $LEADER(1, 0)$  [вызов рекурсивной процедуры]

9: **procedure**  $LEADER(K, D)$ : [рекурсивная процедура]

10: **for**  $l = 1$  **to**  $n - K + 1$  **do**

11:      $s_K \leftarrow t_l$ ;  $T \leftarrow T - \{t_l\}$ ; [ветвление]

[изменение расстояния из-за расширения лидера  $S$ ]

12:      $D_e \leftarrow D + \sum_{i=1, \dots, n-K} p_{s_K t_i}$ ;

[изменение нижней границы]

13:      $D_{Low} \leftarrow D_e + \sum_{\substack{i=1, \dots, n-K \\ j=i+1, \dots, n-K}} \min(p_{t_i t_j}, p_{t_j t_i})$ ;

14:     **if**  $D_{Low} \leq D_u$  **then**

15:         **if**  $K < n - 1$  **then**  $LEADER(K + 1, D_e)$

16:         **else**

17:             **if**  $D_{Low} = D_u$  **then**  $N_{kem} \leftarrow N_{kem} + 1$  **else**  $N_{kem} \leftarrow 1$

18:              $\beta_{Nkem} \leftarrow S$ ;  $D_u \leftarrow D_{Low}$ ; [сохранение полного решения]

**end else**

19:      $T \leftarrow T \cup \{s_K\}$ ;  $S \leftarrow S - \{s_K\}$  [отсечение]

```
        end if
    end if
end for [конец рекурсивной процедуры]
```

**Выход:**

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{ket}}$

## Приложение Б

(обязательное)

### Алгоритм 2

#### Вход:

$x_i$ : измеренное значение, предоставленное  $i$ -ой участвующей лабораторией,  $i = 1, \dots, m$

$u(x_i) = [u_n(x_i), u_b(x_i)]$ : соответствующие интервалы неопределенности лабораторий

#### Пусть:

$m$ : число участвующих в сличениях лабораторий

$m'$ : число лабораторий, результаты которых признаны надежными

$x_{\text{ref}}$ : опорное значение измеряемой величины

$u(x_{\text{ref}})$ : неопределенность опорного значения

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ : диапазон актуальных значений

$n$ : число значений ДАЗ

$c$ : цена деления диапазона актуальных значений

$\beta_{\text{fin}}$ : единственное итоговое ранжирование консенсуса

[формирование диапазона актуальных значений  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ]

1:  $a_1 \leftarrow \min\{u_n(x_i) | i = 1, \dots, m\}$ ;  $a_n \leftarrow \max\{u_b(x_i) | i = 1, \dots, m\}$

2: Выбор подходящего  $n$ ;  $c \leftarrow (a_n - a_1)/(n - 1)$

3: for  $j = 1$  to  $n - 1$  do  $a_{j+1} \leftarrow a_j + c$

[формирование профиля предпочтения  $\Lambda$  из  $m$  интервалов  $u(x_k)$ ]

4: for  $k = 1$  to  $m$  do

5:   for  $i = 1$  to  $n$  do

        for  $j = 1$  to  $n$  do

6:           if  $a_i \in u(x_k) \wedge a_j \notin u(x_k)$  then  $a_i \succ a_j$

7:           if  $a_i, a_j \in u(x_k) \vee a_i, a_j \notin u(x_k)$  then  $a_i \sim a_j$

8:           if  $a_i \notin u(x_k) \wedge a_j \in u(x_k)$  then  $a_i \prec a_j$

        end for

    end for

end for

[нахождение ранжирование консенсуса по правилу Кемени]

9: Алгоритм 1 RECURSALL

[нахождение опорного значения]

10:  $\beta_{\text{fin}} \leftarrow \Phi(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_{\text{kem}}})$

11:  $x_{\text{ref}} \leftarrow \text{Me}(a_i^{(1)} \sim a_j^{(1)} \sim \dots \sim a_k^{(1)}), a_i, a_j, a_k \in \beta_{\text{fin}}$

[нахождение ненадежных результатов]

12:  $m' \leftarrow m$

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

14:   if  $x_{\text{ref}} \notin u(x_i)$  then удаляем  $x_i$  и  $u(x_i)$ ;  $m' \leftarrow m' - 1$

    end for

[нахождение интервала неопределенности опорного значения]

15:  $u(x_{\text{ref}}) \leftarrow \min(\max_{i=1, \dots, m'}\{u_n(x_i) \leq x_{\text{ref}}\}, \min_{i=1, \dots, m'}\{u_b(x_i) \geq x_{\text{ref}}\})$

#### Выход:

$x_{\text{ref}}, u(x_{\text{ref}})$

## Приложение В

(обязательное)

### Раздел 3

#### Geometric aspects of the processing interval data using preference aggregation

Студент:

| Группа | ФИО                    | Подпись | Дата |
|--------|------------------------|---------|------|
| 8ГМ51  | Гариф Дайана Дамировна |         |      |

Консультант кафедры СУМ:

| Должность          | ФИО           | Ученая степень,<br>звание       | Подпись | Дата |
|--------------------|---------------|---------------------------------|---------|------|
| Профессор каф. СУМ | С.В. Муравьев | Доктор техн.<br>наук, профессор |         |      |

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

| Должность                | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Старший<br>преподаватель | И.Н. Кузнецова |                           |         |      |

**Terms**

|                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Interval data               | Интервальные данные                  |
| Interval data fusion        | Комплексирование интервальных данных |
| Preference aggregation      | Агрегирование предпочтений           |
| Inranking                   | Инранжирование                       |
| Interlaboratory comparisons | Межлабораторные сличения             |

## **Introduction**

Both in theory and in practice of measurements, intervals as a description of measurement result are widely used. These intervals have experimentally defined or pre-defined values of uncertainties. In addition, the interval representation of data is a typical form in many areas, such as distributed computing, databases, systems and data collection networks.

