

НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

**ГОЛОЛОБОВ АНДРЕЙ ЮРЬЕВИЧ**

УДК 004.056.5

**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНКИ РИСКОВ**

**Специальность 05.13.21 – системы защиты информации**

Диссертация на соискание научной степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

**Казмирчук Светлана Владимировна**

Киев 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ</b> .....	4
<b>ВСТУПЛЕНИЕ</b> .....	7
<b>РАЗДЕЛ 1 РИСКИ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ</b> .....	14
1.1 Понятия информация и информационная безопасность.....	14
1.2 Риски в аспекте информационной безопасности.....	18
1.3 Интегрированное представление параметров риска.....	23
1.4 Современные методы анализа и оценивания рисков в области информационной безопасности.....	30
1.5 Выводы к разделу 1.....	55
<b>РАЗДЕЛ 2 БАЗОВЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</b> .....	56
2.1 Бистабильная интегрированная кортежная модель характеристик риска.....	56
2.2 Метод преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности.....	68
2.3 Метод n-кратного понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков .....	70
2.4 Метод n-кратного понижения порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы.....	73
2.5 Метод реализации функции трансформирования эталонов в задачах анализа и оценивания рисков.....	76
2.6 Метод инкрементирования порядка лингвистических переменных для систем анализа и оценивания рисков.....	79
2.7 Выводы к разделу 2 .....	82

<b>РАЗДЕЛ 3 ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ</b> .....	84
3.1 Интегрированный метод анализа и оценивания рисков информационной безопасности.....	84
3.2 Модель процесса синтеза адаптивных систем оценивания рисков.....	93
3.3 Интегрированная адаптивная система оценивания рисков.....	100
3.4 Выводы к разделу 3.....	105
<b>РАЗДЕЛ 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ</b> .....	106
4.1 Базовый алгоритм работы системы оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем.....	106
4.2 Экспериментальное исследование методов трансформирования термов лингвистических переменных.....	108
4.2.1 Апробация метода преобразования эталонов параметров.....	108
4.2.2 Применение метода n-кратного понижения числа термов.....	118
4.2.3 Применение метода инкрементирования для различных типов распределений трапециевидных и треугольных нечетких чисел.....	134
4.3 Экспериментальное исследование интегрированной адаптивной системы оценивания рисков.....	157
4.4 Выводы к разделу 4 .....	162
<b>ВЫВОДЫ</b> .....	164
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b> .....	166
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	180

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АОР – анализ и оценка риска;
- БД - база данных;
- БДО - база данных оценивания;
- БДР - база данных ресурсов информационных систем;
- БДУ- база данных угроз;
- БН – более надежная;
- БП – более привлекательная;
- ВС – выше среднего;
- ВД - входные данные;
- ЗИ – защита информации;
- ИАСОР - интегрированная адаптивная система оценивания рисков;
- ИБ – информационная безопасность;
- ИППР – интегрированное представление параметров риска;
- ИР – информационные ресурсы;
- ИС – информационная система;
- ИТ – информационные технологии;
- КСЗИ – комплексная система защиты информации;
- ЛП – лингвистическая переменная;
- МБС – метод на основе байесовских сетей;
- МГО - модуль генерации отчета;
- МИБХ - модуль инициализации базовых характеристик;
- МКТЗ - модуль классификации текущих значений;
- МН – менее надёжная;
- МОК - модуль оценки компонентов;
- МП – менее привлекательная;
- МСР - модуль степень риска;
- МФКД - модуль формирования ключевых данных;
- МФСР - модуль формирования структурированного параметра;

МФЭВ - модуль формирования эталонных значений и их визуализации;  
НД – нарушение доступности;  
НК – нарушение конфиденциальности;  
НКД – нарушение конфиденциальности и доступности;  
НКЦД – нарушение конфиденциальности, целостности и доступности;  
НР – незначительный риск;  
НС – ниже среднего;  
НСБ – непредвиденная ситуация в бизнесе;  
НСД – несанкционированный доступ;  
НСМ – несанкционированная модификация;  
НЦ – нарушение целостности;  
НЦД – нарушение целостности и доступности;  
НЦК – нарушение целостности и конфиденциальности;  
НЧ – нечеткие числа;  
ОВ – очень высокий;  
ОН – очень низкий;  
ОР – оценка риска;  
ОУ – оценка угрозы;  
ПО – программное обеспечение;  
ПОД - подсистема обработки данных;  
ПР – предельный риск;  
ПФВД - подсистема формирования входных данных;  
РВ – риск высокий;  
РИС – ресурс информационной системы;  
РН – риск низкий;  
РС – риск средний;  
СР - степень риска;  
СУБД - система управления базами данных;  
ХА – хакерская атака;  
УОП - уровень оценочных параметров;

ФП – функция принадлежности;

DetM – детерминированный метод;

FuzM – нечеткий метод;

IT – информационные технологии.

## ВСТУПЛЕНИЕ

**Актуальность.** Процесс информатизации современного общества носит настолько бурный характер, что невозможно определить ни одной сферы человеческой деятельности, которую бы он не коснулся самым непосредственным образом. Проникновение информационных технологий (ИТ) во все сферы жизнедеятельности человека и общества стало нормой современной цивилизации. Стремительное развитие и распространение новых информационно-коммуникационных технологий приобретает сегодня характер беспрецедентной по своим масштабам информационной революции, которая становится решающим фактором развития человечества. Увеличения роли информации и знаний в жизни общества, создания глобального информационного пространства, которое обеспечивает эффективное информационное взаимодействие людей, их доступ к мировым информационным ресурсам и удовлетворению социальных и личностных потребностей в информационных продуктах и услугах, являются отличительными особенностями нынешнего времени. Информация превращается в основной источник интенсификации и гармонизации общественного развития, поэтому перед обществом возникает непростая проблема быстрого овладения информацией, ее осмысления и оценки, эффективного использования на практике, а также обеспечения информационной безопасности (ИБ).

Проблема информационной безопасности приобрела особую значимость в современных условиях широкого применения автоматизированных информационных систем, основанных на использовании компьютерных и телекоммуникационных средств [1, 2]. В связи с растущей ролью информационных ресурсов в жизни современного общества, а также реальностью многочисленных угроз проблема информационной безопасности требует к себе постоянного и все более растущего внимания. Развитие ИТ-инфраструктуры предприятия влечет за собой стремительный неконтролируемый рост уязвимости ресурсов информационных систем (РИС). Сложный характер влияния на информационную безопасность большой совокупности различных факторов,

которые имеют к тому же разную физическую природу, приводит к необходимости комплексного подхода при решении данной проблемы [3]. Следовательно, проблема информационной безопасности сложна, многогранна и связана с решением широкого спектра заданий, ориентированных как на обеспечение надежности, так и на построение моделей и систем оценки ее состояния [4]. Для обеспечения необходимого уровня безопасности РИС обычно на предприятиях внедряют соответствующие системы защиты информации (ЗИ). Одним из основных этапов построения таких систем есть реализация процесса анализа и оценивания рисков (АОР) ИБ, который позволяет определить необходимый уровень ЗИ, осуществить его поддержку и разработать стратегию развития информационной структуры объекта защиты [5].

Разработками, связанными с оцениванием рисков (ОР) в сфере ИБ, занимались такие отечественные и зарубежные ученые, как А.Е. Архипов, Р.В. Грищук, А.А. Замула, С.В. Казмирчук, М.Т. Корнийчук, А.Г. Корченко, В.В. Мохор, В.В. Цуркан и другие, а также зарубежные ученые: В.П. Буянов, Я.Д. Вишняков, В.И. Грабовый, Б.С. Завгородний, И.С. Медведовский, С.А. Петренко, А. Сайлим, С.В. Симонов, Р.П. Томас, Е. Хори и др.

Однако в сфере управления рисками ИБ осталось немало вопросов и проблем, имеющих важное научное и практическое значение и требующих своего решения. В частности, это касается практического оценивания рисков в нечетких и детерминированных условиях, с использованием параметров, которые могут быть представлены, как в числовой, так и в лингвистической форме, с применением экспертных оценок, которые формируются в слабоформализованной среде. Поэтому разработка новых и усовершенствование существующих методов ОР безопасности ресурсов информационных систем является актуальной научной задачей.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Результаты диссертационного исследования отображены в отчетах о научно-исследовательских работах Кировоградского национального технического университета "Разработка методов синтеза тестовых моделей поведения про-



граммных объектов, повышения оперативности передачи и защиты информации в телекоммуникационных системах" (государственная регистрация №0115U003103) и Национального авиационного университета "Методология оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем" (регистрационный номер 105/14.01.05).

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка методов и моделей оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем, которые позволяют строить гибкие средства оценивания с адаптивными эталонами параметров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие **основные задачи:**

- проанализировать существующие методы оценивания рисков с целью определения набора идентифицирующих и оценочных компонентов, которые используются для создания инструментария, ориентированного на решение соответствующих заданий защиты информации;
- разработать усовершенствованную бистабильную интегрированную короткую модель характеристик риска (БИКМХР), которая позволяет динамически определять наборы величин в аналитическом и синтетическом кортежах и таким образом обеспечить гибкость разрабатываемых средств оценивания рисков (ОР) безопасности РИС;
- разработать методы декрементирования и инкрементирования порядка лингвистической переменной (ЛЗ), что позволит обеспечить адаптивные свойства эталонов параметров разрабатываемых средств оценивания рисков безопасности РИС;
- разработать интегрированный метод оценивания рисков безопасности РИС, который позволит создавать гибкие средства оценивания и использовать в качестве входных данных динамически изменяемые наборы детерминированных и нечетко определенных оценочных параметров;

- разработать модель процесса синтеза систем оценивания рисков для формализации процессов построения соответствующих программных и программно-аппаратных вычислительных средств;
- разработать структурно-функциональную модель системы оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем для создания соответствующего программного продукта;
- на основе предложенной структурно-функциональной модели, разработать программную систему и осуществить экспериментальное исследование соответствующего программного обеспечения (ПО) с целью верификации разработанных методов и моделей.

**Объект исследования** - процесс оценивания рисков ресурсов информационных систем.

**Предметом исследования** являются методы и модели оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем.

**Методы исследования.** Проведенные исследования базируются на современных методах теории нечеткой логики (разработка метода ОР), принятия решений, объектно-ориентированного программирования (разработка ПО системы ОР безопасности РИС), имитационного моделирования информационных процессов и структур (проведение моделирования разных условий и среды состояния информационной системы при проведении экспериментального исследования), а также «мягких» вычислениях.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в следующем:

- впервые разработаны базовые методы инкрементирования и декрементирования порядка лингвистических переменных, которые за счет использования аналитических функций уменьшения и увеличения термов на один порядок и их модификаций  $n$ -кратным расширением, позволяют реализовывать трансформацию базовых эталонов параметров без привлечения экспертов соответствующей предметной отрасли;
- усовершенствована кортежная модель, которая за счет множеств интегрированных характеристик рисков, подмножеств их идентифицирующих и оце-

ночных компонентов, бистабильных отражений в аналитическом и синтетическом кортежах, позволяет эффективно организовывать процесс выбора соответствующих существующих инструментальных средств и разрабатывать гибкие и эффективные методы и системы оценивания рисков информационной безопасности;

- усовершенствован метод оценивания рисков безопасности РИС, который за счет интеграции детерминированного и нечеткого подхода оценивания, бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска, базовых методов инкрементирования и декрементирования порядка лингвистических переменных, позволяет оперировать одновременно четкими и нечеткими величинами с вариативным числом множеств терма;

- усовершенствована модель процесса синтеза систем оценивания рисков, которая, за счет использования базовых методов инкрементирования и декрементирования порядка лингвистических переменных, бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска и интегрированного метода оценивания, позволяет формализовать процесс создания адаптивных инструментальных средств, обладающих гибкими возможностями относительно преобразований заданных множеств обрабатываемых величин, при оценивании рисков безопасности РИС;

- усовершенствована структурно-функциональная модель интегрированной адаптивной системы оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем, которая за счет подсистем формирования входных данных и обработки данных, реализуемых предложенными методами (интегрированным, инкрементирования и декрементирования), позволяет формировать и преобразовывать данные как в качественной, так и в количественной интерпретации, с возможностью трансформации эталонов параметров без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

**Практическое значение полученных результатов.** Полученные во время выполнения диссертационной работы результаты могут быть использованы для проведения АОП на основе лингвистических и цифровых данных во

время разработки систем менеджмента информационной безопасности и комплексных систем защиты информации.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

- разработано алгоритмическое обеспечение для реализации программной системы оценивания рисков безопасности РИС;
- реализована прикладная программная адаптивная система оценивания рисков безопасности РИС, которая использует и динамически определяет различные наборы оценочных компонентов, что обеспечивает высокую гибкость, функциональность и удобство её использования, как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформализованной среде без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

**Личный вклад соискателя.** Основные положения и результаты диссертационной работы, которые выносятся на защиту, получены автором самостоятельно. В работах, написанных в соавторстве, автору принадлежат: [104, 106-109] - формирование составных этапов методов декрементирования порядка ЛЗ и их экспериментальное исследование; [114] - реализация и экспериментальное исследование этапов метода ОР безопасности РИС; [115] - разработка базовых компонентов, которые характеризуют множество возможных характеристик риска; [118] - экспериментальное исследование этапов усовершенствованной модели процесса синтеза систем ОР; [119-121] - реализация межкомпонентных связей в соответствии с их функциональными свойствами и экспериментальное исследование структурно-функциональной модели интегрированной адаптивной вычислительной системы ОР безопасности РИС; [105, 110-112] - формирование составных этапов методов инкрементирования порядка ЛЗ и их экспериментальное исследование. Из работ, которые опубликованы в соавторстве, в диссертационной работе используются результаты, полученные лично соискателем.

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: I международная научно-техническая конференция "Проблемы информатиза-

ции" (Черкассы, 2013 г.), XI Международная научно-техническая конференция "АВИА-2013" (Киев, 2013 г.), 18-й Международный молодежный форум "Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке" (Харьков, 2014 г.), 6-я Всеукраинская научно-практическая конференция "Состояние и усовершенствование безопасности информационно-телекоммуникационных систем (SITS'2014)" (с. Коблево Николаевской обл., 2014 г.), научно-практическая конференция "Актуальные вопросы обеспечения кибернетической безопасности и защита информации" (Киев, 2015 г.)

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 15 научных трудах, в том числе 9 статей в научных журналах и сборниках научных трудов, которые входят в перечень научных профессиональных изданий Украины, 8 из которых опубликовано в рецензированных изданиях, входящих в международные наукометрические базы данных, и 6 тезисов докладов и материалов научных конференций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из вступления, четырех разделов, выводов, списка использованных источников, приложения и имеет 154 страницы основного текста, 33 рисунки, 37 таблиц. Список литературы содержит 121 наименование и занимает 14 страниц. Приложение занимает 3 страницы. Общий объем работы 182 страницы.

## **РАЗДЕЛ 1 РИСКИ В СФЕРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, МЕТОДЫ ИХ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ**

### **1.1 Понятия информация и информационная безопасность**

В наше время сложно найти человека, которому незнакомо слово информация, каждый интуитивно понимает значение этого слова, потому что современное общество является обществом информации. Что же стоит за термином информация? В историко-этимологическом словаре можно прочитать: «слово «информация» происходит от латинского «*informātiōn*» – сообщение, разъяснение, производное от «*informo*» – придаю вид, формирую, организую, обучаю, воспитываю, мыслю» [6].

В науку понятие "информация" было введено Р.Хартли в 1928 году. Таким термином, он обозначал меру количественного измерения сведений, которые распространяются по каналам связи [7]. Однако такой подход кардинально отличается от нынешнего толкования понятия информации. Например, в философском энциклопедическом словаре, дано такое определение этого понятия: "Информация (от лат. *informatio* - ознакомление, разъяснение, представление, понятие):

- 1) сообщение, осведомление о положении дел, сведения о чем-либо, передаваемые людьми;
- 2) уменьшаемая, снимаемая неопределенность в результате получения сообщений;
- 3) сообщение, неразрывно связанное с управлением, сигналы в единстве синтаксических, семантических и прагматических характеристик;
- 4) передача, отражение разнообразия в любых объектах и процессах (неживой и живой природы)" [8].

В научной литературе можно найти довольно много различных определений понятия "информация". Так, в монографии И.В. Мелик-Гайказяна [9] собрана целая коллекция определений слова "информация", приведем лишь некоторые из них:

- «информация есть случайный и запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных»;
- "информация есть знание о каком-то особом событии, случае или о чем-либо подобном";
- "информация есть знания, переданные кем-то другим или приобретенные путем собственного исследования или изучения";
- "информация - это сведения, содержащиеся в данном сообщении и рассматриваемые как объект передачи, хранения и обработки";
- "информация в обыденном смысле - это сведения, известия, в научно-технических приложениях - то, что имеет на себе сигнал";
- «информацией являются все те данные о внешнем мире, которые мы получаем как путем непосредственного воздействия на наши органы чувств окружающих предметов и явлений, так и опосредованным путем через книги, газеты, рассказы других людей».

Часто информацию связывают со степенью упорядоченности той системы, которая получает информацию, например: "информация означает порядок, коммуникация есть создание порядка из беспорядка или, по крайней мере, увеличение степени той упорядоченности, которая существовала до получения сообщения" [10].

Основоположник кибернетики - Норберт Винер дал несколько определений информации: «Информация — это не материя и не энергия, информация — это информация» [11]. Но основное определение информации, которое он сформулировал, следующее: «информация — это обозначение содержания, полученное нами из внешнего мира в процессе приспособления к нему нас и наших чувств» [12].

Существует распространенная точка зрения, согласно которой информация в картине мира продолжает типологический ряд: материя, энергия и информация. Например, К.К.Колин считает, что: «Понятия «материя», «энергия» и «информация» являются равнозначными по своему уровню общенаучными философскими категориями» [13]. Следует подчеркнуть, что

ни одно из приведенных выше определений понятия информации не является общепринятым. Как отмечено в [14], «О феномене "информация" написаны "Гималаи книг". У подавляющего большинства авторов свое понимание информации, иногда в чем-то их подходы пересекаются, но нередко совсем отличаются... Сколько авторов, столько и информационных».

Как считает Д.С. Чернавский «Попытки связать информацию с привычными понятиями материи или энергии успехом не увенчались. ... Попытки связать информацию с энтропией тоже оказались безуспешными, хотя они продолжают до сих пор. Поэтому вопрос об определении понятия «информация» остается открытым» [15]. Вместе с тем, следует отметить, что значительная часть ученых (см., например, [16, 17]) придерживается мнения, что дать строгое и однозначное определение понятию "информация" невозможно. В соответствии с их точкой зрения, это понятие носит мировоззренческий характер и близко по своему смыслу к понятию знания.

Понятие "информационная безопасность" объективно возникло с появлением средств информационных коммуникаций между людьми, а также с осознанием человеком наличия у людей и их содружеств интересов, которым могут быть нанесены убытки путем действия на средства информационных коммуникаций, наличие и развитие которых обеспечивает и задает информационный обмен между всеми элементами социума. В соответствии с законодательством Украины, информационная безопасность (information security) - «состояние защищенности жизненно важных интересов человека, общества и государства, при котором предотвращается нанесение вреда через: неполноту, несвоевременность и недостоверность информации, которая используется; негативное информационное влияние; негативные последствия применения информационных технологий; несанкционированное распространение, использование и нарушение целостности, конфиденциальности и доступности информации» [18]. Существует еще много иных определений информационной безопасности, см., например, [19]:



- информационная безопасность - это процесс обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации.
- информационная безопасность - все аспекты, связанные с определением, достижением и поддержанием конфиденциальности, целостности, доступности, подотчётности, аутентичности и достоверности информации или средств её обработки.
- безопасность информации определяется отсутствием недопустимого риска, связанного с утечкой информации по техническим каналам, несанкционированными и непреднамеренными воздействиями на данные и (или) на другие ресурсы автоматизированной информационной системы, используемые в автоматизированной системе.

Таким образом, в более узком значении термин «информационная безопасность» - можно рассматривать как процесс обеспечения конфиденциальности, целостности и доступности информации; (кроме того, как отмечалось в [20], могут учитываться и другие свойства, такие, как подлинность, отслеживаемость, непроверяемость и надежность). При этом предполагается, что конфиденциальность информации [information confidentiality] - свойство информации, которое заключается в том, что информация не может быть получена неавторизованным пользователем и/или процессом. Информация хранит конфиденциальность, если придерживаются установленные правила ознакомления с ней. Целостность информации [information integrity] - свойство информации, которое заключается в том, что информация не может быть модифицирована неавторизованным пользователем и (или процессом). Информация хранит целостность, если придерживаются установленные правила ее модификации (удаление). Доступность [availability] - свойство информационного ресурса, которое заключается в том, что пользователь и/или процесс, который владеет соответствующими полномочиями, может использовать этот ресурс в соответствии с правилами, установленными политикой безопасности, не ожидая дольше заданного (приемлемого) интервала времени. Суть свойства

заключается в том, что нужный информационный ресурс находится в виде, необходимом пользователю, в месте, необходимом пользователю, и в то время, когда он ему необходим [21].

В [22] были определены принципы обеспечения информационной безопасности Украины:

- свобода сбора, хранения, использования и распространения информации;
- достоверность, полнота и непредвзятость информации;
- ограничение доступа к информации исключительно на основании закона;
- гармонизация личных, общественных и государственных интересов;
- предотвращение правонарушений в информационной сфере;
- экономическая целесообразность;
- гармонизация украинского законодательства в информационной сфере с международным;
- приоритетность национальной информационной продукции.

### **1.2 Риски в аспекте информационной безопасности**

Понятие риска имеет множество нюансов. Количество смыслов, вкладываемых в это слово, пожалуй, ненамного отличается от количества употребляющих его людей. Это неудивительно, риски объективно присутствуют практически во всех сферах деятельности людей, в их взаимоотношениях с окружающей средой. Поэтому понятие риска имеет свою специфическую трактовку в областях экономики, страхования, туризма, медицины, психологии, и т.д., вследствие чего формулировки этого понятия в статьях, монографиях, учебниках, словарях и в различных нормативных документах существенно отличаются. Например, в психологии риск рассматривают:

- как действие, грозящее субъекту определёнными потерями (проигрышем, заболеванием, иным ущербом), при этом различают

мотивированный риск, предполагающий получение ситуативных преимуществ в деятельности, немотивированный риск, не имеющий рационального основания; оправданный и неоправданный риск;

- как ситуацию выбора, при этом выбор должен быть осуществлён между менее привлекательной, но более надёжной стратегией, и более привлекательной, но менее надёжной («Синица в руках или журавль в небе»);
- как меру ожидаемой неудачи в деятельности [23].