Data fusion is a procedure of co-operative processing in the purpose of determining the most reliable and accurate value of suspected characteristic. The entity of the procedure of data fusion is formation of interval that is compatible with the most of original intervals; this interval with the utmost probability includes the value, which can represent all these intervals. The data fusion procedure usage sample is processing of interlaboratory comparison results. The aim of comparisons is determining reference value that the most closely characterizes the maximal compatible subset of measurement results.

In this research, we used data fusion procedure wherein each interval on the real line is represented by a relation of weak order – ranking – on the set of discreet values that belong to this interval. The use of a consensus defined for a number of intervals provides increased accuracy and robustness of such a data fusion method.

Preference aggregation method that represent results in the form of rankings is potentially productive for realization processing of interlaboratory comparison results robustness.

### 3 Geometric aspects of the processing interval data using preference aggregation

Both in theory and in practice of measurements, intervals as a description of measurement result are widely used. These intervals have experimentally defined or pre-defined values of uncertainties. In addition, the interval representation of data is a typical form in many areas, such as distributed computing, databases, systems and data collection networks.

This chapter shows how to fuse interval data. It means that interval is represented as a ranking, i.e. the relationship of the weak order on the real line over set of discrete values belonging to these intervals. The use of a consensus defined for a number of intervals provides increased accuracy and robustness of such a data fusion method.

#### 3.1 Statement of the problem

Let the real line include a set of  $m$  intervals  $\{I_k\}$ ,  $k = 1, \dots, m$ . Each of these intervals is characterized by lower bound  $l_k$ , upper bound  $u_k$  and central point  $x_k$ . Then  $I_k = [l_k, u_k]$ ;  $l_k < x_k$ ;  $x_k = 0,5 \cdot (u_k + l_k)$ ;  $l_k, u_k, x_k \in \mathbb{R}$ , as illustrated in Fig. 3.1.

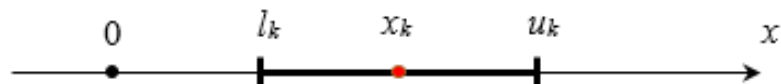


Fig. 3.1. Interval  $I_k$  on the real line

Typically, the center point  $x_k$  is the result of a measurement and its uncertainty interval is expressed as  $[x_k - 0,5 \cdot (u_k - l_k), x_k + 0,5 \cdot (u_k - l_k)] = [x_k - \varepsilon_k, x_k + \varepsilon_k]$ . In this case, we can represent  $k$ -th interval by pair  $\langle x_k, \varepsilon_k \rangle$ .

Any two intervals do not necessarily have a non-empty intersection, i.e. two intervals  $I_j$  и  $I_k$  can exist whereby  $j \neq k$  and  $k = 1, \dots, m$ ,  $I_j \cap I_k \neq \emptyset$ . We will call them inconsistent intervals.

It should be noted that the purpose of the interval fusion is a selection of point  $x^*$  on the real line that occurs in the maximal number of  $\{I_k\}$  intervals. Consequently, we need to represent interval as a set with a finite number of elements because, in general, each closed interval on the real line has an infinite number of elements. For this purpose, we will introduce a concept of «a range of actual values» (RAV)  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ . Both RAV and real line is characterized by binary relation of linear (or full) order  $a_1 < a_2 < \dots < a_n$ . Such binary relation is transitive, antisymmetric and linear.

We can consider RAV shaping as union of intervals  $\{I_k\}$  and corresponding result partition into equal subintervals. Nevertheless, existence of inconsistent intervals may cause discontinuity in the result of union. In this case we form discrete set  $A$ , beginning from the certain continuous intervals  $\{I_k\}_{k=1}^m$ , using three steps that are shown in Fig. 3.2.

At the first step we choose the least lower bound of all intervals as lower bound of RAV  $a_1$ , i.e.

$$a_1 = \min\{l_k \mid k = 1, \dots, m\}, \quad (3.1)$$

and the largest upper bound of all intervals as upper bound of RAV  $a_n$ , i.e.

$$a_n = \max\{l_k \mid k = 1, \dots, m\}. \quad (3.2)$$

At the second step to form elements  $a_2, a_3, \dots, a_{n-1}$  we partition obtained interval  $[a_1, a_n]$  into  $n - 1$  equal subintervals with length

$$h = \frac{(a_n - a_1)}{(n - 1)}. \quad (3.3)$$

We will call the length  $h$  as «norm» of partition. Obvious, that after partition this norm can be defined as

$$h = |a_i - a_{i-1}|, i = 2, \dots, n, \quad (3.4)$$

and  $i$ -th element of RAV as

$$a_i = a_{i-1} + h, i = 2, \dots, n. \quad (3.5)$$

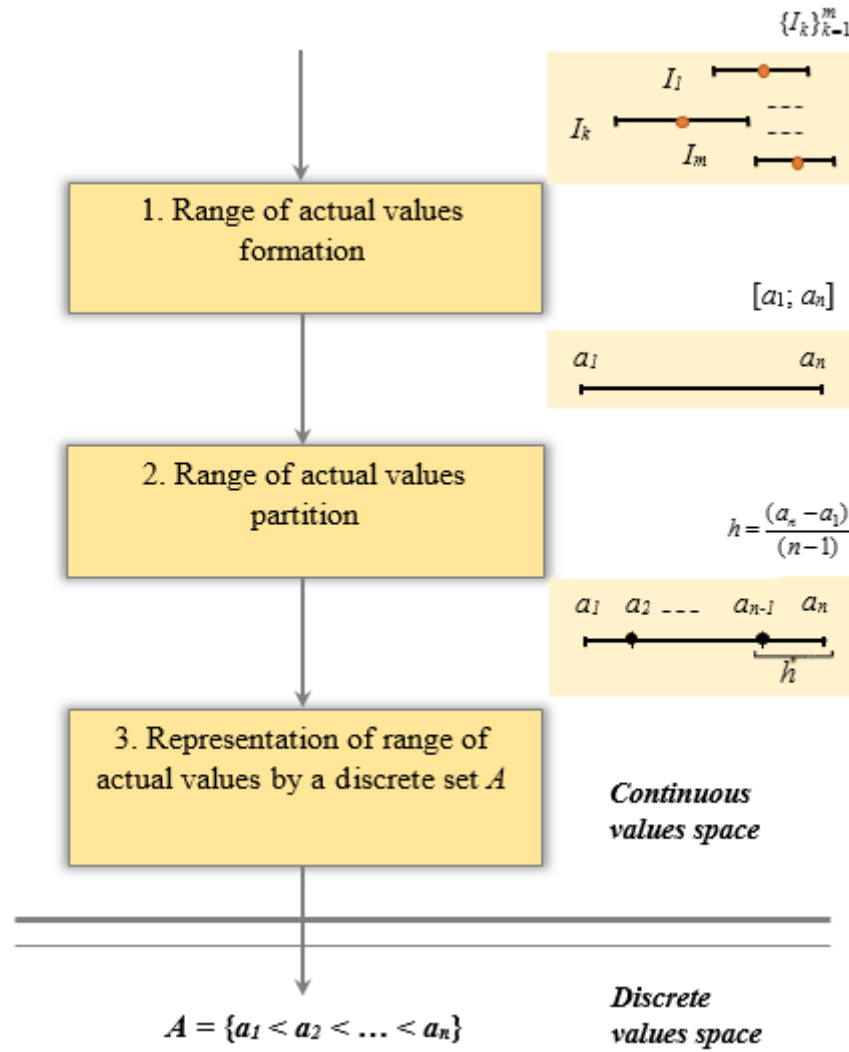


Fig. 3.2. Three steps of continuous values space transition into discrete one

The problem of second step is choice of proper  $n$  number (which define cardinality of set  $A$  or RAV partition) in the formula (3.3) to ensure necessary and appropriate accuracy of  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , whereas only one of them will be chosen as a result of  $x^*$  aggregation.

According to the third step the set  $A = \{a_1 < a_2 < \dots < a_n\}$  discrete values  $a_i$ ,  $i = 1, \dots, n$  of linear order can be used to form rankings that represent intervals  $\{I_k\}_{k=1}^m$ .

Ranking of  $n$  elements of the set  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  as  $\lambda = (a_1 \succ a_2 \dots \sim a_s \sim a_t \succ \dots \sim a_n)$  defines binary relation of weak order (preference order) on the set  $A$ . It means that the ranking  $\lambda$  is a combination of two sequent relations:

relation of strict preference  $\rho$  where  $a_i \succ a_j$  and relation of equivalence (also called as indifference or tie) where  $a_i \sim a_j$ ; i.e.  $\lambda = \rho \cup \tau$ .

The set of  $m$  rankings  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$  of  $n$  elements is known as «preference profile» for known values  $n$  and  $m$ . Each individual preference profile can contain both different and multiple identical rankings.

### 3.2 Inrankings

It should be noted that not all possible weak orders on the set  $A$  can represent intervals  $\{I_k\}_{k=1}^m$ . So we can talk about rankings induced by intervals which will be called «inrankings». Other rankings fundamentally cannot perform this role.

#### 3.2.1 Representation of intervals using rankings

Let the  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  be a set of  $n$  discrete values derived by partition of RAV into  $n - 1$  subintervals.

For any particular interval  $I_k$  we can consider the set  $A$  as a union of two nonintersecting subsets. They are subset  $A_k$  that include all those elements of  $A$  that are contained in  $I_k$  and the complement  $\bar{A}_k$  that include the rest of  $A$ 's elements, i.e.  $A = A_k \cup \bar{A}_k$ ,  $A_k \cap \bar{A}_k = \emptyset$  for any  $k = 1, \dots, m$ . Illustration of the last comment is shown in the Fig. 3.3.