В сфере финансов понятие риск рассматривают как меру экономической и социальной неопределенности и классифицируют по следующему принципу:

- по степени риска –

- допустимый риск, когда теряется часть дохода, прибыли;
- критический риск, при котором полностью утрачиваются доходы и возникает необходимость возмещать затраты;
- катастрофический риск - полная потеря имущества;
- - по объектам
- риск предпринимателя, предприятия, т. е. физических и юридических лиц
- - по виду деятельности
- риск производственной, посреднической, торговой, транспортной, страховой и иной деятельности;
- - по характеру
- операционный, инфляционный, кредитный, процентный, общеэкономический, региональный, отраслевой, инвестиционный и др. [24].

Только в Интернет-словарях содержится свыше 1500 толкований риска во многих сферах человеческой деятельности [25]. В [26] проведен детальный анализ рисков для различных сфер деятельности, с целью выделить их общие черты, особенности ситуаций, в которых они возникают. Как

показано, в большинстве случаев риск отображается вероятностью или идентичными понятиями, например, измеряемая или рассчитываемая вероятность:

- возникновения заданной угрозы и потенциально неблагоприятных последствий возникновения этой угрозы [27] (угроза - потенциальная причина нежелательного влияния на систему или организацию (ISO 13335-1 [28]);
- реализации определенной угрозы, вида и величины нанесенного ущерба [29-31];
- появления неблагоприятного исхода [33];
- данной угрозы, с помощью которой будут использоваться уязвимости актива или группы активов, чтобы привести к потере и/или повреждению имущества [34];
- события, (например, в результате которого возможны непредвиденные потери [35, 36]);
- появления обстоятельств обуславливающих неуверенность или невозможность получения ожидаемых результатов от реализации поставленной цели [46];
- причинения вреда имуществу, окружающей среде или жизни (здоровью) граждан, животных, растений [38];
- потерь [25, 39];

а также как, сочетание или комбинация вероятности события и его последствий [40-45].

Согласно [28], риск - это вероятность возникновения события, влияющего на бизнес. Такая формулировка риска включает оба компонента риска (вероятность и влияние) и, как отмечается в [28], называется полной формулировкой риска. Рис. 1.1 изображает риск на наиболее общем уровне. Предлагается также иная формулировка, которая учитывает как влияние, так и его вероятность: риск — это вероятность того, что вследствие

использования уязвимости в текущей среде пострадают конфиденциальность, целостность или доступность актива. При этом под уязвимостью подразумевается слабое место, действие, административный процесс или физическая подверженность воздействию, делающее информационный актив чувствительным к угрозе [28].

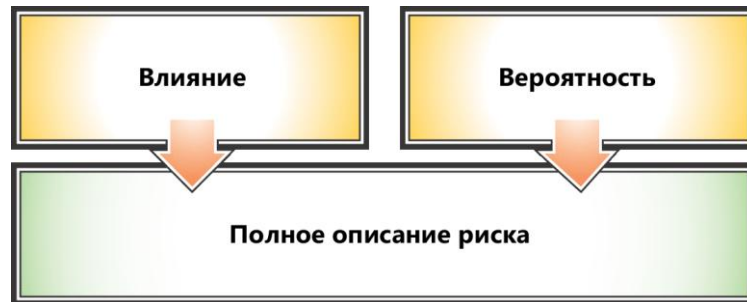


Рис. 1.1 Полная формулировка риска

Также в литературе встречается определение риска как действия или деятельности, например, действия, реализация которого ставит под угрозу удовлетворение какой-либо достаточно важной потребности [37, 46];

в неопределенности исхода деятельности и возможных неблагоприятных последствиях в случае неуспеха для субъекта [47];

деятельности грозящей субъекту потерей (проигрышем, травмой, ущербом) [47, 48];

деятельности наудачу, в надежде на счастливый исход [49].

Как известно, вероятность, также как и действие или деятельность, связана с возникновением каких-либо событий, а соответственно с ним здесь связан и риск. Также известно, что любые действия приводят к событиям и последствиям, которые могут представлять собой как потенциальные “положительные” возможности, так и “опасности” [25, 50].

Некоторые авторы трактуют риск как меру:

возникновения в любой системе нежелательного события с определенными во времени и пространстве последствиями [51];

возможности реализации опасности в виде определенного ущерба в искусственно созданной действиями субъекта ситуации [52];

неопределенности и конфликтности в предпринимательской деятельности [25];

ожидаемого неблагоприятия при неуспехе в деятельности, определяемой сочетанием вероятности неуспеха и степени неблагоприятных последствий в этом случае [48];

опасности, характеризующую вероятность ее появления и размеры связанного с ней ущерба [53-55];

Из приведенных формулировок видно, что трактовка риска также связана с наступлением определенного события, а мера выступает в качестве вторичного фактора и непосредственно связана с количественным или качественным оцениванием.

В некоторых работах риск определяется как неопределенность: например, предполагающая возможность ущерба состояния защищенности интересов (целей) организации банковской системы страны в условиях угроз в информационной сфере [56]; в аспекте контроля и прогноза будущего человеческой деятельности [57].

Встречаются иногда и определения риска, которые отображают его как опасность, ситуацию выбора из двух или  $n$  вариантов действия. Как опасность:

предполагаемая (известная) или неизвестная на данный момент, но которая может появиться [58,59];

нанесения ущерба посредством атаки (реализации некоторой угрозы с использованием уязвимости актива или группы активов) [40].

Ситуация выбора из двух или из  $n$  вариантов действия (поведения): связанного с возможной неудачей, с одной стороны, и предполагающего хотя бы минимальное сохранение уже достигнутого, с другой [37];

Анализ различных формулировок понятия риска, позволяет выделить одну характеристику, которая встречается во всех приведенных выше определениях риска, используемых в различных сферах жизнедеятельности человека, и которая объединяет их – это некое событие. Событие, которое

должно произойти, которое авторы связывают с вероятностью, действием или деятельностью, выбором определенных решений, неопределённостью, с потерями, опасностью и т.д.

В аспекте ИБ риск можно связать с событием реализации угрозы ресурсам ИС, вследствие чего произошло нарушение одной или более их базовых характеристик безопасности – конфиденциальности, целостности, доступности [26]. Также его, можно описать как:

вероятность события, которое привело к нарушению характеристик безопасности;

событие, которое произошло с участием или без участия субъекта – деятельность или бездействие субъекта;

выбор альтернативного варианта;

меру; событие, которое происходит с определенной частотой; характеристика этого события и т.д.

При раскрытии понятия риска также следует учитывать, что большинство решений по информационной безопасности принимаются в условиях неопределенности [60].

### **1.3 Интегрированное представление параметров риска**

Приведенный в 1.2 анализ толкований риска во многих отраслях человеческой деятельности показывает, что в аспекте ИБ различные формулировки понятия риск имеют множество общих характеристик, которые можно интерпретировать, как его параметры.

Многие известные методы анализа и оценивания риска ИБ берут за основу только несколько параметров, например, COBRA - вероятность, опасность и частоту [61], CRAMM - частоту возникновения и вероятность реализации угрозы [62]. Часто при построении систем менеджмента ИБ или при проведении ее аудита, возникают случаи, когда необходимо отразить риск через другие параметры, например, такие как, характеристика ситуации, затраты и потери, неопределённость и т.д.

В [63] была предложена модель интегрированного представления

параметров риска в сфере ИБ, для чего предлагалось представить риск в виде десятикомпонентного кортежа  $\langle E, A, M, C, P, D, S, F, L, V \rangle$ , где:

- E** – событие,
- A** – действие,
- M** – мера риска,
- C** – характеристика ситуации,
- P** – вероятность,
- D** – опасность,
- S** – ситуация выбора,
- F** – частота,
- L** – затраты и потери (расходы),
- V** – отклонение от цели.

Первый приведённый в кортеже компонент – событие (E), который можно отображать в виде символьной переменной, принимающей одно из значений конечного множества идентификаторов  $E \in \{E_1, E_2, \dots, E_e\}$  ( $e$  – количество идентификаторов событий). С учетом того, что в области ИБ риск связан с такими базовыми характеристиками безопасности ресурсов информационной системы (РИС), как конфиденциальность, целостность и доступность, то базовые события при  $e=7$  могут идентифицироваться как:

- $E_1$  = “Нарушение конфиденциальности (НК)”;
- $E_2$  = “Нарушение целостности (НЦ)”;
- $E_3$  = “Нарушение доступности (НД)”;
- $E_4$  = “Нарушение целостности и конфиденциальности (НЦК)”;
- $E_5$  = “Нарушение целостности и доступности (НЦД)”;
- $E_6$  = “Нарушение конфиденциальности и доступности (НКД)”;
- $E_7$  = “Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности (НКЦД)”.

Следующий компонент кортежа – действие (A), которое привело к событию (E). В области ИБ действие A связано с реализацией потенциальных



угроз базовым характеристикам безопасности РИС), которые привели к возникновению  $E$ , отображаемого одним из идентификаторов  $\{E_1, E_2, \dots, E_7\}$ . В связи с этим, по аналогии с  $E$ , компонент  $A$  можно отобразить множеством идентификаторов  $A \in \{A_1, A_2, \dots, A_a\}$ , (где  $a$  – количество идентификаторов угроз), например,

$A_1$  = “Компьютерный шпионаж”,

$A_2$  = “Шпионаж”,

$A_3$  = “Сбой программного обеспечения” и т.д.

Компонент мера риска ( $M$ ), с учетом характера измерений в области ИБ, можно отобразить трехкомпонентным множеством

$$M \in \{M_{кл}, M_{кч}, M_u\},$$

где  $M_{кл}$  – количественная (например, характеризуемая численно),  $M_{кч}$  – качественная (например, характеризуемая лингвистически) и  $M_u$  – интегрированная (например, характеризуемая численно и лингвистически) меры.

С точки зрения ИБ неопределённость можно интерпретировать, как характеристику ситуации при наступлении определённого события  $E$ . В ИБ может наступить событие  $E$ , к которому привело действие  $A$ , которое ранее не происходило. Например, нет статистических данных о конкретном виде инцидента нарушения ИБ. Следовательно, рассматривая компонент кортежа - характеристика ситуации ( $C$ ), можно отобразить его двухкомпонентным множеством  $C \in \{C_o, C_n\}$  где,  $C_o$  – характеризует ситуацию как определённую, а  $C_n$  – как нечеткую.

Пятый компонент кортежа - вероятность ( $P$ ) появления события  $E$  (например, с идентификатором  $E_3$ ). Вероятность часто разделяют на “объективную” (иногда называемую физической) и “субъективную” [64]. Под объективной вероятностью понимается относительная частота появления какого-либо события в общем объеме наблюдений или отношение

числа благоприятных исходов к их общему количеству. Она, например, формируется при анализе результатов большого числа наблюдений. Под субъективной вероятностью понимается мера уверенности некоторого человека или группы людей в том, что данное событие произойдет. Эта вероятность может быть формально представлена различными способами, например, вероятностным распределением или бинарным отношением на множестве событий, но наиболее часто она представляет собой вероятностную меру, полученную экспертным путем [64].

Следует отметить, что когда возникают сложности с получением статистических данных, а так же для простоты интерпретации величин, эксперты, используя логико-лингвистический подход, отображают этот компонент через лингвистическую переменную “ВЕРОЯТНОСТЬ” с базовым терм-множеством

$$P = \bigcup_{i=1}^p P_i \quad (1.1)$$

( $p$  – количество термов), для членов которого справедливо отношение порядка  $P_1 < P_2 < \dots < P_p$  [65]. Например, при  $p=3$  для указанной выше ЛП можно сформировать множество термов

$$P = \bigcup_{i=1}^3 P_i = \{ \text{“низкая (Н)”}, \text{“средняя (С)”}, \text{“высокая (В)”} \}, \quad (1.2)$$

отображаемых нечеткими числами  $\tilde{H}, \tilde{C}, \tilde{B}$ , для которых определяют соответствующие функции принадлежности, используя методы, описанные в [65]. Также могут быть введены и другие значения первичных термов, такие как, например, “очень низкая (ОН)”, “выше среднего (ВС)”, “ниже среднего (НС)” и др. Очевидно, что в этом случае  $P$  отображается в лингвистической форме и при этом логически следует, что  $M$  интерпретируется, как  $M_{кч}$ .

Компонент ситуация выбора ( $S$ ) в области ИБ можно интерпретировать как величину, характеризующую предпочтительность наступления

состояния Е. На основе этого компонента удобно принимать решения по организации мероприятий, например, по снижению риска, его принятию, передачи третьему лицу и т.д.

Компонент  $S$ , аналогично вероятности, можем представить через ЛП “СИТУАЦИЯ ВЫБОРА” с базовым терм-множеством

$$S = \bigcup_{i=1}^s S_i \quad (S_1 < S_2 < \dots < S_s), \quad (1.3)$$

позволяющим интерпретировать выбор посредством  $s$  вариантов. Например, для указанной ЛП при  $s=2$  может быть сформировано

$$S = \bigcup_{i=1}^2 S_i = \{ \text{“менее привлекательная (МП)”}, \text{“более привлекательная (БП)”} \}$$

$$\text{или } S = \bigcup_{i=1}^2 S_i = \{ \text{“менее надежная (МН)”}, \text{“более надежная (БН)”} \},$$

которые соответственно отображаются нечеткими числами  $\underline{M}$ ,  $\underline{B}$  или  $\underline{M}$ ,  $\underline{B}$  [65, 66].

Компонент кортежа опасность ( $D$ ) рассматривается как величина характеризующая опасность события, например,  $E_1$  посредством  $A_2$ . По аналогии с  $P$  компонент  $D$  может отображаться численно (например, в процентах) или с помощью ЛП – “ОПАСНОСТЬ” с базовым терм-множеством

$$D = \bigcup_{i=1}^d D_i \quad (D_1 < D_2 < \dots < D_d) \quad (1.4)$$

Например, при  $d=3$  можем определить

$$D = \bigcup_{i=1}^3 D_i = \{ \text{“низкая (Н)”}, \text{“средняя (С)”}, \text{“высокая (В)”} \}, \quad (1.5)$$

а мере будет соответствовать  $M_{kv}$ .

Следующий компонент кортежа частота ( $F$ ), который в области ИБ можно связать с частотой реализации “угрозы”, приведшей к событию Е. Такой компонент можно отображать численно или через ЛП – “ЧАСТОТА”:

$$F = \bigcup_{i=1}^f F_i \quad (F_1 < F_2 < \dots < F_f), \quad (1.6)$$

например, при  $f=3$  –

$$F = \bigcup_{i=1}^3 F_i = \{ \text{“низкая (Н)”}, \text{“средняя (С)”}, \text{“высокая (В)”} \}. \quad (1.7)$$

Компонент затраты и потери в области ИБ целесообразно определить через термин расходы (L), который по аналогии с предыдущим можно представлять числом, например,

- 1) 0 - \$100;
- 2) \$100 - \$1000;
- 3) \$1000 - \$10 000;
- 4) \$10 000 - \$100 000, при этом мере соответствует  $M_{кл}$ .

Также L можно представить с помощью ЛП “РАСХОДЫ”:

$$L = \bigcup_{i=1}^l L_i \quad (L_1 < L_2 < \dots < L_l), \quad (1.8)$$

например, при  $l=5$  –

$$L = \bigcup_{i=1}^5 L_i = \{ \text{“низкие (Н)”}, \text{“ниже среднего (НС)”}, \text{“средние (С)”}, \text{“выше среднего (ВС)”}, \text{“высокие (В)”} \}, \quad (1.9)$$

а M соответствует  $M_{кч}$ . На практике встречается и интегрированное представление L, например,

- 1) *Negligible* (менее \$100);
- 2) *Minor* (менее \$1000);
- 3) *Moderate* (менее \$10 000);
- 4) *Serious* (Существенное негативное влияние на бизнес);
- 5) *Critical* (Катастрофическое воздействие, возможно прекращение деятельности предприятия) [67], при этом мера будет отображаться параметром  $M_{и}$ .

Отклонение от цели (нормы) (V) – этот компонент, как и P может

отображаться числом (например, как стандартное (квадратичное), вероятное или допускаемое отклонение [68], так и посредством применения логико-лингвистического подхода с помощью ЛП “ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ”:

$$V = \bigcup_{i=1}^v V_i \quad (V_1 < V_2 < \dots < V_v) \quad (1.10)$$

Например, при  $v=3$  можно сформировать множество термов

$$V = \bigcup_{i=1}^3 V_i = \{ \text{“маленькое (М)”}, \text{“среднее (С)”}, \text{“большое (Б)”} \}, \quad (1.11)$$

отображаемых нечеткими числами  $\underline{M}, \underline{C}, \underline{B}$ .

Следует отметить, что при представлении риска, с помощью кортежа, можно выделить его идентифицирующие компоненты: E, A, M, C и оценочные компоненты: P, D, S, F, L и V.

Идентифицирующие компоненты выступают в качестве интегрированного идентификатора риска и могут отображаться посредством числовых или лингвистических значений (показателей). Например, для ИС компании необходимо определить риск, связанный с наступлением события нарушения ИБ, которое привело к воздействию на целостность и доступность – это событие идентифицируется как  $E_5 = \text{“НЦД”}$ , а действие, которое привело к нему, например,  $A_3 = \text{“Сбой программного обеспечения”}$ .

Здесь для отображения риска можем использовать  $M_{кл}$ ,  $M_{кч}$  или  $M_{и}$ , а для того чтобы показать его значащие параметры следует воспользоваться оценочными компонентами кортежа, а именно, например, определить: вероятность (P) наступления такого события, к которому привело это действие; опасность (D) от наступления события; расходы (L), которые будут результатом наступления события; частоту (F) наступления данного события (действия); отклонения от цели (V) и наконец, выбрать вариант принятия решений (S).

Для приведенных оценочных компонентов кортежа, могут быть определены зависимости (например, аналитические) или корреляции (например, на уровне системы лингвистического вывода).

#### **1.4 Современные методы анализа и оценивания рисков в области информационной безопасности**

Вначале следует определиться со значениями и трактовкой терминов: метод, анализ и оценка, используемых в области ИБ. Метод (от греч. - *methodos* - путь исследования, теория учение) - способ достижения определенной цели, решения конкретной задачи. Достигается это с помощью определенных правил, приемов, операций, способов [69]. Понятие анализ риска (*risk analysis*) многие авторы трактуют как процесс:

- идентификации рисков, определение их величины и выделение областей, требующих защиты [5, 70];
- оценки величины рисков [71];
- подробного расследования с целью выявления нежелательных событий [72];
- систематического использования информации для выявления источников оценки степени риска [73];
- охватывающий определение относительной стоимости риска (основанной на последствиях) и эффективности системы защиты [74, 75];
- определения источников рисков и количественной оценки рисков (ОР) [27, 73];

Что касается понятия оценки рисков (*risk assessment*), то в области ИБ это понятие рассматривается как процесс:

- идентификации информационных ресурсов (ИР) системы и угроз этим ресурсам, а также возможных потерь, т. е. потенциал потери, основанный на оценке частоты возникновения событий и размере ущерба;
- включающий идентификацию и анализ риска [27, 41,44,76,77];

– выявления риска и определения его влияния [73, 28];

В аспекте ИБ наиболее предпочтительным представляется использование понятия анализа как процесса идентификации риска в сфере ИБ, а ОР можно определить как процесс установления значимости риска, после проведения его анализа [5].

Согласно [78, 79], можно выделить четыре группы методов количественной оценки рисков ИБ:

1. статистические методы;
2. вероятностно-статистические;
3. теоретико-вероятностные;
4. экспертные.

В основе статистических методов лежит оценка вероятности наступления случайного события исходя из относительной частоты появлений данного события в серии наблюдений. Предполагается, что закономерность изменений рассматриваемой величины распространяется на будущее. Для длительных периодов времени это, как правило, оказывается справедливым, но для краткосрочной оценки экстраполяции прежних закономерностей дает значительные ошибки.

Если имеющаяся статистическая информация недостаточно полная, то иногда возможно восполнить имеющиеся пробелы за счет анализа дополнительных косвенных данных или за счет логических рассуждений. Использование комбинации статистических данных и теоретических гипотез для оценки риска составляет основную идею вероятностно-статистических методов [80].

Две предыдущие группы методов требуют наличия достаточного или хотя бы ограниченного объема статистических данных об исследуемом явлении. Однако при управлении рисками информационной безопасности приходится сталкиваться с необходимостью оценки редких событий, таких как раскрытие информации, прослушивание, замена и т.п., которые

допускают тяжелые последствия. В прошлом данные события могли вообще не происходить (в силу их малой вероятности или уникальности рассматриваемых объектов). В этом случае статистика вообще отсутствует, что делает невозможным применение статистических и вероятностно-статистических методов.

В таком случае, можно использовать теоретико-вероятностные методы, в основе которых лежит построение математической модели изучаемого риска и теоретической оценки его параметров. Данные методы очень трудоемки и имеют относительно невысокую точность, но в ряде случаев являются единственным возможным научно-обоснованным способом оценки. В частности, они применяются при разработке деклараций промышленной безопасности предприятий [80].

В случае отсутствия статистических данных и сложностей или невозможности построения математической модели, на помощь приходят экспертные методы, которые базируются на использовании опыта и знаний экспертов. Это имеет место при исследовании объектов с неопределенными параметрами или неизученными свойствами. Количественная оценка риска происходит на основе мониторинга системы специально отобранными экспертами. При этом большое внимание должно уделяться процедуре отбора экспертов и формированию шкал оценок [80].

Помимо указанных, выделяют также табличные методы и различные комбинации методов оценки рисков информационной безопасности [81]. Табличные методы основаны на использовании таблицы, определяющей уязвимости и угрозы, воздействующие на ресурсы. Количественные и качественные показатели оцениваются с использованием шкал. Качественные оценки применяются в случаях, когда количественные оценки затруднены. Относящиеся к каждому типу негативных воздействий уровни рисков, соответствующие показателям ценности ресурсов, а также показателям угроз и уязвимостей, оцениваются при помощи таблицы. При использовании данного метода необходимо предварительно собрать



достаточное количество информации об исследуемой системе для последующего анализа. Это довольно трудоемкий процесс и корректность результата в большей мере зависит от проведенных исследований до начала составления таблицы. Ввиду произвольности составления таблиц, табличный метод не обладает полнотой при описании системы и при его использовании могут быть получены противоречивые данные [81].