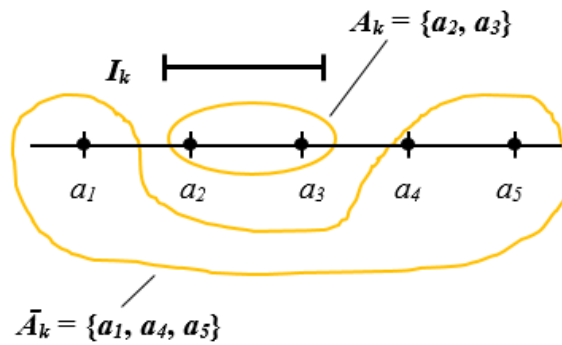


Fig. 3.3. An example that shows partition of the set  $A$  into two subsets  $A_k$  and  $\bar{A}_k$  due to interval  $I_k$ ,  $n = 5$

Thus, for any  $k = 1, \dots, m$  particular  $k$ -th ranking  $\lambda_k$  generated by the interval  $I_k$  and consisted of the set  $A$  must satisfy the following conditions for  $i, j = 1, \dots, n$ :

$$a_i \in A_k \wedge a_j \notin A_k \Rightarrow a_i \succ a_j; \quad (3.6)$$

$$a_i, a_j \in A_k \vee a_i, a_j \notin A_k \Rightarrow a_i \sim a_j; \quad (3.7)$$

$$a_i \notin A_k \wedge a_j \in A_k \Rightarrow a_i \prec a_j. \quad (3.8)$$

One can interpret some  $k$ -th ranking as a ranking that include two types of equivalences which are composed of elements of the sets  $A_k$  and  $\bar{A}_k$ . Moreover, elements of type  $A_k$  are strictly preferred to elements of type  $\bar{A}_k$ , i.e. always  $\lambda_k = A_k \succ \bar{A}_k$ . Consequently, ranking may include only one symbol of strict order « $\succ$ » and  $n - 1$  symbols of equivalence « $\sim$ ». For example, one of possible rankings for  $n = 5$  may be given by  $\lambda_k = \{a_2 \sim a_3 \succ a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$ , where  $A_k = \{a_2 \sim a_3\}$ ,  $\bar{A}_k = \{a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$  and  $A_k \succ \bar{A}_k = \{a_2 \sim a_3\} \succ \{a_1 \sim a_4 \sim a_5\}$  as it is shown in Fig. 3.3.

Series of elements  $\{a_i\}$  of the set  $A$  is strictly monotonous starting with  $a_i < a_{i+1}$  for all  $i \in \mathbb{N}$ . It is clear that class  $A_k \subseteq A$  may include only indiscrete subseries of elements of the set  $A$ , in other words indexes of these elements must form the part of the positive integers. It means that the difference between indexes in any pair of neighbor elements  $a_i$  and  $a_j$  cannot be more than one. Then the following condition is true:

$$a_i, a_j \in A_k \text{ are neighbor positive integers} \Rightarrow j = i + 1. \quad (3.9)$$

Ranking that satisfy conditions (3.6) – (3.9) will be called the ranking induced by interval or inranking.

Therefore, group of intervals  $\{I_k\}$  where  $k = 1, \dots, m$  may be represented by the preference profile  $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$  where any  $\lambda_k$  is inranking.

### 3.2.2 Inranking space

A certain preference profile will consist of inrankings that are taken from the space of all possible ones for given  $n$ . As a result, it is an issue of interest how many different inrankings for different  $n$  exist.

Counter condition (3.9) leads to forbidden rankings existence which in return satisfy conditions (3.6) – (3.8). The structure of spaces for all inrankings and forbidden rankings for different  $n = 1, \dots, 5$  is given in Table 3.1. In this table  $|A_k| = 1, \dots, n$  is a cardinality of the set  $A_k$ . For brevity sake, we designate elements of rankings by their indexes and subsets  $A_k$  and  $\bar{A}_k$  – by parenthesizing corresponding sets of indexes. We also drop symbols « $\succ$ » and « $\sim$ ». For example,  $\{a_3 \sim a_4 \succ a_1 \sim a_2 \sim a_5\} \Leftrightarrow (34)(125)$ .

From the principle of Table 3.1 (see also Fig. 3.6-3.8), it follows that the cardinality of inranking spaces depending on  $n$  forms a sequence of numbers 0, 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, 45, ..., 378, 406, .... It is an integer sequence that has a number A000217 in the online encyclopedia OEIS. Elements of this sequence are called «triangle numbers  $T_n$ ». Triangle number is a number that counts objects forming equilateral triangle as it shown in Fig. 3.4. Arithmetically,  $n$ -th triangle number is a sum of natural numbers from one to  $n$ . Properties of triangle numbers are described in the paragraph 3.3.1.