Среди современных методов оценки рисков информационной безопасности многие представляют собой различные комбинации указанных выше методов. Рассмотрим некоторые из наиболее известных современных методов оценки рисков информационной безопасности.

Метод CRAMM (CCTA Risk Analysis and Management Method, разработчик – CCTA, Великобритания) реализован фирмой Insight Consulting Limited [62, 82]. Этот метод позволяет производить анализ рисков и обследование информационной системы, проводить аудит в соответствии с требованиями стандарта BS 7799. В системе CRAMM используются табличный и экспертный методы оценки рисков нарушения информационной безопасности. Методика CRAMM опирается на оценки качественного характера, получаемые от экспертов, и строит на их основе количественную оценку. В соответствии с методикой CRAMM, процесс оценки рисков проходит в несколько этапов.

На первом – проводится идентификация физических, программных и информационных ресурсов, содержащихся внутри границ системы.

На втором этапе рассматривается все, что относится к идентификации и оценке уровней угроз для групп ресурсов и их уязвимостей. Анализ риска проводится на первом и втором этапах, после чего осуществляется его оценка. Во время анализа предлагается проставить коэффициенты для каждого ресурса с точки зрения частоты возникновения угрозы и вероятности реализации угрозы. Исходя из оценок стоимости ресурсов защищаемой ИС, угроз и уязвимостей, определяются “ожидаемые годовые потери”.

Третий этап реализует поиск адекватных контрмер. Здесь метод позволяет генерировать несколько вариантов мер противодействия, адекватных выявленным рискам и их уровням. ОУ и уязвимостей осуществляется на основе ОР по двум факторам – риск рассматривается как комбинация вероятности реализации угрозы и уязвимости, а также ущерба [62, 67, 83].

Достоинства метода CRAMM: хорошо структурированный и широко опробованный метод анализа рисков, который может использоваться на всех стадиях проведения аудита информационной безопасности компьютерных систем. Этот метод – один из самых «мощных» и самых трудоемких, он позволяет весьма детально оценить риски и различные варианты контрмер. Среди недостатков CRAMM выделяют необходимость высококвалифицированного аудитора для его применения, кроме того, оценка рисков по CRAMM занимает длительное время и приводит к большому объему выходных документов.

Метод RiskWatch (разработчик – компания RiskWatch, США) отображает требования стандартов ISO/IEC 27001 и ISO/IEC 27002, NIST, а также COBIT IV [32, 84]. В RiskWatch применяется комбинация табличного и экспертного методов. В программном пакете RiskWatch рассматриваются риски в сфере информационной и физической безопасности компьютерных сетей. Выполняется количественная оценка соотношения потерь от угроз информационной безопасности и оценка затрат на создание системы защиты. RiskWatch базируется на методике, состоящей из трёх этапов:

первый этап — определение предмета исследования. Здесь описываются такие параметры, как тип организации, состав исследуемой системы (типы оборудования, приложений и информации), базовые требования по информационной безопасности;

второй этап — ввод данных, характеризующих основные параметры системы. На этом этапе подробно описываются ресурсы, потери и классы инцидентов. Задаются частота возникновения угрозы, степень уязвимости и ценность ресурсов для расчета эффекта от внедрения средств защиты;

третий этап — количественная оценка. Выполняется оценка рисков, выбираются средства защиты информации. Риск оценивается с помощью математического ожидания потерь за год. Используя сравнение ожидаемых потерь при наличии средств защиты и без них, можно оценить эффективность использования средств защиты.

Существенным достоинством RiskWatch является его сравнительная простота, большая гибкость, обеспечиваемая возможностью введения новых категорий, описаний, вопросов и т.д. На основе этого метода разработчики могут создавать свои профили, отражающие требования в области безопасности, разрабатывать ведомственные методики анализа и управления рисками [76].

К недостаткам RiskWatch можно отнести то, что - математическое ожидание потерь (полученные оценки рисков) далеко не исчерпывает понимание риска с системных позиций, т.е. метод не учитывает комплексный подход к информационной безопасности. Кроме того, RiskWatch подходит в случае необходимости проведения анализа рисков на программно-техническом уровне защиты, без учета организационных и административных факторов. [85].

Метод COBRA (Consultative Objective and Bi-Functional Risk Analysis, разработчик – C & A Systems Security Ltd, Великобритания) ориентирован на поддержку требований стандарта ISO 17799 посредством тематических вопросников (check list's) [61, 86]. В комплект программного обеспечения (ПО) входят модули COBRA ISO 17799 Security Consultant, COBRA Policy Compliance Analyst и COBRA Data Protection Consultant, а также менеджер модуля COBRA, используемый для настройки и изменения снабжаемой базы знаний. На основе инициализации тематического вопросника осуществляется АОР по следующим категориям: высокоуровневая; ИТ безопасности; оперативная ИТ и бизнеса; инфраструктуры электронной коммерции. Модули тематического вопросника информационно поддерживают отдельные приложения. После обработки инициализированных данных система

генерирует отчет, в котором описана детальная оценка. Отметим, что в анализируемой методике риск отображается тремя характеристиками, первая и последняя из которых несут в себе идентифицирующую составляющую (название категории и комментарии к ней), а оставшаяся – оценочную составляющую, которой соответствует “УРОВЕНЬ РИСКА”, представленный в процентах (вероятность наступления риска). AOP происходит во время обработки данных иницируемых через тематический вопросник. Все рассматриваемые действия, которые отображаются в запросах, собраны в категории риска, например, действие рассмотренное в примере запроса входит в категорию риска “Непредвиденная ситуация в бизнесе (НСБ)”. В методике COBRA после описания всех категорий и установления уровней риска, приводятся рекомендуемые меры по их снижению.

Достоинство методики - в ее простоте. Необходимо ответить на несколько десятков вопросов, затем автоматически формируется отчет. Этот программный продукт может применяться при аудите ИБ или для работы специалистов служб, ответственных за обеспечение информационной безопасности.

Метод Гриф 2006 (разработчик – компания Digital Security, Россия). Это программный комплекс анализа и контроля рисков информационных систем компаний, который учитывает около 100 параметров и позволяет оценить уровень рисков в информационной системе без привлечения экспертов [87, 88]. Выполняется оценка рисков для информационных ресурсов, рассчитывается суммарный риск и расчет соотношения ущерба и риска. По окончании работы формируется отчет, отражающий нарушения политики информационной безопасности. Процесс AOP в Гриф 2006 состоит из 3 этапов.

Этап 1 – составление модели анализа информационных потоков (описание активов компании и всех бизнес-процессов).

Этап 2 – создание модели анализа угроз и уязвимостей. Для оценки используется разработанная Digital Security классификация угроз, в которой описаны все действия, рассматриваемые во время оценки, способные привести к нарушению базовых характеристик ИБ, то есть к событиям нарушения ИБ.

Этап 3 – указание ущерба для каждой группы ценных ресурсов, по всем видам угроз. На этом этапе необходимо инициализировать ТВ по политике ИБ, реализованной в системе, что позволит оценить реальный уровень ее защищенности и детализировать ОР. Анализ рисков ИБ осуществляется с помощью построения модели ИС организации [62].

Комплекс ГРИФ 2006 - мощный и удобный инструмент для анализа защищенности ресурсов информационной системы и эффективного управления рисками. Он позволяет провести полный анализ рисков - получить картину всех угроз, актуальных для информационной системы, оценить, насколько критические уязвимости и к каким потерям они могут привести.

Метод на основе байесовских сетей (МБС) разработан для построения каузальных моделей оценки операционных рисков [89-91]. В его основе лежит теорема Байеса, ценность которой применительно к оценке таких рисков заключается в её способности комбинировать данные о вероятности событий, получаемых экспертным и статистическим путём. Каждому связанному с риском событию (например – “Хакерская атака” (ХА), “Несанкционированный доступ (НСД)”, “Несанкционированная модификация (НСМ)” и др.), проводится оценка вероятности его реализации и (по цепочке) связанных с ним операционных потерь. Вероятность реализации события может быть указана в виде непрерывной функции распределения или в виде таблицы вероятностей (дискретных вероятностей). Определяется абсолютная вероятность и величина расходов. Рассматриваются три категории последствий: нарушение конфиденциальности (К), целостности (Ц) и доступности (Д). Для

материальных активов ущерб определяется по шкале – от полной утраты актива до сбоя (остановки, неполадки) на несущественный промежуток времени [89].

Достоинства метода МБС:

в модели определяются зависимости между всеми переменными, это позволяет легко обрабатывать ситуации, в которых значения некоторых переменных неизвестны;

байесовские сети, которые представляют собой графические структуры для представления вероятностных отношений между большим количеством переменных, достаточно просто интерпретируются и позволяют на этапе прогностического моделирования легко проводить анализ по сценарию "что, если".

В последние годы были разработаны методы АОР, предоставляющие возможность рассчитывать риски, как на основе статистических данных, так и на экспертных оценках, сделанных в неопределенной, слабо формализованной среде и позволяющие отражать результаты, как в числовой, так и в словесной форме, например, с использованием ЛП. В частности, предложены методы, основанные на суждениях экспертов, при этом учтены две ситуации: первая, когда эксперт имеет четкие (бинарные) предпочтения относительно значений оцениваемых параметров, и вторая, когда эксперт сомневается в однозначности своих приоритетов. В соответствии с этим авторами [5] были разработаны два метода оценивания – детерминированный (DetM) [92], основанный на бинарных оценках, и нечеткий (FuzM) [93]. Рассмотрим эти методы более подробно.

Метод DetM. Шаг 1 (Определение множеств).

На этом шаге определяются все используемые базовые множества параметров, которые будут задействованы в процессе АОР. Для определения множеств в качестве основы используем модель интегрированного представления параметров риска (см. параграф 1.3):  $E \in \{E_e\} (e = \overline{1,7})$  –

событие нарушения ИБ (например,  $E$  может отражаться значением  $E_7 = \text{“НКЦД”}$ );  $A \in \{A_a\} (a = \overline{1, n})$  – действие, которое может привести к  $E$  (например, для  $n=5$  эксперты могут идентифицировать, следующие  $A \in \{A_a\} (a = \overline{1, 5})$ :

$A_1 = \text{“Заражение вирусами”}$ ;

$A_2 = \text{“Ошибки программирования”}$ ;

$A_3 = \text{“Нарушение работы операционной системы”}$ ;

$A_4 = \text{“Нарушение целостности системы безопасности”}$ ;

$A_5 = \text{“Отказ в обслуживании”}$ .

Для отображения общего результата АОР воспользуемся ЛП “СТЕПЕНЬ РИСКА” ( $DR$ ), которая определяется кортежем  $\langle DR, T_{DR}, X_{DR} \rangle$  [65], где базовые терм-множества задаются  $m$  термами

$$T_{DR} = \bigcup_{j=1}^m T_{DR_j} \quad (1.12)$$

(например, для  $m=5$  –  $\bigcup_{j=1}^5 T_{DR_j} = \{\text{“Незначительный риск нарушения ИБ ”}$

(НР), “Степень риска нарушения ИБ низкая” (РН), “Степень риска нарушения ИБ средняя” (РС), “Степень риска нарушения ИБ высокая” (РВ), “Предельный риск нарушения ИБ” (ПР)}, которые могут быть отображены на универсальное множество  $X_{DR} \in \{0, \max_{DR}\}$ ). Для каждого из термов  $T_{DR_1}, \dots, T_{DR_j}, \dots, T_{DR_m}$  задается свой интервал значений  $[dr_{min}; dr_1[, \dots, [dr_j; dr_{j+1}[, \dots, [dr_m; dr_{max}]$  (например, при  $m=5$  для  $T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4}, T_{DR_5}$  интервалы определены с использованием шкалы Харрингтона [94], которую модифицировали увеличением ее градуированных значений в два порядка, т.е.  $[dr_{min}; dr_1[, [dr_2; dr_3[, [dr_4; dr_5[, [dr_6; dr_7[, [dr_8; dr_{max}]$  будут соответствовать значения  $[0; 20[, [20; 40[, [40; 60[, [60; 80[, [80; 100]$ ).

Для создания возможности эксперту использовать при оценивании более широкий спектр величин задается полное множество оценочных

КОМПОНЕНТОВ

$$EK_{3Fh} \in \{EK_i\} = \{P, F, L, D, S, V\} \quad (i = \overline{1, g}), \quad (1.13)$$

где  $3Fh$  – шестнадцатеричный код, бинарное значение которого следующим образом отражает порядковый номер оценочного компонента в множестве:  $P$  располагается в разряде  $2^5$ ,  $F$  в  $2^4$ ,  $L$  –  $2^3$ ,  $D$  –  $2^2$ ,  $S$  –  $2^1$ ,  $V$  –  $2^0$  (например, если эксперты хотят воспользоваться  $P, F, L$  и  $D$  то  $g=4$  ( $i = \overline{1, 4}$ ), а

$$EKT_{K_{EK_i}} = \bigcup_{j=1}^m T_{K_{EK_{ij}}} \quad (1.14)$$

(например, при  $m=5$  –  $\bigcup_{j=1}^5 T_{K_{EK_{ij}}} = \{\text{“очень низкий” (ОН), “низкий” (Н), “средний” (С), “высокий” (В), “очень высокий” (ОВ)}\}$ , которые в лингвистической форме характеризуют уровень оценочного компонента и могут быть отображены на универсальное множество  $X_{EK_i} \in \{0, \max_{K_{EK_i}}\}$ ).

Для  $T_{K_{EK_{i1}}, \dots, T_{K_{EK_{ij}}, \dots, T_{K_{EK_{im}}}$ , соответственно, задается свой интервал значений для каждого  $EK_i$  –

$$[k_{EK_i \min}; k_{EK_{i1}}[, \dots, [k_{EK_{ij}}; k_{EK_{ij+1}}[, \dots, [k_{EK_{im}}; k_{EK_i \max}]$$

(например, при  $m=5$  для термов  $T_{K_{EK_{31}}}, T_{K_{EK_{32}}}, T_{K_{EK_{33}}}, T_{K_{EK_{34}}}, T_{K_{EK_{35}}}$  оценочного компонента  $EK_3 = \{L\}$  осуществим разбиения значения на интервалы  $[k_{EK_3 \min}; k_{EK_{31}}[, [k_{EK_{32}}; k_{EK_{33}}[, [k_{EK_{34}}; k_{EK_{35}}[, [k_{EK_{36}}; k_{EK_{37}}[, [k_{EK_{38}}; k_{EK_3 \max}]$ , которым будут соответствовать значения  $[0; 0,1[, [0,1; 0,2[, [0,2; 0,3[, [0,3; 0,4[, [0,4; 0,5]$ ). Для удобства отображения оценочных компонент через интервалы допустимых значений воспользуемся табл.1.1. Оценка значимости  $EK_i$  осуществляется параметрами из множества  $LS \in \{LS_i\} \quad (i = \overline{1, g})$ , а оценка текущего значения оценочного компонента – с помощью множества  $ek \in \{ek_i\} \quad (i = \overline{1, g})$ .

Шаг 2 (Описание оценочных компонентов)



На этом шаге производится описание набора используемых оценочных компонентов, которые, по мнению эксперта-аналитика, с одной стороны, влияют на оценку риска ИБ, а, с другой – оценивают его различные по природе стороны, например, учитывающие особенности организации (банк, архив, силовые ведомства, завод и др.).

Отображение значений оценочных компонентов Таблица 1.1

$EK_i$	Интервалы значений $K_{EK_i}$ для $T_{K_{EK_{i1}}} - T_{K_{EK_{im}}}$				
	$T_{K_{EK_{i1}}}$	...	$T_{K_{EK_{ij}}}$	...	$T_{K_{EK_{im}}}$
$EK_1$	$[k_{EK_1 \min}; k_{EK_1 1}[$	...	$[k_{EK_1 j}; k_{EK_1 j+1}[$	...	$[k_{EK_1 m}; k_{EK_1 \max}]$
...	...	...	...	...	...
$EK_i$	$[k_{EK_i \min}; k_{EK_i 1}[$	...	$[k_{EK_i j}; k_{EK_i j+1}[$	...	$[k_{EK_i m}; k_{EK_i \max}]$
...	...	...	...	...	...
$EK_g$	$[k_{EK_g \min}; k_{EK_g 1}[$	...	$[k_{EK_g j}; k_{EK_g j+1}[$	...	$[k_{EK_g m}; k_{EK_g \max}]$

Для этого эксперт должен определить шестнадцатеричный код, по которому из  $\{EK_i\}$  выбираются значения соответствующих компонентов, например, при коде  $2Ch - g=3$ , а

$$EK_{2Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3\} = \{P, L, D\} \quad (i = \overline{1,3})$$

или при коде  $12h - g=2$ , а

$$EK_{12h} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2\} = \{F, S\} \quad (i = \overline{1,2}).$$

### Шаг 3 (Оценка уровня значимости оценочных компонентов)

На этом шаге каждому компоненту –  $EK_i$  ставится в соответствие уровень его значимости –  $LS_i$ . Отметим, что если для всех  $LS$  справедливо отношение порядка

$$LS_i \geq LS_{i+1}, \quad (1.15)$$

то значимость  $i$ -го компонента определяется по правилу Фишберна [95]:

$$LS_i = \frac{2(g-i+1)}{(g-1)g}. \quad (1.16)$$

Согласно этому правилу, у эксперта отсутствует информация (кроме условия (1.15)) о значимости компонента, и тогда (1.16) отображает максимум энтропии наличной информационной неопределенности об объекте исследования. Если же все компоненты обладают равной значимостью (равнопредпочтительны т.е.  $LS_i = LS_{i+1}$  или системы предпочтений нет), то:

$$LS_i = 1/g. \quad (1.17)$$

$$z_{Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\} = \{P, F, L, D\} \quad (1.18)$$

Введем ЛП “УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА  $EK_i$ ” ( $K_{EK_i}$ ), которая определяется кортежем,  $\langle K_{EK_i}, T_{K_{EK_i}}, X_{EK_i} \rangle$ , где базовые терм-множества задаются  $m$  термами [65].

Шаг 4 (Определение эталонных значений степени риска).

На этом шаге экспертами определяются эталонные значения для  $DR$ , т.е. задается количество термов в базовом терм-множестве ЛП и ставится им в соответствие свой интервал значений, лежащий в диапазоне  $[dr_{min}; dr_{max}]$  (см. пример на шаге 1).

Шаг 5 (Определение эталонных значений оценочных компонентов)

Экспертами производится определение эталонных значений для  $K_{EK_i}$ , т.е. задается количество термов в терм-множестве ЛП (см. пример на шаге 1 и табл. 1.2).

Шаг 6 (Оценка текущих значений компонентов). На этом шаге по каждому оценочному компоненту  $\{EK_i\} = \{P, F, L, D, S, V\}$  ( $i = \overline{1, g}$ ) эксперты соответствующей предметной области определяют  $ek$  для всех  $A$  при ( $a = \overline{1, n}$ ) т.е.

$$\{ek_i^A\} = \{ek_P^{Aa}, ek_F^{Aa}, ek_L^{Aa}, ek_D^{Aa}, ek_S^{Aa}, ek_V^{Aa}\}. \quad (1.19)$$

Значения выставляются на основании предпочтений экспертов, статистической информации и др. данных. Например, в табл.1.3 приведены

текущие значения для  $A \in \{A_a\}$  ( $a = \overline{1,5}$ ), описанные на шаге 1 при  $g=4$ , а

$$EK_{3Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\} = \{P, F, L, D\} \quad (i = \overline{1,4}). \quad (1.20)$$

Таблица 1.2

Пример определения эталонных значений оценочных компонентов

$EK_i$	Интервалы значений $K_{EK_i}$ для $T_{K_{EK_i1}} - T_{K_{EK_i5}}$				
	$T_{K_{EK_i1}}$	$T_{K_{EK_i2}}$	$T_{K_{EK_i3}}$	$T_{K_{EK_i4}}$	$T_{K_{EK_i5}}$
$EK_1=P$	$T_{K_{P1}} \in [0; 20[$	$[20; 40[$	$[40; 60[$	$[60; 80[$	$T_{K_{P5}} \in [80; 100]$
$EK_2=F$	$T_{K_{F1}} \in [0; 0,2[$	$[0,2; 0,4[$	$[0,4; 0,6[$	$[0,6; 0,8[$	$T_{K_{F5}} \in [0,8; 1]$
$EK_3=L$	$T_{K_{L1}} \in [0; 0,1[$	$[0,1; 0,2[$	$[0,2; 0,3[$	$[0,3; 0,4[$	$T_{K_{L5}} \in [0,4; 0,5]$
$EK_4=D$	$T_{K_{D1}} \in [0; 2[$	$[2; 4[$	$[4; 6[$	$[6; 8[$	$T_{K_{D5}} \in [8; 10]$

Таблица 1.3

Определение текущих значений оценочных компонент

$EK_i$	$ek_i^{A_1}$	$T_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_2}$	$T_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_3}$	$T_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_4}$	$T_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_5}$	$T_{K_{EK_i}}$
<b>P,</b> ( $i=1$ )	72	В	58	С	64	С	70	В	66	С
<b>F,</b> ( $i=2$ )	0,72	В	0,58	С	0,64	С	0,7	В	0,66	С
<b>L,</b> ( $i=3$ )	0,23	С	0,33	С	0,12	Н	0,4	В	0,24	Н
<b>D,</b> ( $i=4$ )	5,4	С	6	С	2,2	ОН	9	ОВ	5,5	С

Шаг 7 (Классификация текущих значений)

При прохождении этого шага определяется принадлежность  $ek_i^A$  заданному диапазону, по которому формируется бинарное значение  $\lambda$ :

$$\lambda_{ij}^{(A_a)} = \begin{cases} 1, & \text{if } ek_i^{A_a} \in [k_{EK_i(j-1)}; k_{EK_i j}]; \\ 0, & \text{if } ek_i^{A_a} \notin [k_{EK_i(j-1)}; k_{EK_i j}], \end{cases} \quad (1.21)$$

отражающее предпочтение эксперта относительно значений оценочных параметров, а результаты вычислений для удобства заносятся в табл.1.4.

Таблица 1.4

## Классификация текущих значений оценочных компонентов

$EK_i$	$\lambda_{ij}^{(A_a)}$ для $T_{K_{EK_i j}}$ ( $i = \overline{1, g}, j = \overline{1, m}$ )				
	$T_{K_{EK_i 1}}$	...	$T_{K_{EK_i j}}$	...	$T_{K_{EK_i m}}$
$EK_1$	$\lambda_{11}$	...	$\lambda_{1j}$	...	$\lambda_{1m}$
...	...	...	...	...	...
$EK_i$	$\lambda_{i1}$	...	$\lambda_{ij}$	...	$\lambda_{im}$
...	...	...	...	...	...
$EK_g$	$\lambda_{g1}$	...	$\lambda_{gj}$	...	$\lambda_{gm}$

Аналогичные преобразования производятся для всех  $A$ , например, для тех, которые определены на шаге 1, все вычисленные значения  $\lambda_{ij}^{(A_1)}$ ,  $\lambda_{ij}^{(A_2)} \dots \lambda_{ij}^{(A_5)}$  заносятся в табл.1.5.

Шаг 8 (Оценка степени риска). На этом шаге производится вычисление показателя степени риска нарушения ИБ  $dr^{(A_a)}$  по формуле:

$$dr^{(A_a)} = \sum_{j=1}^m \left( dr_j \sum_{i=1}^g LS_i \lambda_{ij}^{(A_a)} \right), \quad (1.22)$$

где  $dr_j = 90 - 20(j-1)$ ,  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  определяется по формуле (1.21) для каждой  $A_a$  ( $a = \overline{1, n}$ ), а  $LS_i$  ( $i = \overline{1, g}$ ) – по формуле (1.16) или (1.17) ( $j = \overline{1, m}$ ).

Шаг 9 (Лингвистическое распознавание) На завершающем шаге осуществляется лингвистическое распознавание полученного значения  $dr^{(A_a)}$  посредством терм-множеств  $DR$ , например, по формуле при  $m=5$ :

$$T_{DR} = \begin{cases} \acute{I}\mathcal{D}, \grave{i}\mathcal{D} \grave{e} dr^{(A_a)} \in [dr_{\min}; dr_1]; \\ \mathcal{D}\acute{I}, \grave{i}\mathcal{D} \grave{e} dr^{(A_a)} \in [dr_2; dr_3]; \\ \mathcal{D}\tilde{N}, \grave{i}\mathcal{D} \grave{e} dr^{(A_a)} \in [dr_4; dr_5]; \\ \mathcal{D}\hat{A}, \grave{i}\mathcal{D} \grave{e} dr^{(A_a)} \in [dr_6; dr_7]; \\ \grave{i}\mathcal{D}, \grave{i}\mathcal{D} \grave{e} dr^{(A_a)} \in [dr_8; dr_{\max}], \end{cases} \quad (1.23)$$

где DR отображает вычисленное значение  $dr^{(A_a)}$  с помощью значений термножеств ЛП “Степень риска”.

Таблица 1.5

Пример 1 – классификация текущих значений компонент

$EK_i$	Значение $\lambda$ для $A \in \{A_a\}$ ( $a = \overline{1,5}$ )																							
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для $T_{KEK_{im}}$ ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )				$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для $T_{KEK_{im}}$ ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для $T_{KEK_{im}}$ ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для $T_{KEK_{im}}$ ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )				$\lambda_{ij}^{(A_5)}$ для $T_{KEK_{im}}$ ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )							
$P$	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
$F$	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
$L$	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
$D$	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0

Среднее значение  $dr^{(cp)}$  по оцениваемому ресурсу можно вычислить, используя формулу:

$$dr^{(cp)} = \left( \sum_{a=1}^m dr^{(A_a)} \right) / m. \quad (1.24)$$

Теперь рассмотрим возможности оценивания степени риска при условии, что эксперт не всегда может однозначно определить предпочтения в отношении оцениваемых параметров. Предлагается решать эту задачу с помощью нечеткого метода АОР. Нечеткие описания в структуре метода появляются в связи с сомнением эксперта, которое возникает в ходе различного рода классификаций, например, эксперт не проводит четкую

границу между понятиями “В” и “ОВ” для  $P$ .

Для интерпретации нечетких описаний воспользуемся ЛП “СТЕПЕНЬ РИСКА”, где  $T_{DR1}, \dots, T_{DRj}, \dots, T_{DRm}$  представляются трапецевидными НЧ с функциями принадлежности (ФП) соответственно  $\mu_1(dr), \dots, \mu_j(dr), \dots, \mu_m(dr)$ , которые, согласно [65], вычисляются с помощью выражения:

$$\mu_j(dr) = \begin{cases} L\left(\frac{b_{1j} - dr}{b_{1j} - a_j}\right), & dr \in [a_j, b_{1j}]; \\ 1, & dr \in [b_{1j}, b_{2j}]; \\ R\left(\frac{dr - b_{2j}}{c_j - b_{2j}}\right), & dr \in [b_{2j}, c_j], \end{cases} \quad (1.25)$$

где  $a_j < b_{1j} \leq b_{2j} < c_j$ , при  $j = \overline{1, m}$ ,  $\{a_j, c_m\} = \{\emptyset\}$ , а  $L(dr), R(dr)$  – функции (невозрастающие на множестве не положительных чисел), которые удовлетворяют свойствам:

$$L(-dr) = L(dr), R(-dr) = R(dr), L(0) = R(0) = 1. \quad (1.26)$$

Для целей компактного описания трапецевидные ФП  $\mu(dr)$  удобно описывать трапецевидными НЧ вида

$$\mathcal{X}_{DRj} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}, \quad (1.27)$$

где  $a_j$  и  $c_j$  – абсциссы нижнего основания, а  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – абсциссы верхнего основания трапеции (рис. 1.2), задающей  $\mu_j(dr)$  в области с ненулевой принадлежностью носителя  $dr$  соответствующему нечеткому подмножеству. После определения ЛП эксперт может использовать ее как математический объект в соответствующих операциях и методах, что можно продемонстрировать на примере нечеткого FuzM метода.

Метод FuzM. Шаг 1 (Определение лингвистических переменных и нечетких подмножеств).

На этом шаге будут использованы все компоненты, которые были определены на шаге 1 DetM. Отметим, что для ЛП  $DR$  = “СТЕПЕНЬ РИСКА”

( $DR \in \{DR_j\}$ ) в качестве примера будем использовать  $m = 5$  термов  $T_{DR1}, T_{DR2}, T_{DR3}, T_{DR4}, T_{DR5}$ .

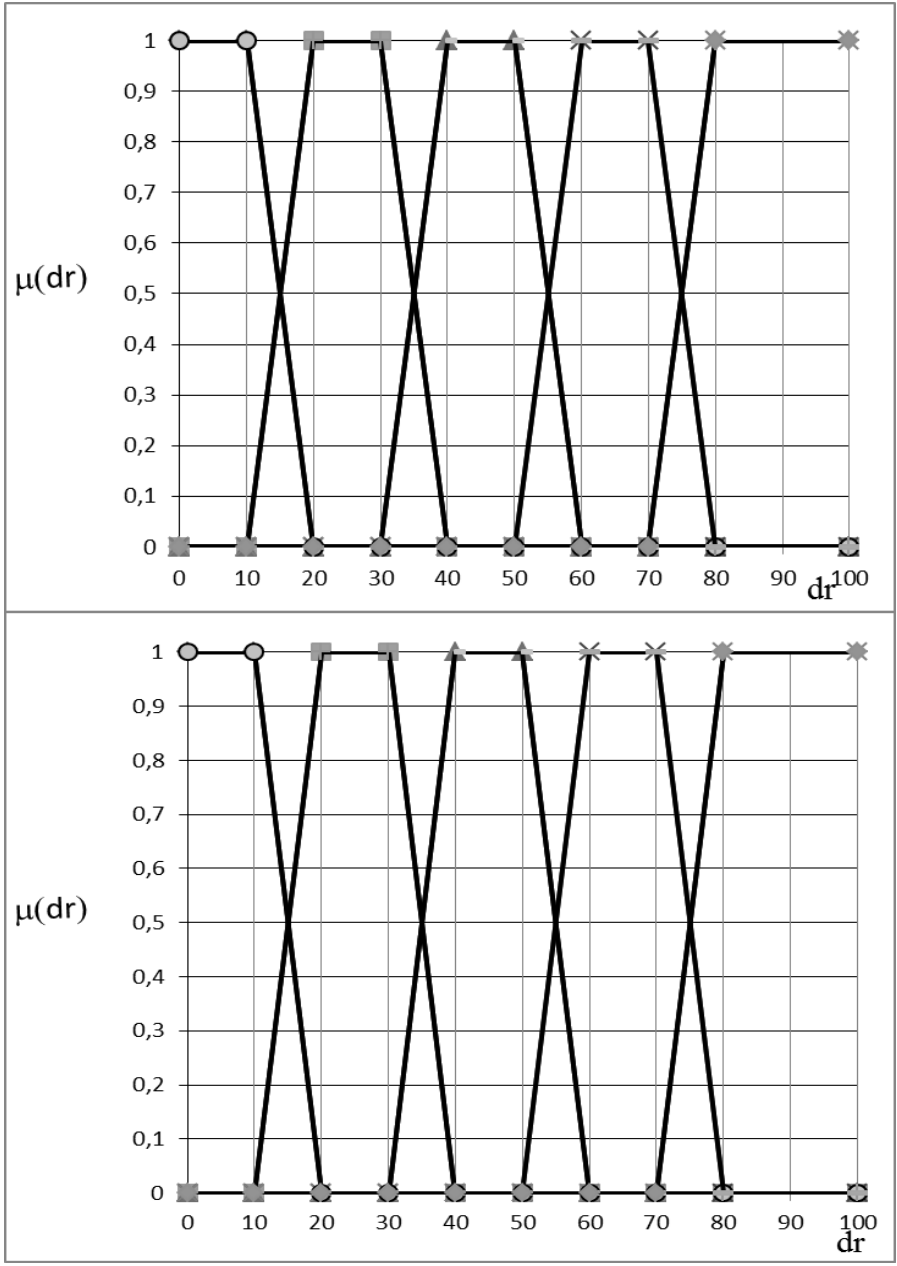


Рис. 1.2. Эталонные значения для ЛП DR

Шаг 2 и Шаг 3 совпадают соответственно с шагами 2 и 3 DetM метода.

Шаг 4 (Определение эталонных значений степени риска)

Здесь экспертами, на основе выражения (1.25) и собственных приоритетов, определяются эталонные НЧ для DR относительно интервалов значений, количество которых зависит от числа используемых термов, например, если для DR их  $m$ , то количество интервалов будет  $G=2m-1$ , с

ОБЩИМ ВИДОМ

$[b_{11}; b_{21}[, [b_{21}; b_{12}[, [b_{12}; b_{22}[, \dots, [b_{2j-1}; b_{1j}[, [b_{1j}; b_{2j}[, \dots, [b_{2m-1}; b_{1m}[, [b_{1m}; b_{2m}]$   
 ( $j = \overline{1, m}$ ) и ФП  $\mu_j(dr)$ . Допустим  $m = 5$ , тогда  $G=9$ , а интервалам

$[b_{11}; b_{21}[, [b_{21}; b_{12}[, [b_{12}; b_{22}[, [b_{22}; b_{13}[, [b_{13}; b_{23}[, [b_{23}; b_{14}[, [b_{14}; b_{24}[, [b_{24}; b_{15}[, [b_{15}; b_{25}]$

с учетом (1.25) соответствуют

$[b_{11}; b_{21}[, [a_2; c_1[, [b_{12}; b_{22}[, [a_3; c_2[, [b_{13}; b_{23}[, [a_4; c_3[, [b_{14}; b_{24}[, [a_5; c_4[, [b_{15}; b_{25}]$ ,  
 а конкретные данные (интервалы значений и ФП заданных термов), для рассматриваемого примера, занесены в табл.1.6.

Таблица 1.6

Пример значений интервалов и  $\mu_j(dr)$

Интервалы	Термы	$\mu_j(dr)$
$[b_{11}; b_{21}[=[0; 10[$	$T_{DR1}$	1
$[b_{21}; b_{12}[=[10; 20[$	$T_{DR1}$	$\mu_1(dr) = (20 - dr)/10$
	$T_{DR2}$	$\mu_2(dr) = 1 - \mu_1(dr)$
$[b_{12}; b_{22}[=[20; 30[$	$T_{DR2}$	1
$[b_{22}; b_{13}[=[30; 40[$	$T_{DR2}$	$\mu_2(dr) = (40 - dr) / 10$
	$T_{DR3}$	$\mu_3(dr) = 1 - \mu_2(dr)$
$[b_{13}; b_{23}[=[40; 50[$	$T_{DR3}$	1
$[b_{23}; b_{14}[=[50; 60[$	$T_{DR3}$	$\mu_3(dr) = (60 - dr) / 10$
	$T_{DR4}$	$\mu_4(dr) = 1 - \mu_3(dr)$
$[b_{14}; b_{24}[=[60; 70[$	$T_{DR4}$	1
$[b_{24}; b_{15}[=[70; 80[$	$T_{DR4}$	$\mu_4(dr) = (80 - dr) / 10$
	$T_{DR5}$	$\mu_5(dr) = 1 - \mu_4(dr)$
$[b_{15}; b_{25}] = [80; 100]$	$T_{DR5}$	1

Шаг 5 (Определение эталонных значений оценочных компонент) На этом шаге экспертами производится определение эталонных значений для  $K_{EK_i}$ , аналогично шагу 5 метода DetM (см. табл. 1.2) с тем отличием, что здесь осуществляется разбиение полного множества указанных значений на нечеткие подмножества. Для удобства отображения оценочных компонент через НЧ воспользуемся табл. 1.7.



Таблица 1.7

## Отображение значений НЧ оценочных компонентов

$EK_i$	НЧ $\underline{X}_{K_{EK_i j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $T_{K_{EK_i 1}} - T_{K_{EK_i m}}$ ( $j = \overline{1, m}$ )				
	$T_{K_{EK_i 1}}$	...	$T_{K_{EK_i j}}$	...	$T_{K_{EK_i m}}$
$EK_1$	$(a_{1min}; b_{1_{1min}}; b_{1_{21}}; c_{11})$	...	$(a_{1j}; b_{1_{1j}}; b_{1_{2j+1}}; c_{1_{j+1}})$	...	$(a_{1m}; b_{1_{1m}}; b_{1_{2max}}; c_{1_{max}})$
...	...	...	...	...	...
$EK_i$	$(a_{imin}; b_{i_{1min}}; b_{i_{21}}; c_i)$	...	$(a_{ij}; b_{i_{1j}}; b_{i_{2j+1}}; c_{i_{j+1}})$	...	$(a_{im}; b_{i_{1m}}; b_{i_{2max}}; c_{i_{max}})$
...	...	...	...	...	...
$EK_g$	$(a_{gmin}; b_{g_{1min}}; b_{g_{21}}; c_g)$	...	$(a_{gj}; b_{g_{1j}}; b_{g_{2j+1}}; c_{g_{j+1}})$	...	$(a_{gm}; b_{g_{1m}}; b_{g_{2max}}; c_{g_{max}})$

Приведем пример такого определения для

$$\{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\} = \{P, F, L, D\} \quad (1.28)$$

с конкретными данными, отображенными в табл. 1.8.

Таблица 1.8

## Пример определения эталонных значений НЧ оценочных компонент

$EK_i$	НЧ $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $T_{K_{EK_i 1}} - T_{K_{EK_i 5}}$ ( $j = \overline{1, 5}$ )				
	$T_{K_{EK_i 1}}$ $(a_1; b_{11}; b_{21}; c_1)$	$T_{K_{EK_i 2}}$ $(a_2; b_{12}; b_{22}; c_2)$	$T_{K_{EK_i 3}}$ $(a_3; b_{13}; b_{23}; c_3)$	$T_{K_{EK_i 4}}$ $(a_4; b_{14}; b_{24}; c_4)$	$T_{K_{EK_i 5}}$ $(a_5; b_{15}; b_{25}; c_5)$
$EK_1 = P$	(0;0;10;20)	(10;20;30;40)	(30;40;50;60)	(50;60;70;80)	(70;80;100;100)
$EK_2 = F$	(0;0;0,1;0,2)	(0,1;0,2;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,5;0,6)	(0,5;0,6;0,7;0,8)	(0,7;0,8;1;1)
$EK_3 = L$	(0;0;0,1;0,15)	(0,1;0,15;0,2;0,25)	(0,2;0,25;0,3;0,35)	(0,3;0,35;0,4;0,45)	(0,4;0,45;0,5;0,5)
$EK_4 = D$	(0;0;1;2)	(1;2;3;4)	(3;4;5;6)	(5;6;7;8)	(7;8;10;10)

При этом значения НЧ для  $P, F, L$  и  $D$  соответственно представлены на рис.

1.3. Также НЧ для  $K_{EK_i}$  можно отобразить относительно интервалов

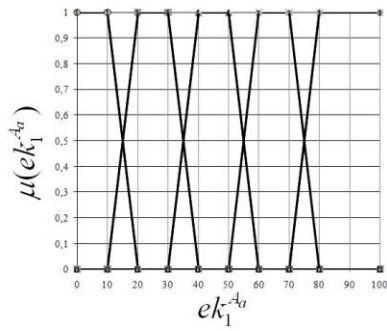
значений  $[b_{11}; b_{21}[$ ,  $[b_{21}; b_{12}[$ ,  $[b_{12}; b_{22}[$ , ...,  $[b_{2j-1}; b_{1j}[$ ,  $[b_{1j}; b_{2j}[$ , ...,  $[b_{2m-1}; b_{1m}[$ ,  $[b_{1m}; b_{2m}]$  ( $j = \overline{1, m}$ ) и ФП  $\mu_j(k_{EK_i})$ . Конкретные данные для рассматриваемого

примера при  $m = 5$  (интервалы значений и ФП заданных термов) занесены в табл.1.9.

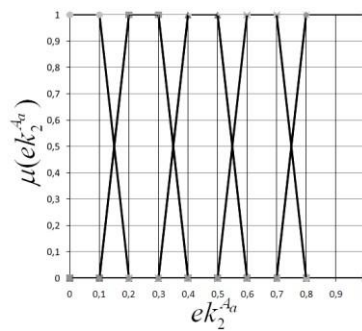
Шаг 6 (Оценка текущих значений компонентов). Совпадает с шагом 6 метода DetM.

Шаг 7 (Классификация текущих значений). На этом шаге с помощью

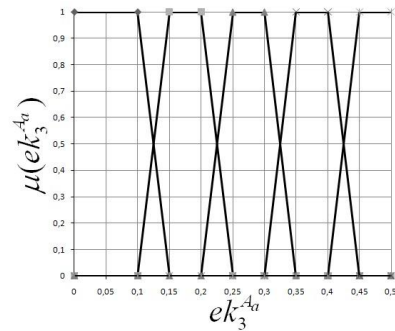
P



F



L



D

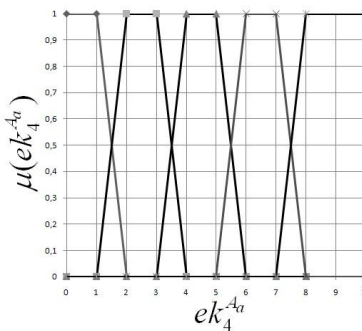


Рис. 1.3 Эталоны значений для оценочных компонент P, F, L и D.