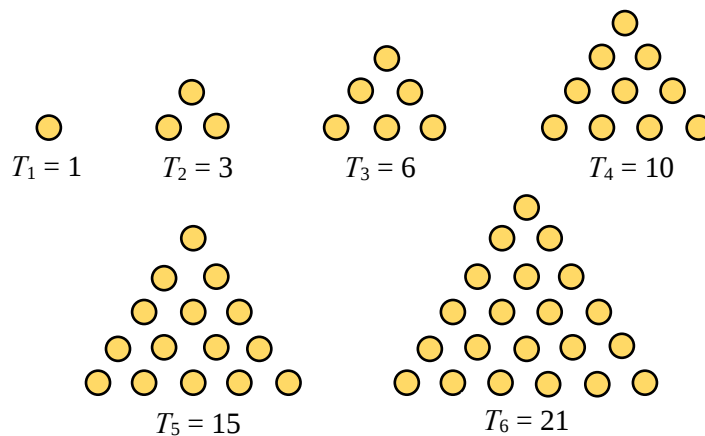


Fig. 3.4. The first six triangle numbers

Conversely, cardinalities of  $F_n$  forbidden rankings depending on  $n$  correspond to an integer sequence 0, 0, 1, 5, 16, 42, 99, 219, 466, 968, ..., 130918, 261972, ... that has a number A002662 in the OEIS. Cardinality  $F_n$  is obtained by formula:

$$F_n = 2^n - 1 - \frac{n(n+1)}{2}. \quad (3.10)$$

Table 3.1. Inranking spaces and forbidden rankings for different  $n = 1, \dots, 5$  and their cardinalities

| $n$                       | $ A_k $ | Inrankings                           | Cardinality<br>$T_n$ | Forbidden<br>rankings            | Cardinality<br>$F_n$ |
|---------------------------|---------|--------------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
| <b><math>n = 1</math></b> | 1       | 1                                    | <b>1</b>             | $\emptyset$                      | <b>0</b>             |
| <b><math>n = 2</math></b> | 1       | 12<br>21                             | <b>3</b>             | $\emptyset$                      | <b>0</b>             |
|                           | 2       | (12)                                 |                      | $\emptyset$                      |                      |
| <b><math>n = 3</math></b> | 1       | 1(23)<br>2(13)<br>3(12)              | <b>6</b>             | $\emptyset$                      | <b>1</b>             |
|                           | 2       | (12)3<br>(23)1                       |                      | (13)2                            |                      |
|                           | 3       | (123)                                |                      | $\emptyset$                      |                      |
| <b><math>n = 4</math></b> | 1       | 1(234)<br>2(134)<br>3(124)<br>4(123) | <b>10</b>            | $\emptyset$                      | <b>5</b>             |
|                           | 2       | (12)(34)<br>(23)(14)<br>(34)(12)     |                      | (14)(23)<br>(13)(24)<br>(24)(13) |                      |
|                           | 3       | (123)4<br>(234)1                     |                      | (124)3<br>(134)2                 |                      |
|                           | 4       | (1234)                               |                      | $\emptyset$                      |                      |

|                           |   |                                                     |           |                                                                                         |           |
|---------------------------|---|-----------------------------------------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b><math>n = 5</math></b> | 1 | 1(2345)<br>2(1345)<br>3(1245)<br>4(1235)<br>5(1234) | <b>15</b> | $\emptyset$                                                                             | <b>16</b> |
|                           | 2 | (12)(345)<br>(23)(145)<br>(34)(125)<br>(45)(123)    |           | (13)(245)<br>(14)(235)<br>(15)(234)<br>(24)(135)<br>(25)(134)<br>(35)(124)              |           |
|                           | 3 | (123)(45)<br>(234)(15)<br>(345)(12)                 |           | (124)(35)<br>(125)(34)<br>(134)(25)<br>(135)(24)<br>(145)(23)<br>(235)(14)<br>(245)(13) |           |
|                           | 4 | (1234)5<br>(2345)1                                  |           | (1235)4<br>(1245)3<br>(1345)2                                                           |           |
|                           | 5 | (12345)                                             |           | $\emptyset$                                                                             |           |

### 3.3 Properties of inranking space

#### 3.3.1 Triangle numbers

All  $n$ -triangle numbers are defined by following formulas:

$$T_n = \frac{1}{2}n(n+1), \quad (3.11)$$

$$T_n = 1 + 2 + 3 + \dots + (n-2) + (n-1) + n = \sum_{j=1}^n j, \quad (3.12)$$

$$T_n = \binom{n+1}{2}, \quad (3.13)$$

where  $\binom{n+1}{2}$  – binominal coefficient.

Binominal coefficient, in turn, determines the number of combinations of  $(n+1)$  by 2.

For instance, 1596 is a triangle number:  $T_{56} = (56 \cdot 57)/2$ .

Triangle numbers also constitute a part of Pascal triangle – they are located along diagonals that are parallel to triangle sides as it shown in Fig. 3.5. Pascal triangle is an infinite triangular table of binominal coefficients where the sum of each two neighbor numbers generates lower-level number.