Таблица 1.9

Пример значений интервалов и  $\mu_j(ek_i^{Aa})$  ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )

Интервалы для $EK_i$				Термы	$\mu_j(ek_i^{Aa})$			
P	F	L	D		$\mu_j(ek_1^{Aa})$	$\mu_j(ek_2^{Aa})$	$\mu_j(ek_3^{Aa})$	$\mu_j(ek_4^{Aa})$
[0;10[	[0;0,1[	[0;0,1[	[0;1[	$T_{K_{EK_i;j}}$	$\mu_1(ek_1^{Aa})$ = 1	$\mu_1(ek_2^{Aa})$ = 1	$\mu_1(ek_3^{Aa})$ = 1	$\mu_1(ek_4^{Aa})$ = 1
[10;20[	[0,1;0,2[	[0,1;0,15[	[1;2[	$T_{K_{EK_i;1}}$	$\mu_1(ek_1^{Aa})$ = $(20 - ek_1^{Aa})/10$	$\mu_1(ek_2^{Aa})$ = $(0,2 - ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_1(ek_3^{Aa})$ = $(0,15 - ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_1(ek_4^{Aa})$ = $(2 - ek_4^{Aa})$

				$T_{K_{EK_i}2}$	$\mu_2(ek_1^{Aa})$ =1- $\mu_1(ek_1^{Aa})$	$\mu_2(ek_2^{Aa})$ =1- $\mu_1(ek_2^{Aa})$	$\mu_2(ek_3^{Aa})$ =1- $\mu_1(ek_3^{Aa})$	$\mu_2(ek_4^{Aa})$ =1- $\mu_1(ek_4^{Aa})$
[20;30[	[0,2;0,3[	[0,15;0,2[	[2;3[	$T_{K_{EK_i}2}$	$\mu_2(ek_1^{Aa})$ =1	$\mu_2(ek_2^{Aa})$ =1	$\mu_2(ek_3^{Aa})$ =1	$\mu_2(ek_4^{Aa})$ =1
[30;40[	[0,3;0,4[	[0,2;0,25[	[3;4[	$T_{K_{EK_i}2}$	$\mu_2(ek_1^{Aa})$ = (40 - $ek_1^{Aa}) / 10$	$\mu_2(ek_2^{Aa})$ = (0,4 - $ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_2(ek_3^{Aa}) =$ (0,25 - $ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_2(ek_4^{Aa})$ = (4 - $ek_4^{Aa})$
				$T_{K_{EK_i}3}$	$\mu_3(ek_1^{Aa})$ =1- $\mu_2(ek_1^{Aa})$	$\mu_3(ek_2^{Aa})$ =1- $\mu_2(ek_2^{Aa})$	$\mu_3(ek_3^{Aa})$ =1- $\mu_2(ek_3^{Aa})$	$\mu_3(ek_4^{Aa})$ =1- $\mu_2(ek_4^{Aa})$
[40;50[	[0,4;0,5[	[0,25;0,3[	[4;5[	$T_{K_{EK_i}3}$	$\mu_3(ek_1^{Aa})$ =1	$\mu_3(ek_2^{Aa})$ =1	$\mu_3(ek_3^{Aa})$ =1	$\mu_3(ek_4^{Aa})$ =1
[50;60[	[0,5;0,6[	[0,3;0,35[	[5;6[	$T_{K_{EK_i}3}$	$\mu_3(ek_1^{Aa})$ = (60 - $ek_1^{Aa}) / 10$	$\mu_3(ek_2^{Aa})$ = (0,6 - $ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_3(ek_3^{Aa}) =$ (0,35 - $ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_3(ek_4^{Aa})$ = (6 - $ek_4^{Aa})$
				$T_{K_{EK_i}4}$	$\mu_4(ek_1^{Aa})$ =1- $\mu_3(ek_1^{Aa})$	$\mu_4(ek_2^{Aa})$ =1- $\mu_3(ek_2^{Aa})$	$\mu_4(ek_3^{Aa})$ =1- $\mu_3(ek_3^{Aa})$	$\mu_4(ek_4^{Aa})$ =1- $\mu_3(ek_4^{Aa})$
[60;70[	[0,6;0,7[	[0,35;0,4[	[6;7[	$T_{K_{EK_i}4}$	$\mu_4(ek_1^{Aa})$ =1	$\mu_4(ek_2^{Aa})$ =1	$\mu_4(ek_3^{Aa})$ =1	$\mu_4(ek_4^{Aa})$ =1
[70;80[	[0,7;0,8[	[0,4;0,45[	[7;8[	$T_{K_{EK_i}4}$	$\mu_4(ek_1^{Aa})$ = (80 - $ek_1^{Aa}) / 10$	$\mu_4(ek_2^{Aa})$ = (0,8 - $ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_4(ek_3^{Aa}) =$ (0,45 - $ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_4(ek_4^{Aa})$ = (8 - $ek_4^{Aa})$

				$T_{K_{EK_i}5}$	$\mu_5(ek_1^{A_a})$ =1- $\mu_4(ek_1^{A_a})$	$\mu_5(ek_2^{A_a})$ =1- $\mu_4(ek_2^{A_a})$	$\mu_5(ek_3^{A_a})$ =1- $\mu_4$ $(ek_3^{A_a})$	$\mu_5(ek_4^{A_a})$ =1- $\mu_4(ek_4^{A_a})$
[80;100]	[0,8;1[	[0,45;0,5[	[8;10[	$T_{K_{EK_i}5}$	$\mu_5(ek_1^{A_a})$ =1	$\mu_5(ek_2^{A_a})$ =1	$\mu_5(ek_3^{A_a})$ =1	$\mu_5(ek_4^{A_a})$ =1

эталонных значений, сформулированными экспертами (рис. 1.3),

осуществляется определение принадлежности  $ek_i^{A_a}$  заданному НЧ, по которому формируется значение  $\lambda$  с помощью соотношений:

$$\lambda_{i1}^{(A_a)} = \begin{cases} 1 \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [bi_{11}, bi_{12}[; \\ 0 \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \notin [bi_{11}, ci_1[; \\ \mu_1(ek_i^{A_a}) \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [bi_{12}, ci_1[; \end{cases}$$

$$\dots$$

$$\lambda_{ij}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_j(ek_i^{A_a}) \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [ai_j, bi_{1j}[; \\ 1 \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [bi_{1j}, bi_{2j}[; \\ \mu_j(ek_i^{A_a}) \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [bi_{2j}, ci_j[; \\ 0 \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \notin [ai_j, ci_j[; \end{cases} \quad (1.29)$$

$$\dots$$

$$\lambda_{im}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_m(ek_i^{A_a}) \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [ai_m, bi_{1m}[; \\ 1 \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \in [bi_{1m}, bi_{2m}[; \\ 0 \text{ } \ddot{\text{d}} \ddot{\text{e}} \text{ } ek_i^{A_a} \notin [ai_m, bi_{2m}[; \end{cases}$$

$$(j = \overline{2, m-1}).$$

Результаты проведенного вычисления для удобства заносятся в табл. 1.4,

где  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  – уровень принадлежности носителя  $ek_i^{A_a}$  нечеткому подмножеству  $k_{EK_i j}$ .

Шаг 8 (Оценка степени риска). Совпадает с шагом 8 метода DetM.

Шаг 9 (Формирование структурированного параметра риска). На

основании вычисленного значения  $dr^{(A_a)}$  и построенных эталонов (1.25) и (рис.1.2) формируем структурированный параметр степени риска  $SP$ , используя выражение :

$$SP^{(A_a)} = \begin{cases} (dr^{(A_a)}; T_{DR_j}) \text{ и } \mu_j(dr) = 1 \\ (dr^{(A_a)}; T_{DR_j}(\mu_j(dr)); T_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(dr))) \text{ и } \mu_j(dr), \mu_{j+1}(dr) \neq 1, \end{cases} \quad (1.30)$$

где  $(dr^{(A_a)}; T_{DR_j})$  словесно интерпретируется, как – степень риска  $T_{DR_j}$  с числовым эквивалентом  $dr^{(A_a)}$ , а  $(dr^{(A_a)}; T_{DR_j}(\mu_j(dr)); T_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(dr)))$ , как – степень риска с числовым эквивалентом  $dr^{(A_a)}$  находится между  $T_{DR_j}$  и  $T_{DR_{j+1}}$  с уверенностью эксперта по границе  $T_{DR_j} - \mu_j(dr)$  и  $T_{DR_{j+1}} - \mu_{j+1}(dr)$ . С помощью  $SP$  можно получить как числовое значение степени риска, так и лингвистическую интерпретацию, учитывающую неуверенность эксперта при формировании текущих значений оценочных компонент с дальнейшей классификацией посредством параметра  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ .

По результатам анализа определено, что в основном для ОР используются статистические данные об инцидентах и угрозах ИБ, а также наличие определенных ограничений (на используемый набор параметров рисков) в подобных средствах (см. табл. 1.10).

Как отмечалось ранее, последние два метода, из рассмотренных выше, применяются для ОР в различных условиях среды оценивания: в детерминированной среде используют Det-AOP систему, а в нечеткой – Fuz-AOP. На практике возникают ситуации, когда необходимо провести оценивание с комбинацией подходов интерпретирования суждений эксперта, как относительно его возможностей четко детерминировать значения полученных оценочных параметров, так и при его неопределенности в однозначности своих приоритетов. Это диктует необходимость создания

метода, который позволил бы оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами с возможностью трансформирования термов лингвистических переменных. В связи с этим актуальной представляется также задача эквивалентного преобразования ЛП посредством создания эталонов параметров с возможностью варьирования числом термов, а также усовершенствование модели интегрированного представления параметров рисков ИБ за счет введения множеств соответствующих характеристик риска. Решению этих задач и посвящена диссертационная работа.

Таблица 1.10

Средства ОР	Характеристики рисков					
	AES	CS/ D	E	F/L	M/P	V/A
COBRA	-	+/-	+	-/-	+/+	+
CRAMM	-	+/-	+	+/+	+/+	+
RiskWatch	-	+/-	+	+/+	+/+	+
RA2 art of risk	-	+/+	+	-/-	+/+	+
КЭС	-	+/+	+	-/+	+/+	+
Risk Advisor	-	+/+	+	-/+	+/+	+
vsRisk	-	+/+	+	-/-	+/+	+
OCTAVE	-	+/+	+	-/-	+/-	+
Callio Secura	-	+/-	+	-/+	+/+	+
Гриф 2006	-	+/+	+	-/+	+/+	+
@RISK	-	+/-	+	-/+	+/+	+
RiskPAC	-	+/+	+	-/+	+/+	+
MSAT	-	+/+	+	-/-	+/-	+
МБС	-	+/+	+	-/+	+/+	+
NIST 800-30	-	+/+	+	-/-	+/+	+
VAR	-	+/+	+	-/+	+/+	+
TRA	-	+/+	+	-/-	+/+	+
FRAP	-	+/-	+	-/+	+/+	+
BSI-Standard 100-3	-	+/-	+	-/-	+/-	+
ИББС-2.2-2009	-	+/+	+	+/+	+/+	+
ISO/IEC 27005	-	+/+	+	-/-	+/+	+
Risk Matrix	-	+/+	+	+/-	+/+	+
AS/NZS 4360:2004	-	+/+	+	-/-	+/+	+
Mehari	-	+/+	+	-/-	+/-	+
ISO/FDIS 31000	-	+/+	+	-/-	+/+	+
MAGERIT	-	+/+	+	+/+	+/+	+
Information SRA	-	+/+	+	-/-	+/+	+

## 1.5 Выводы к разделу 1

1. Показана многоплановость толкований научных понятий: информация, риски, анализ и оценка рисков в различных отраслях человеческой деятельности, проанализировано их использование в аспекте информационной безопасности.
2. Обоснована необходимость усовершенствования модели интегрированного представления параметров рисков информационной безопасности, в которой параметры риска рассматриваются в виде десятикомпонентного кортежа (компоненты которого определены, как действие, мера риска, характеристика ситуации, вероятность, опасность, ситуация выбора, частота, затраты и потери (расходы), отклонение от цели) за счет введения множеств соответствующих характеристик риска.
3. На основании рассмотрения современных методов анализа и оценивания рисков информационной безопасности, показано необходимость их дальнейшего совершенствования, в частности, создания метода, использующего лингвистические переменные и позволяющего оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами с выбором необходимого количества терм-множеств.

## РАЗДЕЛ 2 БАЗОВЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

### 2.1 Бистабильная интегрированная кортежная модель характеристик риска

Развитие IT-инфраструктуры предприятий влечет за собой стремительный неконтролируемый рост количества уязвимостей ресурсов информационных систем (РИС) [96]. Для обеспечения необходимого уровня безопасности РИС обычно на предприятиях внедряют соответствующие системы защиты информации (ЗИ) [5, 97]. Одним из основных этапов построения таких систем является реализация процесса анализа и оценивания рисков информационной безопасности (ИБ). На сегодняшний день существует множество инструментальных средств [5], которые объединяются в методики оценивания и анализа рисков. Часто перед специалистами в области ИБ возникает вопрос об эффективном выборе существующих или разработке новых средств оценивания состояния безопасности РИС. Для эффективной организации соответствующего процесса выбора или разработки необходимо иметь достаточно полное отображение характеристик риска, связанных с ИБ.

В работе [63] была разработана интегрированная модель представления параметров риска на основе десятикомпонентного кортежа, с помощью которой осуществлялся анализ подобных средств. При практическом использовании модели, представленной в [63], появилась необходимость в разделении входящих в нее параметров на те, посредством которых проводился бы анализ существующих средств оценивания, и параметры, с помощью которых в перспективе, в определенных условиях, реализовывался бы процесс оценивания, например, в реальном времени или в условиях, позволяющих адаптировать нечеткие шкалы. В связи с этим, актуальной является задача определения характеристик риска, используемых для последующего выбора соответствующих средств, а также для синтеза новых систем оценивания рисков безопасности РИС. Последние, например, можно использовать для определения не-



обходимого уровня ЗИ, осуществления его поддержки и разработки стратегии развития информационных систем (ИС) с учетом постоянного роста количества уязвимостей их ресурсов [5, 96, 97].

Поэтому было решено провести усовершенствование интегрированной модели [63] за счет введения множеств соответствующих характеристик риска и ее представления в виде отображения на два частных кортежа – аналитический и синтетический, применяемые соответственно для реализации выбора существующих средств и для помощи разработчикам при создании новых систем оценивания рисков безопасности РИС.

С целью формализации процесса формирования необходимых характеристик риска предлагается так называемая бистабильная интегрированная кортежная модель характеристик риска (БИКМХР) или аналитико-синтетическая кортежная модель характеристик риска (АСКМ) (см. рис. 2.1). С ее помощью для достижения цели исследований осуществляется формирование требуемых аналитического и синтетического кортежей. Для этого введем множество всех возможных характеристик риска:

$$BC = \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} BC_i \right\} = \{BC_1, BC_2, \dots, BC_{bc}\}, \quad (2.1)$$

где  $BC_i \subseteq BC$  ( $i = \overline{1, bc}$ ) – подмножество отображаемое  $i$ -ю характеристику риска. Это подмножество можем представить, в следующем виде:

$$BC_i = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_i} BC_{i,bo} \right\} = \{BC_{i,1}, BC_{i,2}, \dots, BC_{i,n_i}\} \quad (2.2)$$

Таким образом, (2.1) с учетом (2.2) можно записать как:

$$\begin{aligned} \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} BC_i \right\} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_i} BC_{i,bo} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} \{BC_{i,1}, BC_{i,2}, \dots, BC_{i,n_i}\} \right\} = \\ &= \{ \{BC_{1,1}, BC_{1,2}, \dots, BC_{1,n_1}\}, \{BC_{2,1}, BC_{2,2}, \dots, BC_{2,n_2}\}, \dots, \{BC_{bc,1}, BC_{bc,2}, \dots, BC_{bc,n_{bc}}\} \}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

где  $bc$  и  $n_i$  – соответственно количество членов в  $BC$  и  $BC_i$ , ( $i = \overline{1, bc}$ ,  $bo = \overline{1, n_i}$ ).

Например, с учетом (2.1)–(2.3) при  $bc=13$ ,  $n_1 = aes = n_2 = ca = n_3 = cs = n_{11} = sc = n_{13} = va = 2$ ,  $n_4 = d = n_5 = dt = n_7 = f = n_9 = me = n_{10} = p = n_{12} = n = 3$ ,  $n_6 = e = 7$  и  $n_8 = l$

= 5 множество  $BC$  имеет следующий вид:  $\{\bigcup_{i=1}^{13} BC_i\} = \{\bigcup_{i=1}^{13} \{\bigcup_{bo=1}^{n_i} BC_{i,bo}\}\} =$   
 $\{\{BC_{1,1}, BC_{1,2}\}, \{BC_{2,1}, BC_{2,2}\}, \{BC_{3,1}, BC_{3,2}\}, \{BC_{4,1}, BC_{4,2}, BC_{4,3}\}, \{BC_{5,1}, BC_{5,2},$   
 $BC_{5,3}\}, \{BC_{6,1}, BC_{6,2}, BC_{6,3}, BC_{6,4}, BC_{6,5}, BC_{6,6}, BC_{6,7}\}, \{BC_{7,1}, BC_{7,2}, BC_{7,3}\},$   
 $\{BC_{8,1}, BC_{8,2}, BC_{8,3}, BC_{8,4}, BC_{8,5}\}, \{BC_{9,1}, BC_{9,2}, BC_{9,3}\}, \{BC_{10,1}, BC_{10,2}, BC_{10,3}\},$   
 $\{BC_{11,1}, BC_{11,2}\}, \{BC_{12,1}, BC_{12,2}, BC_{12,3}\}, \{BC_{13,1}, BC_{13,2}\}\} = \{\{AES_1, AES_2\}, \{CA_1, CA_2\},$   
 $\{CS_1, CS_2\}, \{D_1, D_2, D_3\}, \{DT_1, DT_2, DT_3\}, \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_7\}, \{F_1, F_2, F_3\}, \{L_1,$   
 $L_2, L_3, L_4, L_5\}, \{M_1, M_2, M_3\}, \{P_1, P_2, P_3\}, \{SC_1, SC_2\}, \{V_1, V_2, V_3\}, \{VA_1, VA_2\}\}.$

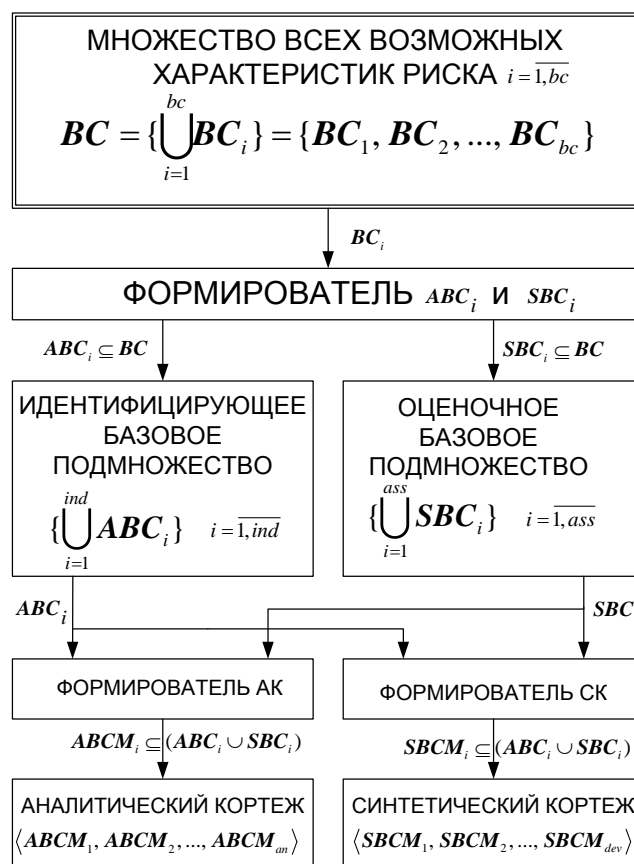


Рис. 2.1. Структурно-аналитическое отображение  
БИКМХР (АСКМ)

Здесь в составе множества  $BC$  есть:

– элемент  $AES$  – «Адаптивность нечетких шкал оценивания» ( $BC_1 = AES$ ), который может быть представлен в виде подмножества

$BC_1 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_1} BC_{1,bo}\} = AES = \{\bigcup_{bo=1}^{aes} AES_{bo}\}, (BC_1 \subseteq BC, bo = \overline{1, aes}),$  где  $n_1 = aes$  – коли-

чество вариантов адаптируемости нечетких шкал оценивания, например, при  $aes = 2$   $BC_1 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_1} BC_{1,bo}\} = \{BC_{1,1}, BC_{1,2}\} = AES = \{\bigcup_{bo=1}^2 AES_{bo}\} = \{AES_1, AES_2\} = \{\text{«декрементирование»}, \text{«инкрементирование»}\}$ , ( $BC_{1,1} = AES_1$ ,  $BC_{1,2} = AES_2$  – варианты адаптируемости нечетких шкал оценивания для параметрических НЧ, например, трапециевидных и треугольных). Этот элемент отражает возможности системы по трансформированию эталонов параметров и адаптации системы под разные условия среды оценивания без участия экспертов соответствующей предметной области;

– элемент **CA** – «Калькулятор» ( $BC_2 = CA$ ), который может отражаться в виде подмножества  $BC_2 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_2} BC_{2,bo}\} = CA = \{\bigcup_{bo=1}^{ca} CA_{bo}\}$  ( $BC_2 \subseteq BC$ ,  $bo = \overline{1, ca}$ ), где  $n_2 = ca$  – количество вариантов калькулятора, например, при  $ca=2$   $BC_2 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_2} BC_{2,bo}\} = \{BC_{2,1}, BC_{2,2}\} = CA = \{\bigcup_{bo=1}^2 CA_{bo}\} = \{CA_1, CA_2\} = \{\text{«CVSS-калькулятор»}, \text{«Риск-калькулятор»}\}$ , ( $BC_{2,1} = CA_1$ ,  $BC_{2,2} = CA_2$  – варианты калькулятора для оценивания риска и оценок CVSS). Этот элемент показывает наличие в системе возможности использования калькуляторов для оценивания риска, а также оценок CVSS;

– элемент **CS** – «Характеристика ситуации» ( $BC_3 = CS$ ), который можно определить как подмножество  $BC_3 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_3} BC_{3,bo}\} = CS = \{\bigcup_{bo=1}^{cs} CS_{bo}\}$ , ( $BC_3 \subseteq BC$ ,  $bo = \overline{1, cs}$ ), где  $n_3 = cs$  – количество идентификаторов характеристики ситуации. Например, при  $cs=2$  подмножество  $BC_3$  может представляться как:  $BC_3 = \{\bigcup_{bo=1}^2 BC_{3,bo}\} = \{BC_{3,1}, BC_{3,2}\} = CS = \{\bigcup_{bo=1}^2 CS_{bo}\} = \{CS_1, CS_2\} = \{\text{«Определённая»}, \text{«Нечеткая»}\}$ , где  $BC_{3,1} = CS_1$ ,  $BC_{3,2} = CS_2$  – элементы подмножества  $CS$ , отображающие характеристику ситуации в виде лингвистических значений;

– элемент  $D$  – «Опасность» ( $BC_4 = D$ ), который может отражаться посредством лингвистической переменной (ЛП) [5,63,98,99]  $BC_4 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_4} BC_{4,bo}\} = D = \{\bigcup_{bo=1}^d \underline{D}_{bo}\}$ , ( $BC_4 \subseteq BC$ ,  $bo = \overline{1,d}$ ), где  $n_4 = d$  – количество термов ЛП «ОПАСНОСТЬ». Например, при  $d=3$  подмножество  $BC_4$  может представляться как:  $BC_4 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_4} BC_{4,bo}\} = \{BC_{4,1}, BC_{4,2}, BC_{4,3}\} = D = \{\bigcup_{bo=1}^3 \underline{D}_{bo}\} = \{\underline{D}_1, \underline{D}_2, \underline{D}_3\} = \{\underline{H}, \underline{C}, \underline{B}\}$ , и отображаться НЧ  $\underline{H}$ ,  $\underline{C}$  и  $\underline{B}$ , имеющими лингвистический эквивалент «низкая» (Н), «средняя» (С) и «высокая» (В) соответственно, где  $BC_{4,1} = \underline{D}_1$ ,  $BC_{4,2} = \underline{D}_2$ ,  $BC_{4,3} = \underline{D}_3$  – элементы базового термножества  $D$ , отображающие значения опасности в виде НЧ;

– элемент  $DT$  – «Отклонение от цели» ( $BC_5 = DT$ ), который является характеристикой, отображаемой численно (например, как стандартное (квадратичное), вероятное или допускаемое отклонение [5, 63]) или посредством применения логико-лингвистического подхода с помощью ЛП «ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ», т.е.  $BC_5 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_5} BC_{5,bo}\} = DT = \{\bigcup_{bo=1}^{dt} \underline{DT}_{bo}\}$  ( $BC_5 \subseteq BC$ , а  $\underline{DT}_1 < \underline{DT}_2 < \dots < \underline{DT}_{dt}$ ,  $bo = \overline{1,dt}$ ), где  $n_5 = dt$  – количество термов ЛП «ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ». Например, при  $dt=3$  можно сформировать следующее множество термов:  $BC_5 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_5} BC_{5,bo}\} = \{BC_{5,1}, BC_{5,2}, BC_{5,3}\} = DT = \{\bigcup_{bo=1}^3 \underline{DT}_{bo}\} = \{\underline{DT}_1, \underline{DT}_2, \underline{DT}_3\} = \{\text{«Маленькое (М)»}, \text{«Среднее (С)»}, \text{«Большое (Б)»}\}$ , где  $BC_{5,1} = \underline{DT}_1$ ,  $BC_{5,2} = \underline{DT}_2$  и  $BC_{5,3} = \underline{DT}_3$  – элементы базового термножества  $DT$  отображающие значения отклонения от цели в виде НЧ  $\underline{M}$ ,  $\underline{C}$  и  $\underline{B}$ ;