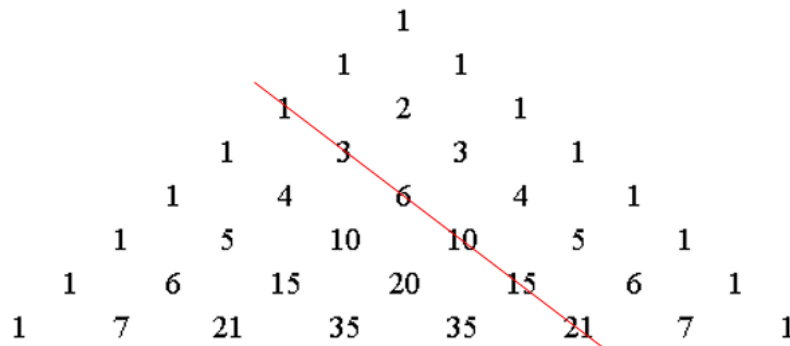


Fig. 3.5. Triangle numbers as a part of Pascal triangle

All possible intervals and corresponding triangle numbers for  $n = 1, \dots, 5$  are shown in Fig. 3.6. For each interval intersection we can draw an interval graph that has properties described in the paragraph 3.3.2.

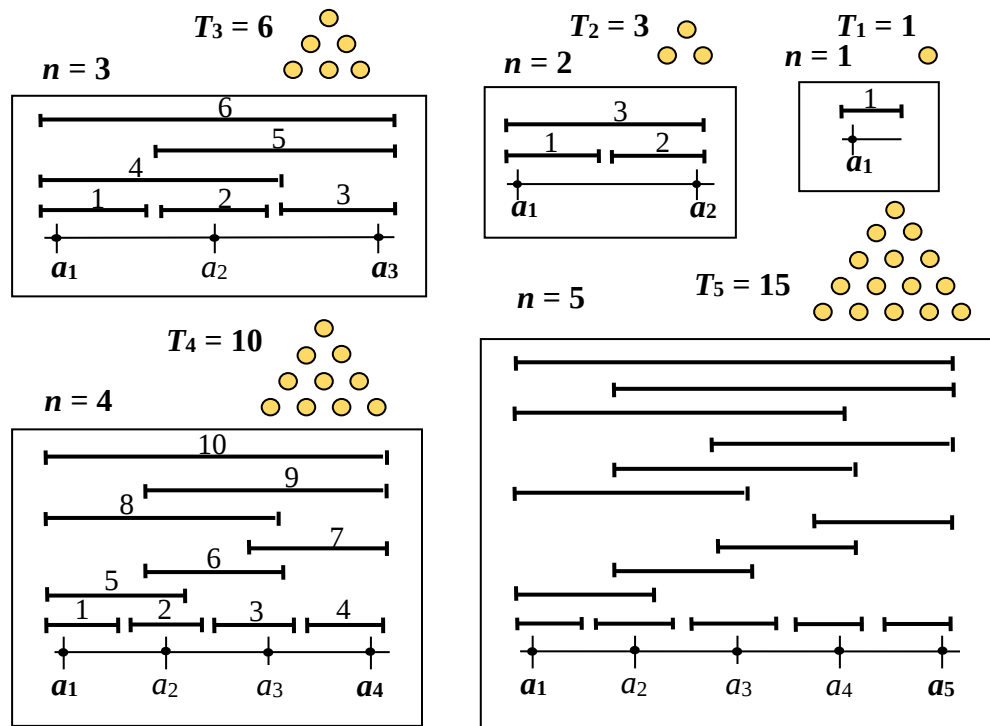


Fig. 3.6. All possible intervals and corresponding triangle numbers for  $n = 1, \dots, 5$

### 3.3.2 Interval graphs

In the graph theory, an interval graph is an intersection graph of multiple intervals on the line. Such graph has only one vertex for each interval in the set of them and one arc between a pair of vertexes if corresponding intervals intersect. An example of the interval graph with seven vertexes is shown in Fig. 3.7.

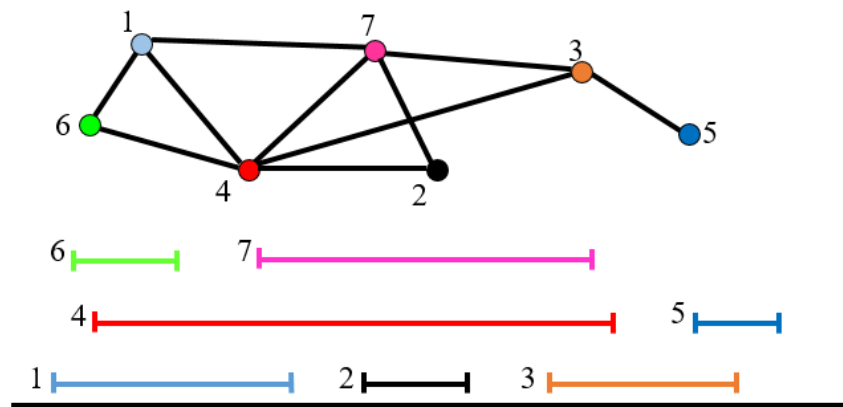


Fig. 3.7. Intervals on the line and corresponding interval graph

Formally, the interval graph is a non-directional graph. It is generated by multiple intervals  $S_i$  where  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  by creating one vertex  $v_i$  for each interval  $S_i$ , and connection two vertexes  $v_i$  and  $v_j$  with an arc. However, there is a condition that the corresponding intervals have non-empty intersection. Then

$$E(G) = \{\{v_i, v_j\} | S_i \cap S_j \neq \emptyset\}. \quad (3.14)$$

According to formula (3.14) we can get a general property for interval graphs. Thus, the graph  $G$  is an interval graph if and only if the largest complete subgraphs (complete subgraphs of the maximal size) of this graph can be ordered  $M_1, M_2, \dots, M_k$  in the way that for any  $v \in M_i \cap M_k, i < k, v \in M_j, i \leq j \leq k$  is true.