– элемент  $E$  – «Нарушение базовых характеристик ИБ» ( $BC_6 = E$ ), который можно отобразить в виде символьной переменной, принимающей одно из значений конечного подмножества идентификаторов  $BC_6 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_6} BC_{6,bo}\} = E = \{\bigcup_{bo=1}^e E_{bo}\}$ , ( $BC_6 \subseteq BC, bo = \overline{1, e}$ ), где  $n_6 = e$  – количество идентификаторов нарушения ИБ РИС. Например, при  $e=7$  подмножество  $BC_6$  может представляться как:  $BC_6 = \{\bigcup_{bo=1}^7 BC_{6,bo}\} = \{BC_{6,1}, BC_{6,2}, \dots, BC_{6,7}\} = E = \{\bigcup_{bo=1}^7 E_{bo}\} = \{E_1, E_2, \dots, E_7\} = \{\text{«Нарушение конфиденциальности (НК)»}, \text{«Нарушение целостности (НЦ)»}, \text{«Нарушение доступности (НД)»}, \text{«Нарушение целостности и конфиденциальности (НЦК)»}, \text{«Нарушение целостности и доступности (НЦД)»}, \text{«Нарушение конфиденциальности и доступности (НКД)»}, \text{«Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности (НКЦД)»}\}$ , где  $BC_{6,1} = E_1, BC_{6,2} = E_2, \dots, BC_{6,7} = E_7$  – элементы подмножества  $E$ , отображающие возможные варианты нарушения базовых характеристик ИБ РИС;

– элемент  $F$  – «Частота» ( $BC_7 = F$ ), который аналогично  $D$  может определяться ЛП «ЧАСТОТА», например, при  $f=3$  она имеет вид:  $BC_7 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_7} BC_{7,bo}\} = \{BC_{7,1}, BC_{7,2}, BC_{7,3}\} = F = \{\bigcup_{bo=1}^f \tilde{F}_{bo}\} = \{\bigcup_{bo=1}^3 \tilde{F}_{bo}\} = \{\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \tilde{F}_3\}$  ( $BC_7 \subseteq BC, bo = \overline{1, f}$ ), где  $n_7 = f$  – количество термов ЛП «ЧАСТОТА» ( $BC_{7,1} = \tilde{F}_1, BC_{7,2} = \tilde{F}_2, BC_{7,3} = \tilde{F}_3$  – элементы базового терм-множества  $F$ , отображающие частоту в виде нечетких значений);

– элемент  $L$  – «Расходы» ( $BC_8 = L$ ), который можно представить численно, например, на заданных интервалах 1) 0 – \$100; 2) \$100 – \$1000; 3) \$1000 – \$10 000; 4) \$10 000 – \$100 000. Здесь (по аналогии с  $D$ ) можно определить ЛП «РАСХОДЫ», например,  $BC_8 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_8} BC_{8,bo}\} = L = \{\bigcup_{bo=1}^l \tilde{L}_{bo}\}$ , ( $BC_8 \subseteq BC, bo = \overline{1, l}$ ), где  $n_8 = l$  – количество интервалов расхода, например, при  $l=4$   $BC_8 = \{\bigcup_{bo=1}^4 BC_{8,bo}\} = \{BC_{8,1}, BC_{8,2}, BC_{8,3}, BC_{8,4}\} = L = \{\tilde{L}_1, \tilde{L}_2, \tilde{L}_3, \tilde{L}_4\}$ , где  $BC_{8,1} = \tilde{L}_1, BC_{8,2} = \tilde{L}_2, BC_{8,3} = \tilde{L}_3, BC_{8,4} = \tilde{L}_4$  – элементы базового терм-множества  $L$ , отображающие расходы в виде нечетких значений);

$BC_8 \subseteq BC$ ,  $bo = \overline{1, l}$ ), где  $n_8 = l$  – количество термов ЛП «РАСХОДЫ». При  $l=5$  ЛП принимает вид:  $BC_8 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_8} BC_{8,bo}\} = \{BC_{8,1}, BC_{8,2}, BC_{8,3}, BC_{8,4}, BC_{8,5}\} = L = \{\bigcup_{bo=1}^5 \underline{L}_{bo}\} = \{\underline{L}_1, \underline{L}_2, \underline{L}_3, \underline{L}_4, \underline{L}_5\} = \{\underline{H}, \underline{HC}, \underline{C}, \underline{BC}, \underline{B}\}$ , а лингвистическими эквивалентами используемых НЧ будут соответственно значения термов «Низкие» (Н), «Ниже среднего» (НС), «Средние» (С), «Выше среднего» (ВС) и «Высокие» (В). Здесь  $BC_{8,1} = \underline{L}_1$ ,  $BC_{8,2} = \underline{L}_2$ ,  $BC_{8,3} = \underline{L}_3$ ,  $BC_{8,4} = \underline{L}_4$ ,  $BC_{8,5} = \underline{L}_5$  – элементы базового терм-множества  $L$ , отображающие расходы в виде нечетких значений. На практике встречается и интегрированное представление  $L$ , например: 1) *Negligible* (менее \$100); 2) *Minor* (менее \$1000); 3) *Moderate* (менее \$10 000); 4) *Serious* (Существенное негативное влияние на бизнес); 5) *Critical* (Катастрофическое воздействие, возможно прекращение деятельности предприятия) [5, 63];

– элемент  $M$  – «Мера риска» ( $BC_9 = M$ ), который можно представить подмножеством  $BC_9 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_9} BC_{9,bo}\} = M = \{\bigcup_{bo=1}^{me} M_{bo}\}$ , ( $BC_9 \subseteq BC$ ,  $bo = \overline{1, me}$ ),

где  $n_9 = me$  – количество возможных идентификаторов меры риска. Например, при  $me=3$  подмножество  $BC_9$  может иметь вид:  $BC_9 = \{\bigcup_{bo=1}^{n_9} BC_{9,bo}\} =$

$\{BC_{9,1}, BC_{9,2}, BC_{9,3}\} = M = \{\bigcup_{bo=1}^3 M_{bo}\} = \{M_1, M_2, M_3\} = \{\text{«Количественная (например, характеризующая численно)»}, \text{«Качественная (например, характеризующая лингвистически)»}, \text{«Интегрированная (например, характеризующая численно и лингвистически)»}\}$ , где  $BC_{9,1} = M_1$ ,  $BC_{9,2} = M_2$ ,  $BC_{9,3} = M_3$  – элементы подмножества  $M$ , отображающие в виде лингвистических значений соответствующую меру риска;

– элемент  $P$  – «Вероятность» ( $BC_{10} = P$ ), который может отображаться статистическими данными. При возникновении сложности с полу-

чением статистических данных или для простоты интерпретации величин, эксперты часто используют логико-лингвистический подход. С его помощью осуществляется отображение соответствующей характеристики посредством ЛП «Вероятность» [5, 63, 98, 99]. Она определяется базовым терм-множеством, например,  $BC_{10} = \{\bigcup_{bo=1}^{n_{10}} BC_{10,bo}\} = P = \{\bigcup_{bo=1}^p P_{\sim bo}\}$ , ( $BC_{10} \subseteq BC$ ,  $bo = \overline{1, p}$ ), где  $n_{10} = p$  – количество термов ЛП «Вероятность», для членов которого справедливо отношение порядка  $P_{\sim 1} < P_{\sim 2} < \dots < P_{\sim p}$ . Например, при  $p=3$  подмножество  $BC_{10}$  может представляться как:  $BC_{10} = \{\bigcup_{bo=1}^{n_{10}} BC_{10,bo}\} = \{BC_{10,1}, BC_{10,2}, BC_{10,3}\} = P = \{\bigcup_{bo=1}^3 P_{\sim bo}\} = \{P_{\sim 1}, P_{\sim 2}, P_{\sim 3}\} = \{\underline{H}, \underline{C}, \underline{B}\}$  и отображаться НЧ  $\underline{H}$ ,  $\underline{C}$  и  $\underline{B}$ , имеющими лингвистический эквивалент «низкая» (Н), «средняя» (С) и «высокая» (В), соответственно. Здесь  $BC_{10,1} = P_{\sim 1}$ ,  $BC_{10,2} = P_{\sim 2}$  и  $BC_{10,3} = P_{\sim 3}$  – элементы базового терм-множества  $P$ , отображающие значения вероятности в лингвистической форме. Как правило, для указанных НЧ на основе известных методов [5] формируются необходимые функции принадлежности (ФП). Также, кроме указанных, могут быть введены и другие значения первичных термов, например, «очень низкая» (ОН), «выше среднего» (ВС), «ниже среднего» (НС) и др. Очевидно, что в этом случае характеристика  $P$  отображается набором лингвистических значений, но как частный случай, она может принимать четкое или интервальное значение. В этом случае для ее отображения будем использовать не полужирный шрифт, например,  $P$ ;

– элемент  $SC$  – «Ситуация выбора» ( $BC_{11} = SC$ ), представляемый ЛП «СИТУАЦИЯ ВЫБОРА» с базовым терм-множеством  $BC_{11} =$

$$\{\bigcup_{bo=1}^{n_{11}} BC_{11,bo}\} = SC = \{\bigcup_{bo=1}^{sc} SC_{\sim bo}\}, (BC_{11} \subseteq BC, bo = \overline{1, sc}), \text{ где } n_{11} = sc \text{ – количество}$$

термов указанной ЛП, для которых справедливо отношения порядка  $\underline{SC}_1 < \underline{SC}_2 < \dots < \underline{SC}_{sc}$ . С помощью  $SC$  можно интерпретировать выбор посредством  $sc$  вариантов. Например, при  $sc=2$  для указанной ЛП могут быть сформированы подмножества  $BC_{11} = \{\bigcup_{bo=1}^{n_{11}} BC_{11,bo}\} = \{BC_{11,1}, BC_{11,2}\} = SC = \{\bigcup_{bo=1}^2 \underline{SC}_{bo}\} = \{\underline{SC}_1, \underline{SC}_2\} = \{\text{«Менее привлекательная (МП)», «Более привлекательная (БП)»}\}$  или  $SC = \{\bigcup_{bo=1}^2 \underline{SC}_{bo}\} = \{\text{«Менее надежная (МН)», «Более надежная (БН)»}\}$ , которые соответственно отображаются НЧ  $\underline{MP}$ ,  $\underline{BP}$  или  $\underline{MN}$ ,  $\underline{BN}$ , где  $BC_{11,1} = \underline{SC}_1$ ,  $BC_{11,2} = \underline{SC}_2$  – элементы базового терм-множества  $SC$ , отображающие ситуацию выбора в виде нечетких значений;

– элемент  $V$  – «Уязвимость» ( $BC_{12} = V$ ), который можно отобразить подмножеством идентификаторов уязвимостей  $BC_{12} = \{\bigcup_{bo=1}^{n_{12}} BC_{12,bo}\} = V = \{\bigcup_{bo=1}^n V_{bo}\}$ , ( $BC_{12} \subseteq BC, bo = \overline{1, n}$ ), где  $n_{12} = n$  – количество возможных уязвимостей РИС (и соответственно их идентификаторов). Например, при  $n=3$  подмножество  $BC_{12} = \{\bigcup_{bo=1}^3 BC_{12,bo}\} = \{BC_{12,1}, BC_{12,2}, BC_{12,3}\} = V$  может иметь следующий вид  $V = \{\bigcup_{bo=1}^3 V_{bo}\} = \{V_1, V_2, V_3\} = \{\text{«Нулевого дня», «Переполнение буфера», «SQL-инъекция»}\}$ , где  $BC_{12,1} = V_1$ ,  $BC_{12,2} = V_2$ ,  $BC_{12,3} = V_3$  – элементы подмножества идентификаторов  $V$ , отображающих идентифицированные уязвимости РИС, связанные соответственно с угрозами нулевого дня, переполнением буфера и реализацией SQL-инъекции;

– элемент  $VA$  – «Оценка CVSS» ( $BC_{13} = VA$ ), который может отображаться подмножеством  $BC_{13} = \{\bigcup_{bo=1}^{n_{13}} BC_{13,bo}\} = VA = \{\bigcup_{bo=1}^{va} VA_{bo}\}$ , ( $BC_{13} \subseteq BC$ ,



$bo = \overline{1, va}$ ), где  $n_{13} = va$  – количество идентификаторов версии CVSS, например, при  $va=2$   $BC_{13} = \{\bigcup_{bo=1}^{n_{13}} BC_{13,bo}\} = \{BC_{13,1}, BC_{13,2}\} = VA = \{\bigcup_{bo=1}^2 VA_{bo}\} = \{VA_1, VA_2\} = \{\langle\langle CVSS v02 \rangle\rangle, \langle\langle CVSS v03 \rangle\rangle\}$ , ( $BC_{13,1} = VA_1$ ,  $BC_{13,2} = VA_2$  – идентификаторы версии CVSS). Этот элемент отражает наличие в системе информации об используемой версии CVSS оценки.

На основе множества  $BC$ , с учетом анализа проведенного в [5, 63,100,101], предлагается формировать два базовых подмножества:

– первое назовем идентифицирующим –  $\{\bigcup_{i=1}^{ind} ABC_i\} = \{\bigcup_{i=1}^{ind} \{\bigcup_{bo=1}^{abc_i} ABC_{i,bo}\}\} = \{\bigcup_{i=1}^{ind} \{ABC_{i,1}, ABC_{i,2}, \dots, ABC_{i,abc_i}\}\} = \{\{ABC_{1,1}, ABC_{1,2}, \dots, ABC_{1,abc_1}\}, \{ABC_{2,1}, ABC_{2,2}, \dots, ABC_{2,abc_2}\}, \dots, \{ABC_{ind,1}, ABC_{ind,2}, \dots, ABC_{ind,abc_{ind}}\}\}$  ( $ABC_i \subseteq BC$ ,  $i = \overline{1, ind}$ ,  $bo = \overline{1, abc_i}$ );

– второе назовем оценочным –  $\{\bigcup_{i=1}^{ass} SBC_i\} = \{\bigcup_{i=1}^{ass} \{\bigcup_{bo=1}^{sbc_i} SBC_{i,bo}\}\} = \{\bigcup_{i=1}^{ass} \{SBC_{i,1}, SBC_{i,2}, \dots, SBC_{i,sbc_i}\}\} = \{\{SBC_{1,1}, SBC_{1,2}, \dots, SBC_{1,sbc_1}\}, \{SBC_{2,1}, SBC_{2,2}, \dots, SBC_{2,sbc_2}\}, \dots, \{SBC_{ass,1}, SBC_{ass,2}, \dots, SBC_{ass,sbc_{ass}}\}\}$  ( $SBC_i \subseteq BC$ ,  $i = \overline{1, ass}$ ,  $bo = \overline{1, sbc_i}$ ), где  $ind$  и  $ass$  – соответственно количество идентифицирующих и оценочных характеристик риска ИБ, используемых для его анализа и оценивания.

Так, например, при  $bc=13$  и  $ind=9$  можно составить следующее идентифицирующее подмножество характеристик риска:  $\{\bigcup_{i=1}^9 ABC_i\} = \{ABC_1, ABC_2, ABC_3, ABC_4, ABC_5, ABC_6, ABC_7, ABC_8, ABC_9\} = \{AES, CA, CS, DT, E, M, SC, V, VA\}$ , где  $ABC_1 = AES$ ,  $ABC_2 = CA$ ,  $ABC_3 = CS$ ,  $ABC_4 = DT$ ,  $ABC_5 = E$ ,  $ABC_6 = M$ ,  $ABC_7 = SC$ ,  $ABC_8 = V$ ,  $ABC_9 = VA$ , а при  $ass=4$  – оценочное под-

множество характеристик риска:  $\{\bigcup_{i=1}^4 SBC_i\} = \{SBC_1, SBC_2, SBC_3, SBC_4\} = \{D, F, L, P\}$ , где  $SBC_1 = D$ ,  $SBC_2 = F$ ,  $SBC_3 = L$ ,  $SBC_4 = P$ .

Далее, для эффективной организации процесса анализа существующих средств оценивания и их разработки, осуществляется интеграция членов, представленных подмножеств характеристик риска, посредством их отображения в двух фиксированных кортежах (см. рис. 2.1). Первый кортеж – аналитический (АК), используемый для анализа средств оценивания с целью последующего их выбора. Второй кортеж – синтетический (СК), используемый для помощи разработчикам, которые синтезируют такие средства оценивания. Как видно из структурно-аналитического представления БИКМХР (АСКМ) (см. рис. 2.1) основу указанных кортежей составляет множество  $BC$  и подмножества  $ABC_i$ ,  $SBC_i$ . Рассмотрим конкретный пример их использования в БИКМХР (АСКМ).

Пусть для исследования средств анализа и оценивания рисков необходимо в качестве соответствующих сравнительных характеристик воспользоваться:

- 1) возможностью адаптации нечеткой шкалы оценивания, т.е. возможностью системы трансформировать эталоны (см. элемент *AES*);
- 2) калькулятором для оценивания риска или оценок CVSS (см. элемент *CA*);
- 3) информацией об отклонении от поставленной цели, например, в бизнесе (см. элемент *DT*);
- 4) возможностью оценивания рисков относительно нарушений базовых характеристик ИБ РИС (см. элемент *E*);
- 5) возможностью выбора (см. элемент *SC*);
- 6) информацией об уязвимостях РИС (см. элемент *V*);
- 7) возможностью использования оценок CVSS (см. элемент *VA*);
- 8) возможностью определения среды оценивания, в которой работает исследуемое средство (см. элемент *CS*);
- 9) параметрами для оценивания, например, идентифицированных уязвимостей РИС (см. элементы *P, D, F* и *L*);

10) форматом представления данных в анализируемом средстве (см. элемент **M**),

тогда можно сформировать АК, который имеет следующий вид (см. рис. 2.1):  $\langle ABCM_1, ABCM_2, \dots, ABCM_{an} \rangle$ , где  $ABCM_i$  – компонент АК ( $i = \overline{1, an}$ ), а  $an$  – количество членов АК.

Для подмножеств  $ABC_i$  и  $SBC_i$  в выше рассмотренном примере, АК может иметь следующий вид ( $an=13$ ):

$$\langle ABCM_1, ABCM_2, ABCM_3, ABCM_4, ABCM_5, ABCM_6, ABCM_7, ABCM_8, ABCM_9, \\ ABCM_{10}, ABCM_{11}, ABCM_{12}, ABCM_{13} \rangle = \langle AES, CA, CS, D, DT, E, F, L, M, P, SC, V, VA \rangle,$$

где  $ABCM_1 = ABC_1 = AES$ ,  $ABCM_2 = ABC_2 = CA$ ,  $ABCM_3 = ABC_3 = CS$ ,  $ABCM_5 = ABC_4 = DT$ ,  $ABCM_6 = ABC_5 = E$ ,  $ABCM_9 = ABC_6 = M$ ,  $ABCM_{11} = ABC_7 = SC$ ,  $ABCM_{12} = ABC_8 = V$ ,  $ABCM_{13} = ABC_9 = VA$  определяются с помощью подмножества  $ABC_i$ , а  $ABCM_4 = SBC_1 = D$ ,  $ABCM_7 = SBC_2 = F$ ,  $ABCM_8 = SBC_3 = L$ ,  $ABCM_{10} = SBC_4 = P$  – с помощью подмножества  $SBC_i$ .

Также, например, если при синтезе соответствующих средств оценивания разработчикам необходимо в качестве характеристик воспользоваться: возможностью адаптации нечеткой шкалы оценивания (см. элемент **AES**); встроенными калькуляторами для оценивания риска и оценок CVSS (см. элемент **CA**); информацией об уязвимостях РИС (см. элемент **V**); возможностью оценивания рисков относительно нарушений базовых характеристик ИБ РИС (см. элемент **E**); параметрами для оценивания идентифицированных уязвимостей РИС (см. элементы **D, F, L, P**), то в этом случае можно сформировать СК, который имеет вид:  $\langle SBCM_1, SBCM_2, \dots, SBCM_{dev} \rangle$ , где  $SBCM_i$  – компонент СК ( $i = \overline{1, dev}$ ),  $dev$  – количество членов СК. Для подмножеств  $ABC_i$  и  $SBC_i$  в выше рассмотренном примере, СК может иметь следующий вид ( $dev=8$ ):  $\langle SBCM_1, SBCM_2, SBCM_3, SBCM_4, SBCM_5, SBCM_6, SBCM_7, SBCM_8 \rangle = \langle AES, CA, D, E, F, L, P, V \rangle$ , где  $SBCM_1 = ABC_1$ ,  $SBCM_2 = ABC_2$ ,  $SBCM_4 =$

$ABC_3$ ,  $SBCM_8 = ABC_8$  определяются с помощью подмножества  $ABC_i$ , а  $SBCM_3 = SBC_1$ ,  $SBCM_5 = SBC_2$ ,  $SBCM_6 = SBC_3$ ,  $SBCM_7 = SBC_4$  – с помощью подмножества  $SBC_i$ .

Таким образом, предложенная усовершенствованная базовая интегрированная кортежная модель позволяет упростить принятие решения о выборе необходимого средства оценивания и выбор необходимого набора параметров при создании систем оценивания рисков за счет разделения определенного множества всех базовых характеристик риска на подмножества идентифицирующих и оценочных компонентов, отображаемых посредством двух фиксированных кортежей – аналитическим (который используется для исследования широкого спектра существующих средств анализа и оценивания риска с позиций формирования необходимых для их функционирования исходных данных) и синтетическим (который используется для помощи разработчикам, синтезирующим соответствующие средства оценивания).