In accordance with Fig. 3.6. we draw the interval graphs for intervals and corresponding triangle numbers for  $n = 1, \dots, 4$ . These graphs are shown in Fig. 3.8.

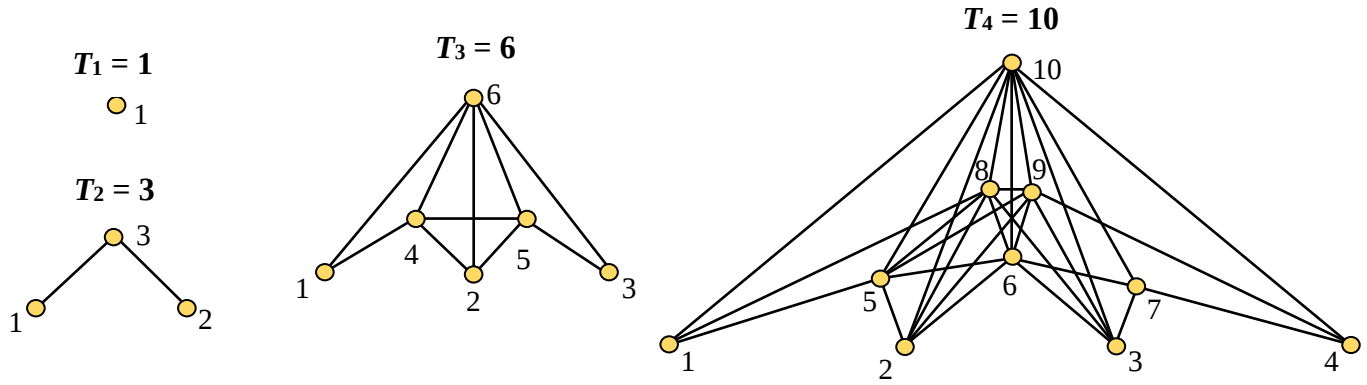


Fig. 3.8. Interval graphs for intervals and corresponding triangle numbers  
for  $n = 1, \dots, 4$

### 3.3.3 Building of inranking space

With fixed value of  $n$  it becomes possible to obtain the elements of the set  $A_k$  using following formula:

$$A_k \in \bigcup_{j=0}^{n-1} \bigcup_{i=1}^{n-j} \{a_{i+j}\}. \quad (3.15)$$

Validity of the formula (3.15) for  $n = 5$  is confirmed by the data presented in Table 3.2.

Table 3.2. Argumentation of the formula (3.15) for  $n = 5$

| $j =  A_k $ | Elements of the set $A_k$                                                                            |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1           | $\{a_i\}, i = 1, \dots, n$                                                                           |
| 2           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\}, i = 1, \dots, (n - 1)$                                                    |
| 3           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\} \cup \{a_{i+2}\}, i = 1, \dots, (n - 2)$                                   |
| 4           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\} \cup \{a_{i+2}\} \cup \{a_{i+3}\}, i = 1, \dots, (n - 3)$                  |
| 5           | $\{a_i\} \cup \{a_{i+1}\} \cup \{a_{i+2}\} \cup \{a_{i+3}\} \cup \{a_{i+4}\}, i = 1, \dots, (n - 4)$ |

Taking into account that the value of  $n$  is given in the formula (3.15), we have the following general expression describing all inrankings:

$$\lambda_k \in \bigcup_{j=0}^{n-1} \left\{ \left( \bigcup_{i=1}^{n-j} \{a_{i+j}\} \right) \succ \left( A_k \setminus \bigcup_{i=1}^{n-j} \{a_{i+j}\} \right) \right\}. \quad (3.16)$$

The following illustrations show inranking spaces that belong to permutohedron for  $n = 1$  to  $n = 4$ . It can be observed that dimensionality of space increases with  $n$ . Thus, for example, the first-order permutohedron is a point (0D-space), the second-order – line segment (1D-space) as it shown in Fig. 3.9.

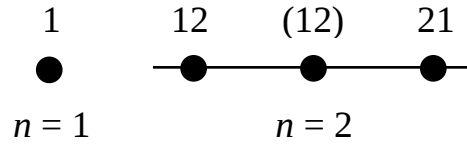


Fig. 3.9. Inranking spaces for  $n = 1$  and  $n = 2$

In case of permutohedron of order 3 the inranking space is represented as a regular hexagon (2D-space). In Fig. 3.10 we showed how to build this space: in the beginning we draw a regular hexagon itself with both forbidden rankings and strict orders. After this we delete a link related to forbidden ranking, i.e. (13)2. Strict orders, despite the relation to forbidden ranking, continue to be considered because they take part in forming inrankings. In general, all weak orders originate from some combinations of strict orders.