## **2.2 Метод преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности**

Для реализации процесса анализа и оценивания информационных рисков, основанного на суждениях экспертов, как правило, требуется привлечение методов и средств, позволяющих обрабатывать нечеткие исходные данные [102,103], например, представленные в лингвистической форме. Известна система [93], в которой оценивание реализовано на основе ЛП, базирующихся на эталонных параметрических трапециевидных нечетких числах с различным количеством определяющих термов [103]. Эффективность практического использования указанной системы зависит от ее возможностей обрабатывать другие типы НЧ, на основе которых осуществляется определения ЛП и переопределение числа их термов. Расширить возможности системы АОР, предложенной ранее [93], можно путем использования дополнительного типа параметрических нечетких чисел – треугольных. Исходя из этого, актуальной является задача эквивалентного преобразования ЛП посредством создания

эталонов параметров треугольных НЧ с возможностью варьирования числом термов.

В связи с этим, возникла необходимость разработать метод преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности. Для реализации поставленного задания воспользуемся методом, в основе которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять трансформирование (эквивалентное преобразование) термов ЛП. Согласно [102], для целей компактного представления трапециевидных функций принадлежности  $\mu(dr)$  НЧ описываются в виде  $\underline{X}_{DR} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ , где  $a$  и  $c$  – абсциссы нижнего основания,  $b_1$  и  $b_2$  – абсциссы верхнего основания трапеции, а  $j = \overline{1, m}$  ( $m$  – количество термов). Если приравнять  $b_{1j} = b_{2j}$ , то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные. Исходя из сказанного, представим ЛП в виде:

$$\begin{aligned} DR^{(m)} \{ T_{DR1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_1^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, T_{DRj}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_j^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \\ T_{DRm}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_m^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR} \}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

а преобразованную ЛП –

$$\begin{aligned} DR^{(m-1)} \{ T_{DR1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_1^{(m-1)}; c_1^{(m-1)})_{LR}, \dots, T_{DRj}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_j^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \\ T_{DRm-1}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{m-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR} \} (j = \overline{1, m}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Функцию трансформирования ЛП на минус один порядок обозначим как  $FT^{-1}$  (ЛП) [102], например, понижение  $DR^{(m)}$  на один порядок можно представить так:

$$DR^{(m-1)} = FT^{-1}(DR^{(m)}) \quad (2.6)$$

Заданная функция реализуется посредством следующих аналитических преобразований:

Для  $T_{DRj}^{(m-1)}$  –

$$\begin{aligned} a_1^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_1^{(m)} + a_2^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ c_1^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_1^{(m)} + c_2^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ b_1^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_1^{(m)} + b_2^{(m)} - B^{(m-1)})/2; \end{aligned} \quad (2.7)$$

Для  $T_{DR_j^{(m-1)}}$  –

$$\begin{aligned} a_j^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_j^{(m)} + a_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ c_j^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_j^{(m)} + c_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ b_j^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_j^{(m)} + b_{j+1}^{(m)} - B^{(m-1)})/2; \end{aligned} \quad (2.8)$$

Для  $T_{DR_{m-1}^{(m-1)}}$  –

$$\begin{aligned} a_{m-1}^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ c_{m-1}^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ b_{m-1}^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)} - B^{(m-1)})/2, \end{aligned} \quad (2.9)$$

где  $k_1^{(m-1)} = 2c_{dr}/(c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})$ ;  $A^{(m-1)} = a_1^{(m)} + a_2^{(m)}$  ( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов;  $a$  и  $c$  – абсциссы нижнего основания);

$$k_2^{(m-1)} = 2b_{dr}/(b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)} - B^{(m-1)}); \quad (2.10)$$

$B^{(m-1)} = b_1^{(m)} + b_2^{(m)}$  ( $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b$  – абсцисса вершины треугольника, а  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов).

Работу предложенного метода рассмотрим в Главе 4 на конкретных примерах различных типов распределений.

### 2.3 Метод $n$ -кратного понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков

Хорошо известны методы, которые позволяют реализовывать анализ, оценивание и управления рисками ИБ при нечетких условиях в слабоформализованной среде окружения [5]. Для реализации такого процесса можно использовать систему, в которой оценивание осуществляется на основе ЛП, базирующихся на эталонных параметрических трапециевидных НЧ с заданным количеством термов. Формирование эталонов является достаточно сложной процедурой, которая реализуется с привлечением экспертов соответствующей предметной области. При практическом использовании указанной системы возникает необходимость в варьировании количеством термов, напри-

мер, для их приведения к одному порядку. Известен метод [102], который позволяет осуществить понижение количества термов только на один порядок, что создает определенные сложности в эффективном использовании существующих систем. В связи с этим актуальной является задача повышения эффективности работы системы АОР, предложенной ранее, посредством метода, который позволяет эквивалентно переопределять порядок (число термов) ЛП с  $n$ -кратным понижением их числа.

В связи с этим и был предложен метод  $n$ -кратного понижения числа термов ЛП в задачах анализа и оценивания рисков ИБ, описанию которого посвящен этот параграф. Метод состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы.

Этап 1 – Формирование базы. Для достижения поставленной цели будем использовать метод переопределения числа термов ЛП на основе функции ее трансформирования на минус один порядок  $FT^{-1}(ЛП)$  [102]. В качестве ЛП воспользуемся **DR** – «СТЕПЕНЬ РИСКА» [5]. Для вывода базовой формулы воспользуемся последовательностью из  $n$ - членов понижения  $DR^{(m)}$  [102] ( $m$  – количество терм-множеств) на один порядок, т.е.:

$$\begin{cases} DR^{(m-1)} = FT^{-1}(DR^{(m)}); \\ DR^{(m-2)} = FT^{-1}(DR^{(m-1)}); \\ DR^{(m-3)} = FT^{-1}(DR^{(m-2)}); \\ \dots \\ DR^{(m-n)} = FT^{-1}(DR^{(m-n+1)}). \end{cases} \quad (2.11)$$

Выполняя соответствующие подстановки в формуле (2.11), получим:

$$\begin{cases} DR^{(m-2)} = FT^{-1}(FT^{-1}(DR^{(m)})); \\ DR^{(m-3)} = FT^{-1}(FT^{-1}(FT^{-1}(DR^{(m)}))); \\ \dots \\ DR^{(m-n)} = \underbrace{FT^{-1}(\dots FT^{-1}(FT^{-1}(FT^{-1}(DR^{(m)})))\dots)}_n. \end{cases} \quad (2.12)$$

Обозначим через  $FT^{-n}$   $n$ -кратную последовательность реализации функции трансформирования ЛП  $FT^{-1}$ , тогда выражение (2.12) представим в следующем виде:

$$\begin{cases} DR^{(m-2)} = FT^{-2}(DR^{(m)}); \\ DR^{(m-3)} = FT^{-3}(DR^{(m)}); \\ \dots \\ DR^{(m-n)} = FT^{-n}(DR^{(m)}). \end{cases} \quad (2.13)$$

Таким образом, последнее выражение в формуле (2.13) представляемое как:

$$DR^{(m-n)} = FT^{-n}(DR^{(m)}), \quad (2.14)$$

определим в качестве базовой формулы (или базы) для трансформирования ЛП на минус  $n$ -й ( $-n$ ) порядок.

Этап 2 – Расширение базы. С учетом того, что ЛП ( $DR^{(m)}$ ) состоит из набора термов [5], то выражение (2.11) можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} DR^{(m-1)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-2}}, T_{DR_{m-1}}) = FT^{-1}(DR^{(m)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-1}}, T_{DR_m})); \\ DR^{(m-2)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-3}}, T_{DR_{m-2}}) = FT^{-1}(DR^{(m-1)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-2}}, T_{DR_{m-1}})); \\ DR^{(m-3)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-4}}, T_{DR_{m-3}}) = FT^{-1}(DR^{(m-2)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-3}}, T_{DR_{m-2}})); \\ \dots \\ DR^{(m-n)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-n+1}}, T_{DR_{m-n}}) = FT^{-1}(DR^{(m-n+1)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-n+2}}, T_{DR_{m-n+1}})), \end{cases} \quad (2.15)$$

и выполнив соответствующие подстановки в выражении (2.15) получим:

$$\begin{cases} DR^{(m-2)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-3}}, T_{DR_{m-2}}) = FT^{-2}(DR^{(m)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-1}}, T_{DR_m})); \\ DR^{(m-3)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-4}}, T_{DR_{m-3}}) = FT^{-3}(DR^{(m)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-1}}, T_{DR_m})); \\ \dots \\ DR^{(m-n)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-n+1}}, T_{DR_{m-n}}) = FT^{-n}(DR^{(m)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-1}}, T_{DR_m})). \end{cases} \quad (2.16)$$

Таким образом аналитические выражение в формуле (2.16):

$$DR^{(m-n)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-n+1}}, T_{DR_{m-n}}) = FT^{-n}(DR^{(m)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, \dots, T_{DR_{m-1}}, T_{DR_m})), \quad (2.17)$$

определим, как расширение базовой формулы (2.14) .

Этап 3 – Частное расширение базы. ЛП  $DR^{(m)}$  представляется НЧ с различными функциями принадлежности (ФП)  $\mu(dr)$  [103]. Так как для целей компактного описания ФП удобно описывать трапециевидными НЧ вида  $\tilde{X}_{DRj} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ , где  $a_j$  и  $c_j$  – абсциссы нижнего основания, а  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  –



абсциссы верхнего основания трапеции (при  $j = \overline{1, m}$ ), то выражение (2.1) представим в виде:

$$DR^{(m-n)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, (a_{m-n+1}, b_{1m-n+1}, b_{2m-n+1}, c_{m-n+1}), (a_{m-n}, b_{1m-n}, b_{2m-n}, c_{m-n})) = FT^{-n}(DR^{(m)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, (a_{m-1}, b_{1m-1}, b_{2m-1}, c_{m-1}), (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m))) \quad (2.18)$$

и назовем его первым частным расширением базы. Работу предложенного метода рассмотрим на конкретном примере в Разделе 4.

#### **2.4 Метод n-кратного понижения порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы**

На основе методов, позволяющих обрабатывать нечеткие исходные данные, была разработана система АОР, в которой оценивание реализовано на основе ЛП, базирующихся на эталонных параметрических трапециевидных НЧ с различным количеством определяющих термов [5]. В п.2.3 представлен метод n-кратного понижения числа термов ЛП на основе первого частного расширения базы для трапециевидных НЧ. Эффективность практического использования системы АОР зависит от ее возможностей обрабатывать другие типы НЧ, на основе которых осуществляется определение ЛП и от оперативности варьирования количеством термов без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Расширить возможности системы АОР, которая предложена авторами [5], можно путем использования дополнительного типа параметрических нечетких чисел – треугольных. В связи с этим, был разработан метод n-кратного понижения числа термов ЛП, базирующихся на эталонных параметрических треугольных НЧ, представленный ниже.

Метод, также как и представленный ранее в п.2.3, состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы. Два первых этапа являются основой для n-кратного понижения порядка с использованием любых типов НЧ. Для совершенствования систем анализа и оценивания рисков рассмотрим третий этап возможности расширения базы для треугольных чисел. Итак, если в формуле (2.18) приравнять  $b_j = b_{1j} = b_{2j}$ ,

$j = \overline{1, m}$ , то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные, и для таких чисел выражение (2.18) можно представить в виде:

$$\begin{aligned} & DR^{(m-n)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_{m-n+1}, b_{m-n+1}, c_{m-n+1}), (a_{m-n}, b_{m-n}, c_{m-n})) = \\ & FT^{-n}(DR^{(m)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_{m-1}, b_{m-1}, c_{m-1}), (a_m, b_m, c_m))). \end{aligned} \quad (2.19)$$

Формулу (2.19) назовем, как и в п.2.3, вторым частным расширением базы. Рассмотрим работу метода на конкретном примере, при этом положим в основу формулу (2.19), т.е. второе частное расширение базы. В качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные треугольные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при  $m=5$  (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Пример эталонных треугольных НЧ при  $m = 5$

Тип распределения НЧ ЛП <b>DR</b>	НЧ $T_{DRj} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	$T_{DR1}$	$T_{DR2}$	$T_{DR3}$	$T_{DR4}$	$T_{DR5}$
Равномерное	$(0; 0; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 25; 44,44)_{LR}$	$(33,33; 50; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 75; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 100; 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0; 0; 20)_{LR}$	$(12; 27; 39)_{LR}$	$(30; 52; 59)_{LR}$	$(56; 74; 78)_{LR}$	$(70; 100; 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0; 0; 10)_{LR}$	$(5; 10; 25)_{LR}$	$(20; 30; 45)_{LR}$	$(40; 60; 70)_{LR}$	$(65; 100; 100)_{LR}$
Убывающее	$(0; 0; 30)_{LR}$	$(30; 40; 55)_{LR}$	$(55; 70; 75)_{LR}$	$(75; 90; 90)_{LR}$	$(90; 100; 100)_{LR}$

Осуществим соответствующие преобразования при  $n = \overline{2,3}$ . Пусть  $n=2$ , тогда выражение (2.18) принимает вид:

$$\begin{aligned} & DR^{(3)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3)) = \\ & FT^{-2}(DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5))). \end{aligned} \quad (2.20)$$

Для дальнейших преобразований на основе заданной функции воспользуемся аналитическими выражениями - формулами (2.7-2.9). С учетом того, что  $n = 2$  выполним следующие преобразования:

$$\begin{aligned} \text{Для } T_{DR_1}^{(m-2)} \text{ —} & a_1^{(m-2)} = k_1^{(m-2)}(a_1^{(m-1)} + a_2^{(m-1)} - A^{(m-2)})/2, \\ & b_1^{(m-2)} = k_2^{(m-2)}(b_1^{(m-1)} + b_2^{(m-1)} - B^{(m-2)})/2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c_1^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(c_1^{(m-1)} + c_2^{(m-1)} - A^{(m-2)})/2; \\
&\dots \\
\text{ДЛЯ } T_{DR_j}^{(m-2)} & \quad a_j^{(m-2)} = k_1^{(m-2)}(a_j^{(m-1)} + a_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)})/2, \\
&\quad b_j^{(m-2)} = k_2^{(m-2)}(b_j^{(m-1)} + b_{j+1}^{(m-1)} - B^{(m-2)})/2, \\
&\quad c_j^{(m-2)} = k_1^{(m-2)}(c_j^{(m-1)} + c_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)})/2; \\
&\dots
\end{aligned} \tag{2.21}$$

ДЛЯ  $T_{DR_{m-2}}^{(m-2)}$  —

$$\begin{aligned}
a_{m-2}^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(a_{m-2}^{(m-1)} + a_{m-1}^{(m-1)} - A^{(m-2)})/2, \\
b_{m-2}^{(m-2)} &= k_2^{(m-2)}(b_{m-2}^{(m-1)} + b_{m-1}^{(m-1)} - B^{(m-2)})/2, \\
c_{m-2}^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(c_{m-2}^{(m-1)} + c_{m-1}^{(m-1)} - A^{(m-2)})/2,
\end{aligned}$$

ГДЕ  $k_1^{(m-2)} = 2c_{dr} / (c_{m-2}^{(m-1)} + c_{m-1}^{(m-1)} - A^{(m-2)})$ ;  $A^{(m-2)} = a_1^{(m-1)} + a_2^{(m-1)}$  ( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  — количество термов;  $a_j$ ,  $c_j$  — абсциссы нижнего основания);  $k_2^{(m-2)} = 2b_{dr} / (b_{m-2}^{(m-1)} + b_{m-1}^{(m-1)} - B^{(m-2)})$ ;  $B^{(m-2)} = b_1^{(m-1)} + b_2^{(m-1)}$  ( $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_j$  — абсцисса вершины треугольника, а  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  — количество термов). Для осуществления перехода от  $m$  термов к  $m-2$  реализуем подстановку в выражение (2.21) значений  $a_1^{(m-1)}$ ,  $b_1^{(m-1)}$ ,  $c_1^{(m-1)}$  и т.д. используем формулы (2.7-2.9). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

ДЛЯ  $T_{DR_1}^{(m-2)}$  —

$$\begin{aligned}
a_1^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_1^{(m)} + 2a_2^{(m)} + a_3^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_1^{(m-2)} &= \frac{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_1^{(m)} + 2b_2^{(m)} + b_3^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_{m-2}^{(m)} + 2b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr}, \\
c_1^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_1^{(m)} + 2c_2^{(m)} + c_3^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}; \\
&\dots
\end{aligned}$$

$T_{DR_j}^{(m-2)}$  —

$$\begin{aligned}
a_j^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_j^{(m)} + 2a_{j+1}^{(m)} + a_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_j^{(m-2)} &= \frac{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_j^{(m)} + 2b_{j+1}^{(m)} + b_{j+2}^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_{m-2}^{(m)} + 2b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr},
\end{aligned} \tag{2.22}$$

$$c_j^{(m-2)} = \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_j^{(m)} + 2c_{j+1}^{(m)} + c_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr};$$

...

$T_{DR_{m-2}}^{(m-2)}$  —

$$a_{m-2}^{(m-2)} = \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_{m-2}^{(m)} + 2a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$b_{m-2}^{(m-2)} = \frac{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_{m-2}^{(m)} + 2b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_{m-2}^{(m)} + 2b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr},$$

$$c_{m-2}^{(m-2)} = \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  — количество термов;  $a_j, c_j$  — абсциссы нижнего основания;  $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_j$  — абсцисса вершины треугольника).

Работу описанного выше метода на примерах различных типов распределений рассмотрим в Разделе 4.

## 2.5 Метод реализации функции трансформирования эталонов

### в задачах анализа и оценивания рисков

Для анализа и оценивания рисков ИБ используют средства, которые основываются на нечеткой логике [5] и ЛП с фиксированным количеством терм-множеств, определенных экспертами на этапе инициализации базовых величин при настройке системы. Для повышения эффективности таких средств, были разработаны методы  $n$ -кратного декрементирования (понижения) числа термов ЛП для трапециевидных и треугольных НЧ, что позволяет уменьшать порядок ЛП без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Указанные методы детально описаны в п.2.3 и п.2.4. При практическом использовании данных систем возникает необходимость трансформировать эталоны ЛП таким образом, чтобы область их определения расширилась на большее количество термов. Для этого следует использовать новые экспертные оценки с привлечением специалистов соответствующей предметной области. Такой процесс достаточно трудоемкий и создает дополнительную нагрузку на владельца системы. В связи с этим актуаль-

ным является решение задачи инкрементирования числа термов ЛП на основе оценок экспертов, которые использовались на этапе настройки системы.

Исходя из этого, был разработан метод трансформирования эталонов посредством однократного инкрементирования (увеличение на один порядок) числа термов ЛП. Для решения поставленной задачи в качестве ЛП воспользуемся **DR** – «СТЕПЕНЬ РИСКА» [5]. Пусть исходная ЛП имеет вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{DR}^{(m)}(\underline{T}_{DR_1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, \underline{T}_{DR_j}^{(m)} = \\ = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots, \underline{T}_{DR_m}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR}), \end{aligned} \quad (2.23)$$

а преобразованная –

$$\begin{aligned} \mathbf{DR}^{(m+1)}(\underline{T}_{DR_1}^{(m+1)} = (a_1^{(m+1)}; b_{11}^{(m+1)}; b_{21}^{(m+1)}; c^{(m+1)})_{LR}, \dots, \underline{T}_{DR_j}^{(m+1)} = \\ = (a_j^{(m+1)}; b_{ij}^{(m+1)}; b_{ij}^{(m+1)}; c_j^{(m+1)})_{LR}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+1}}^{(m+1)} = (a_{m+1}^{(m+1)}; b_{im+1}^{(m+1)}; \\ b_{im+1}^{(m+1)}; c_{m+1}^{(m+1)})_{LR} \quad (j = \overline{1, m}, i = \overline{1, 2}), \end{aligned} \quad (2.24)$$

тогда функцию трансформирования ЛП на плюс один порядок (инкрементирование) обозначим через  $FT^{+1}(LPI)$ . Например, повышение  $\mathbf{DR}^{(m)}$  посредством реализации операции трансформирования на +1 порядок позволит расширить возможности использования указанной функции:

$$\mathbf{DR}^{(m+1)} = FT^{+1}(\mathbf{DR}^{(m)}) \quad (2.25)$$

ЛП  $\mathbf{DR}^{(m)}$  представляется НЧ с различными функциями принадлежности (ФП)  $\mu(dr)$  [103]. Поскольку, как это уже отмечалось ранее, для целей компактного описания такие ФП удобно отображать трапециевидными НЧ вида  $\underline{x}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ , где  $a_j, c_j$  и  $b_{1j}, b_{2j}$  соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания трапеции (при  $j = \overline{1, m}$ ), то выражение (2.25) представим в виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{DR}^{(m+1)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m), (a_{m+1}, b_{1m+1}, b_{2m+1}, c_{m+1})) = \\ FT^{+1}(\mathbf{DR}^{(m)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m))). \end{aligned} \quad (2.26)$$

Для реализации заданной функции (2.26) предлагается метод, который позволяет трансформировать эталоны за счет встраивания дополнительного термина. Метод содержит 4 этапа.

Этап 1. Поиск корректирующих параметров. Для реализации однократно-инкрементирования числа термов, которое было ранее установлено экспертным путем, необходимо, соответственно для абсцисс верхнего и нижнего оснований, определить корректирующие параметры по выражениям:

$$k_1^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=1}^m (b_{2j}^{(m)} - b_{1j}^{(m)})}{m}, \quad k_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^m (b_{1j}^{(m)} - b_{2j-1}^{(m)})}{m-1}, \quad k^{(m+1)} = k_1^{(m+1)} + k_2^{(m+1)}, \quad j = \overline{1, m}; \quad (2.27)$$

$$l_1^{(m+1)} = \frac{a_2^{(m)} - a_1^{(m)} + \sum_{j=3}^m (a_j^{(m)} - c_{j-2}^{(m)}) + c_m^{(m)} - c_{m-1}^{(m)}}{m}, \quad l_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^m (c_{j-1}^{(m)} - a_j^{(m)})}{m-1}, \quad l^{(m+1)} = l_1^{(m+1)} + l_2^{(m+1)}, \quad (2.28)$$

где  $k_1^{(m+1)}$ ,  $k_2^{(m+1)}$ ,  $k^{(m+1)}$  и  $l_1^{(m+1)}$ ,  $l_2^{(m+1)}$ ,  $l^{(m+1)}$  - корректирующие параметры соответственно для абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, а  $m$  - количество исходных терм-множеств.