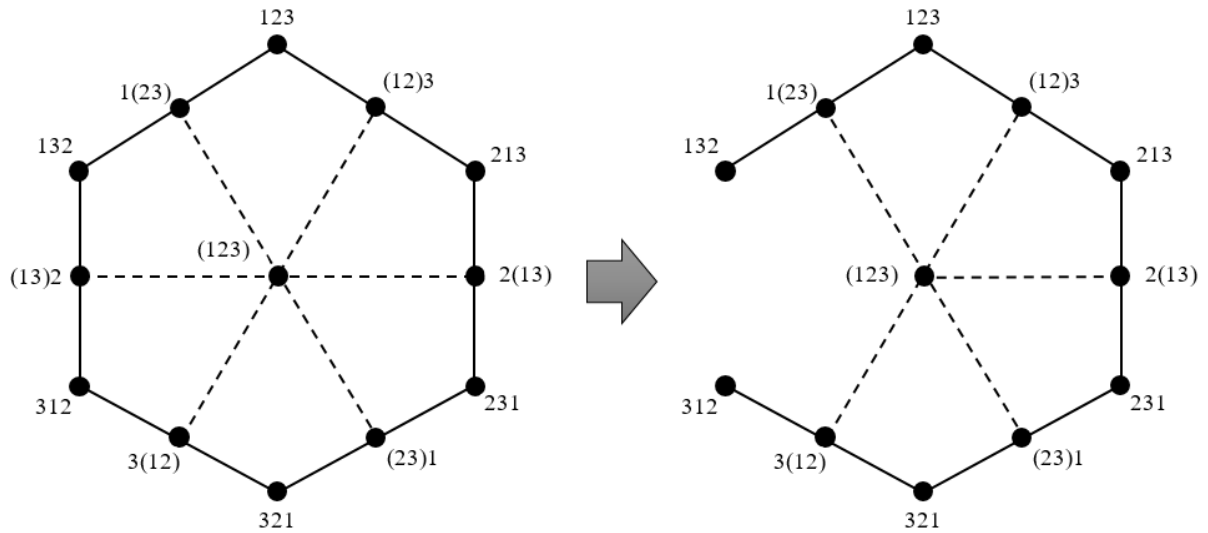


Fig. 3.10. Inranking space for  $n = 3$

Inranking space in case of  $n = 4$  permutohedron is represented as truncated octahedron as it shown in Fig. 3.11. Here, similarly, in the beginning we draw a truncated octahedron with all forbidden rankings and then according to Table 3.1 we delete five links:  $(14)(23)$ ,  $(13)(24)$ ,  $(24)(13)$ ,  $(124)3$  and  $(134)2$ .

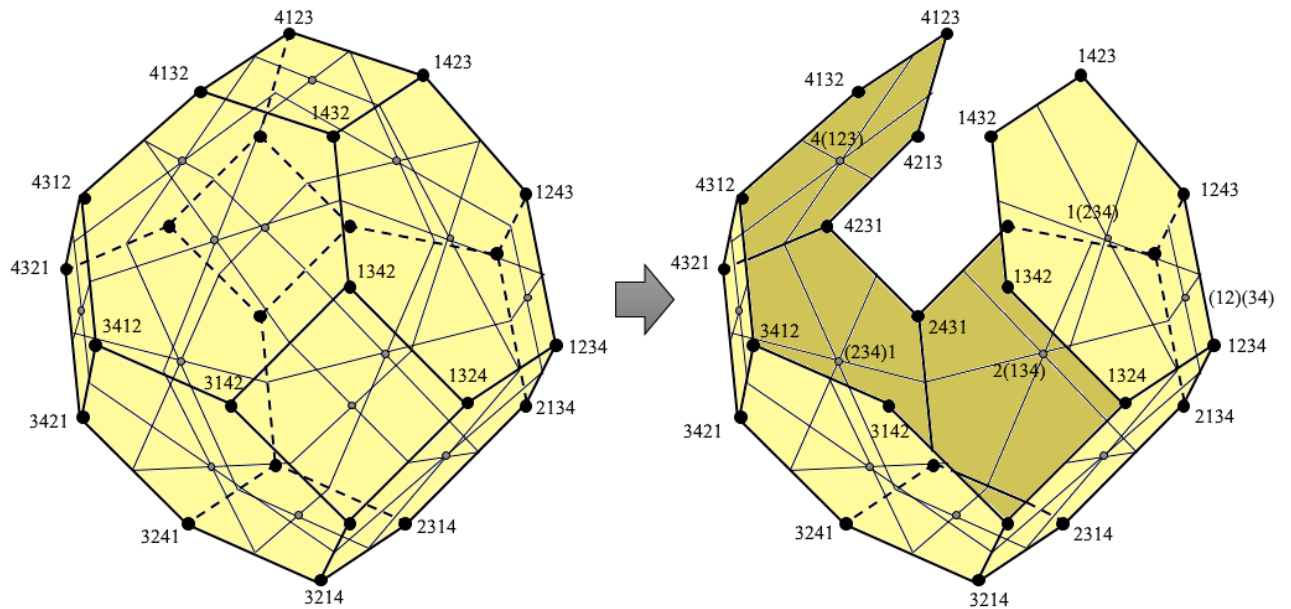


Fig. 3.11. Inranking space for  $n = 4$