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины. Здесь, необходимо найти расширяющую вершину, т.е. такое  $x_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ), по которому определяется позиция встраивания дополнительного терма. Реализация этого этапа осуществляется с помощью выражения определения расширяющей вершины  $x_j = b_{2j}^{(m)} - b_{1j}^{(m)}$  ( $j = \overline{1, m}$ ), номер которой ( $j$ ) будет отображаться переменной  $s$ . Таким образом, поиск номера расширяющей вершины осуществляется посредством определения значения  $s$ , согласно выражению:

$$s = j \text{ при } (x_j \leq k_1^{(m+1)} \leq x_{j+1}) \text{ или } (x_j \geq k_1^{(m+1)} \geq x_{j+1}), \quad (2.29)$$

где  $k_1^{(m+1)}$  - корректирующий параметр, определяемый посредством (2.27).

Этап 3. Вычисление значений абсцисс. После нахождения номера расширяющей вершины необходимо определить значения абсцисс нижнего  $a_j$ ,  $c_j$  и верхнего  $b_{1j}$ ,  $b_{2j}$  основания трапециевидных НЧ вида  $x_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ , при  $j = \overline{1, m+1}$ , т.е. осуществить их переопределение с учетом дополнительного терма. Реализацию этого этапа будем осуществлять с помощью следующих выражений:

$$b_{1j}^{(m+1)'} = \begin{cases} b_{1j}^{(m)} \text{ при } j < s + 1; \\ b_{2j-1}^{(m)} + k_2^{(m+1)} \text{ при } j = s + 1; \\ b_{1j-1}^{(m)} + k^{(m+1)} \text{ при } j > s + 1, \end{cases} \quad b_{2j}^{(m+1)'} = \begin{cases} b_{2j}^{(m)} \text{ при } j < s + 1; \\ b_{1j}^{(m+1)'} + k_1^{(m+1)} \text{ при } j = s + 1; \\ b_{2j-1}^{(m)} + k^{(m+1)} \text{ при } j > s + 1, \end{cases} \quad j = \overline{1, m}, \quad (2.30)$$

$$a_j^{(m+1)'} = \begin{cases} a_j^{(m)} \text{ при } j < s+2; \\ c_{j-2}^{(m+1)'} + l_1^{(m+1)} \text{ при } j = s+2; \\ a_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s+2, \end{cases} \quad c_j^{(m+1)'} = \begin{cases} c_j^{(m)} \text{ при } j < s \\ a_{j+1}^{(m)} + l_2^{(m+1)} \text{ при } j = s; \quad j = \overline{1, m}, \\ c_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s, \end{cases} \quad (2.31)$$

где  $m$  – количество исходных терм-множеств.

Этап 4. Нормирование эталонов. Для завершения процесса однократного инкрементирования, необходимо осуществить нормирование полученных на этапе 3 эталонных значений. Данный этап выполняется посредством 2-х шагов. Отметим, что после реализации этапов 1 и 2 абсциссы верхнего и нижнего основания трапеции были переопределены с помощью выражений (2.30) и (2.31). В результате этого они вышли за границы определения эталонов. Для нормирования полученных результатов, необходимо определить соответствующие коэффициенты.

Шаг 1. Формирование нормирующих коэффициентов осуществляется по выражениям:

$$k_3^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{b_{2m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.32)$$

$$l_3^{(m+1)} = \frac{c_{dr}}{c_{m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.33)$$

где  $b_{dr}$  и  $c_{dr}$  соответственно максимальные значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции.

Шаг 2. Нормирование абсцисс эталонных значений осуществляется с помощью  $k_3^{(m+1)}$  и  $l_3^{(m+1)}$  по формулам :

$$b_{ij}^{(m+1)} = b_{ij}^{(m+1)'} \times k_3^{(m+1)}, \quad i = \overline{1, 2}, \quad j = \overline{1, m}; \quad (2.34)$$

$$a_j^{(m+1)} = a_j^{(m+1)'} \times l_3^{(m+1)}, \quad c_j^{(m+1)} = c_j^{(m+1)'} \times l_3^{(m+1)}, \quad j = \overline{1, m} \quad (2.35)$$

## 2.6 Метод инкрементирования порядка лингвистических переменных для систем анализа и оценивания рисков

Для повышения эффективности средств АОР ИБ, которые основываются на нечеткой логике и используют ЛП, был предложен метод реализации функции трансформирования эталонов для трапециевидных НЧ, детально изложенный в п.2.5. Этот метод позволяет осуществлять однократное инкрементирование числа термов на основе оценок экспертов соответствующей

предметной области, которые были выполнены на этапе настройки системы. Расширить возможности указанных систем можно путем использования дополнительного типа параметрических НЧ. В связи с этим актуальной является задача расширения возможностей функции по реализации процесса трансформирования термов, использующих другие классы параметрических НЧ, например, треугольные.

Поэтому был разработан метод трансформирования эталонов посредством однократного инкрементирования (увеличение на один порядок) числа термов ЛП, базирующихся на эталонных параметрических треугольных НЧ. Если в формуле (2.26) приравняем  $b_j = b_{1j} = b_{2j}$  ( $j = \overline{1, m}$ ), то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные. Для таких чисел выражение (2.26) можем представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} DR^{(m+1)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_m, b_m, c_m), (a_{m+1}, b_{m+1}, c_{m+1})) = \\ FT^{+1}(DR^{(m)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_m, b_m, c_m))). \end{aligned} \quad (2.36)$$

где  $a_j$ ,  $c_j$  и  $b_j$ , ( $j = \overline{1, m}$ ) соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания треугольного НЧ [103].

Для реализации заданной функции (2.36) предлагается метод, который позволит трансформировать эталоны за счет встраивания дополнительного термина в ЛП, базирующихся на параметрических треугольных НЧ. Метод содержит 4 этапа.

Этап 1. Поиск корректирующих параметров. Для реализации однократного инкрементирования числа термов, которое было ранее установлено экспертным путем, необходимо, соответственно для абсцисс верхнего и нижнего оснований, определить корректирующие параметры. Для этого воспользуемся следующими выражениями:

$$k_1^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{m-1}, \quad (2.37)$$

$$l_1^{(m+1)} = \frac{a_2^{(m)} - a_1^{(m)} + \sum_{j=3}^m (a_j^{(m)} - c_{j-2}^{(m)}) + c_m^{(m)} - c_{m-1}^{(m)}}{m}, \quad (2.38)$$



$$l_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^m (c_{j-1}^{(m)} - a_j^{(m)})}{m-1}, \quad l^{(m+1)} = l_1^{(m+1)} + l_2^{(m+1)}, \quad (2.39)$$

где  $k_1^{(m+1)}$  и  $l_1^{(m+1)}$ ,  $l_2^{(m+1)}$ ,  $l^{(m+1)}$  - корректирующие параметры соответственно для абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ,  $m$  - количество исходных терм-множеств, а  $b_{dr}$  - максимальное значение абсциссы верхнего основания треугольных НЧ.

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины. Здесь, необходимо найти расширяющую вершину, т.е. такое  $x_j$  ( $j = \overline{1, m-1}$ ), по которому определяется позиция встраивания дополнительного терма. Реализация этого этапа осуществляется с помощью выражения определения расширяющей вершины  $x_j = b_{j+1}^{(m)} - b_j^{(m)}$  ( $j = \overline{1, m-1}$ ), текущий номер которой ( $j$ ) будет отображаться переменной  $s$ . Таким образом, поиск номера расширяющей вершины осуществляется посредством определения значения  $s$ , согласно выражению:

$$s = j + 1 \text{ при } (x_{j+1} \geq k_1^{(m+1)} \geq x_j) \text{ или } (x_{j+1} \leq k_1^{(m+1)} \leq x_j), \quad (2.40)$$

где  $k_1^{(m+1)}$  - корректирующий параметр, определяемый посредством (2.37).

Этап 3. Вычисление значений абсцисс. После нахождения номера расширяющей вершины необходимо определить значения абсцисс нижнего  $a_j$ ,  $c_j$  и верхнего  $b_j$  основания треугольных НЧ вида  $X_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR}$ , при  $j = \overline{1, m+1}$ , т.е. осуществить их переопределение с учетом дополнительного терма. Реализацию этого этапа будем осуществлять с помощью следующих выражений:

$$b_j^{(m+1)'} = \begin{cases} b_j^{(m)} \text{ при } j \leq s, \\ b_{j-1}^{(m)} + k_1^{(m+1)} \text{ при } j > s, \end{cases} \quad (j = \overline{1, m}); \quad (2.41)$$

$$a_j^{(m+1)'} = \begin{cases} a_j^{(m)} \text{ при } j < s + 2, \\ c_{j-2}^{(m+1)'} + l_1^{(m+1)} \text{ при } j = s + 2, \\ a_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s + 2; \end{cases} \quad c_j^{(m+1)'} = \begin{cases} c_j^{(m)} \text{ при } j < s, \\ a_{j+1}^{(m)} + l_2^{(m+1)} \text{ при } j = s, \quad (j = \overline{1, m}); \\ c_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s, \end{cases} \quad (2.42)$$

где  $m$  - количество исходных терм-множеств.

Этап 4. Нормирование эталонов. Для завершения процесса однократного инкрементирования, необходимо осуществить нормирование полученных на этапе 3 эталонных значений. Данный этап выполняется посредством 2-х шагов. Отметим, что после реализации этапов 1 и 2 абсциссы верхнего и нижнего основания треугольных НЧ были переопределены с помощью выражений (2.41) и (2.42). В результате этого они вышли за границы определения исходных эталонов. Для нормирования полученных результатов, необходимо определить соответствующие коэффициенты.

Шаг 1. Формирование нормирующих коэффициентов осуществляется по двум следующим выражениям:

$$k^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{b_{m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.43)$$

$$l_3^{(m+1)} = \frac{c_{dr}}{c_{m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.44)$$

где  $b_{dr}$  и  $c_{dr}$  соответственно максимальные значения абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ.

Шаг 2. Нормирование абсцисс эталонных значений осуществляется с помощью  $k^{(m+1)}$  и  $l_3^{(m+1)}$ , по формулам:

$$b_j^{(m+1)} = b_j^{(m+1)'} \times k^{(m+1)} , \quad (j = \overline{1, m}) ; \quad (2.45)$$

$$a_j^{(m+1)} = a_j^{(m+1)'} \times l_3^{(m+1)} , \quad c_j^{(m+1)} = c_j^{(m+1)'} \times l_3^{(m+1)} , \quad (j = \overline{1, m}) \quad (2.46)$$

Работу представленного метода рассмотрим в Разделе 4 на примерах различных типов распределений трапециевидных и треугольных нечетких чисел.

Результаты, представленные в Разделе 2, опубликованы в работах [104-111].

## 2.7 Выводы к разделу 2

1. Предложена базовая интегрированная кортежная модель, которая позволяет упростить принятие решения о выборе необходимого средства оценивания и выбор необходимого набора параметров при создании систем

оценивания рисков за счет разделения определенного множества всех базовых характеристик риска на подмножества идентифицирующих и оценочных компонентов.

2. Для анализа и оценивания рисков информационной безопасности предложен метод преобразования эталонов параметров, в основу которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять трансформирование (эквивалентное преобразование) термов лингвистических переменных, базирующихся на параметрических треугольных нечетких числах.
3. Для повышения эффективности работы системы анализа и оценивания рисков предложен метод  $n$ -кратного понижения числа термов лингвистической переменной на основе первого частного расширения базы для трапециевидных нечетких чисел, который позволяет без привлечения экспертов осуществить эквивалентное переопределение числа термов лингвистических переменных.
4. Предложен метод понижения на  $n$  порядков числа термов лингвистических переменных, базирующихся на эталонных параметрических треугольных нечетких числах, который расширяет возможности формализации процесса трансформирования числа эталонных термов.
5. Предложен метод реализации функции трансформирования эталонов лингвистических переменных, базирующихся на трапециевидных и треугольных нечетких числах, за счет однократного инкрементирования (увеличение на один порядок) числа термов, что позволяет повысить эффективность работы системы оценивания рисков информационной безопасности и автоматизировать процесс формирования новых эталонов без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

## РАЗДЕЛ 3 ПОСТРОЕНИЕ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

### 3.1 Интегрированный метод анализа и оценивания рисков информационной безопасности

Один из этапов построения системы менеджмента информационной безопасности обеспечивается реализацией процесса анализа и оценивания рисков. Часто в процессе оценивания возникают ситуации, при которых эксперт не всегда четко может оценить ту или иную угрозу информационной безопасности. Для решения такого рода задач применяются детерминированный или нечеткий методы АОР [113], на основе которых были разработаны соответствующие системы [92, 93]. Они применяются для АОР в различных условиях среды оценивания, например, в детерминированной среде используют Det-АОР систему [92], а в нечеткой – Fuz-АОР [93]. На практике бывают ситуации, когда необходимо провести оценивание с комбинацией подходов интерпретирования суждений эксперта, как относительно его возможностей четко детерминировать значения полученных оценочных параметров, так и при его неопределенности в однозначности своих приоритетов. В существующих системах [92, 93] не реализуется указанные интегрированные возможности.

В связи с этим, актуальной является разработка интегрированного метода АОР, который позволит реализовать оценивание в детерминированных и нечетких средах. В основу метода положены разработки, проведенные в работах [63, 92, 93, 113] и возможности осуществления трансформирования эталонных терм-множеств [102]. Предлагаемый интегрированный метод содержит 10 шагов. Рассмотрим детально его работу.

**Шаг 1 (Определение множества угроз).** На первом шаге экспертами согласно идентифицированным информационным ресурсам (ИР) определяется множество их угроз. Для создания этого множества в качестве основы используем модель интегрированного представления параметров рисков [63],

где  $\mathbf{A} \in \{A_a\} (a = \overline{1, n})$  – множество действий, элементы которых могут привести к множеству событий нарушения ИБ  $\mathbf{E} \in \{E_e\} (e = \overline{1, 7})$  – например,  $\mathbf{E}$  может отражаться значением  $E_7 = \text{«НКЦД»}$ , а при  $n=5$  эксперты могут идентифицировать, следующие  $\mathbf{A} \in \{A_a\} (a = \overline{1, 5})$ :

$A_1 = \text{«Заражение вирусами»};$

$A_2 = \text{«Ошибки программирования»};$

$A_3 = \text{«Нарушение работы операционной системы»};$

$A_4 = \text{«Нарушение целостности системы безопасности»};$

$A_5 = \text{«Отказ в обслуживании»}.$

### **Шаг 2 (Определение множества параметров для оценивания риска).**

Для отображения общего результата АОР воспользуемся лингвистической переменной (ЛП) «СТЕПЕНЬ РИСКА» ( $\mathbf{DR}$ ), которая определяется кортежем  $\langle \mathbf{DR}, T_{DR}, X_{DR} \rangle$  [113], где базовые терм-множества задаются  $m$  термами

$$T_{DR} = \bigcup_{j=1}^m T_{DR_j}, \text{ например, для } m=5$$

$$\bigcup_{j=1}^5 T_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),}$$

«Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН),

«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),

«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ),

«Предельный риск нарушения ИБ» (ПР) \},

которые могут быть отображены на универсальное множество  $X_{DR} \in \{0, \max_{X_{DR}}\}$ . Для каждого из термов  $T_{DR_1}, \dots, T_{DR_j}, \dots, T_{DR_m}$  задается свой интервал значений  $[dr_{\min}; dr_1[, \dots, [dr_j; dr_{j+1}[, \dots, [dr_m; dr_{\max}]$  (например, при  $m=5$  для  $T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4}, T_{DR_5}$  определим интервалы с использованием модифицированной шкалы Харрингтона [113] т.е.  $[dr_{\min}; dr_1[, [dr_2; dr_3[, [dr_4; dr_5[, [dr_6; dr_7[, [dr_8; dr_{\max}]$  будут соответствовать значения  $[0; 20[, [20; 40[, [40; 60[, [60; 80[, [80; 100]$ ).

Далее для создания возможности эксперту использовать более широкий спектр величин при оценивании, воспользуемся вышеуказанной моделью па-

раметров и зададим полное множество оценочных компонентов  $EK_{3Fh} \in \{EK_i\} = \{P, F, L, D, S, V\}$  ( $i = \overline{1, g}$ ), где  $3Fh$  – шестнадцатеричный код, бинарное значение которого следующим образом отражает порядковый номер оценочного компонента в множестве:  $P$  располагается в разряде  $2^5$ ,  $F$  в  $2^4$ ,  $L$  –  $2^3$ ,  $D$  –  $2^2$ ,  $S$  –  $2^1$ ,  $V$  –  $2^0$  (например, если эксперты хотят воспользоваться  $P, F, L$  и  $D$  то  $g=4$  ( $i = \overline{1, 4}$ ), а  $EK_{3Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\} = \{P, F, L, D\}$ ).

Также, на этом шаге производится описание набора используемых оценочных компонентов, которые, по мнению эксперта-аналитика, с одной стороны, влияют на оценку риска ИБ, а с другой – оценивают его различные по природе стороны, например, учитывающие особенности организации (банк, архив, силовые ведомства, завод и др.). Для этого эксперт должен определить шестнадцатеричный код, по которому из  $\{EK_i\}$  выбираются значения соответствующих компонентов, например, при коде  $2Ch$  –  $g=3$ , а  $EK_{2Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3\} = \{P, L, D\}$  ( $i = \overline{1, 3}$ ) или при коде  $12h$  –  $g=2$ , а  $EK_{12h} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2\} = \{F, S\}$  ( $i = \overline{1, 2}$ ).

Введем ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА  $EK_i$ » ( $K_{EK_i}$ ), которая определяется кортежем  $\langle K_{EK_i}, T_{K_{EK_i}}, X_{EK_i} \rangle$  [113], где базовые термножества задаются  $m$  термами  $T_{K_{EK_i}} = \bigcup_{j=1}^m T_{K_{EK_i j}}$  (например, при  $m=5$  –  $\bigcup_{j=1}^5 T_{K_{EK_i j}} = \{\text{«очень низкий» (ОН), «низкий» (Н), «средний» (С), «высокий» (В), «очень высокий» (ОВ)}\}$ , которые в лингвистической форме характеризуют уровень оценочного компонента и могут быть отображены на универсальное множество  $X_{EK_i} \in \{0, \max_{K_{EK_i}}\}$ ). Для  $T_{K_{EK_i 1}}, \dots, T_{K_{EK_i j}}, \dots, T_{K_{EK_i m}}$  соответственно задается свой интервал значений, для каждого  $EK_i$  –  $[k_{EK_i \min}; k_{EK_i 1}[, \dots, [k_{EK_i j}; k_{EK_i j+1}[, \dots, [k_{EK_i m}; k_{EK_i \max}]$  (например, при  $m=5$  для термов  $T_{K_{EK_3 1}}, T_{K_{EK_3 2}}, T_{K_{EK_3 3}}, T_{K_{EK_3 4}}, T_{K_{EK_3 5}}$  оценочного компонента  $EK_3 = \{L\}$  осуществим разбиения значения на интервалы  $[k_{EK_3 \min}; k_{EK_3 1}[, [k_{EK_3 2}; k_{EK_3 3}[, [k_{EK_3 4}; k_{EK_3 5}[, [$

$k_{EK_3 6}; k_{EK_3 7}, [k_{EK_3 8}; k_{EK_3 \max}]$ , которым будут соответствовать значения  $[0; 0,1[, [0,1; 0,2[, [0,2; 0,3[, [0,3; 0,4[, [0,4; 0,5]$ ). Для удобства отображения оценочных компонентов через интервалы допустимых значений воспользуемся табл.3.1 Оценка значимости  $EK_i$  осуществляется параметрами из множества  $LS \in \{LS_i\} (i = \overline{1, g})$ , а оценка текущего значения оценочного компонента – с помощью множества  $ek \in \{ek_i\} (i = \overline{1, g})$ .

Таблица 3.1

## Отображение значений НЧ оценочных компонентов

$EK_i$	НЧ $\underline{X}_{K_{EK_i j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\underline{T}_{K_{EK_i 1}} - \underline{T}_{K_{EK_i m}} (j = \overline{1, m})$				
	$\underline{T}_{K_{EK_i 1}}$	...	$\underline{T}_{K_{EK_i j}}$	...	$\underline{T}_{K_{EK_i m}}$
$EK_1$	$(a_{1 \min}; b_{1 1 \min}; b_{1 2 1}; c_1)$	...	$(a_{1 j}; b_{1 1 j}; b_{1 2 j+1}; c_{1 j+1})$	...	$(a_{1 m}; b_{1 1 m}; b_{1 2 \max}; c_{1 \max})$
...	...	...	...	...	...
$EK_i$	$(a_{i \min}; b_{i 1 \min}; b_{i 2 1}; c_i)$	...	$(a_{i j}; b_{i 1 j}; b_{i 2 j+1}; c_{i j+1})$	...	$(a_{i m}; b_{i 1 m}; b_{i 2 \max}; c_{i \max})$
...	...	...	...	...	...
$EK_g$	$(a_{g \min}; b_{g 1 \min}; b_{g 2 1}; c_g)$	...	$(a_{g j}; b_{g 1 j}; b_{g 2 j+1}; c_{g j+1})$	...	$(a_{g m}; b_{g 1 m}; b_{g 2 \max}; c_{g \max})$

**Шаг 3 (Определение количества терм-множеств).** Для эквивалентного преобразования  $m$ -мерных термов нечетких чисел (НЧ) ЛП  $DR^{(m)}$  в  $DR^{(m-1)}$  [113] и  $EK_i^{(m)}$  в  $EK_i^{(m-1)}$  предлагается воспользоваться методом трансформирования термов [102]. Пусть, исходная ЛП  $DR^{(m)}$  имеет вид:

$$DR^{(m)} \{T_{DR1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, T_{DRj}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots, T_{DRm}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR}\},$$

$$\text{а преобразованная} - DR^{(m-1)} \{T_{DR1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_{11}^{(m-1)}; b_{21}^{(m-1)}; c_1^{(m-1)})_{LR}, \dots, T_{DRj}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \dots, T_{DRm-1}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR}\} (j = \overline{1, m}, i = \overline{1, 2})$$

$$\text{и } EK_i^{(m)} \{T_{EK1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, T_{EKj}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots, T_{EKm}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR}\},$$

$$\text{а преобразованная} - EK_i^{(m-1)} \{T_{EK1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_{11}^{(m-1)}; b_{21}^{(m-1)}; c_1^{(m-1)})_{LR}, \dots, T_{EKj}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \dots, T_{EKm-1}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR}\} (j = \overline{1, m}, i = \overline{1, 2}),$$

тогда функцию трансформирования ЛП на минус один порядок обозначим через  $FT^{-1}(\text{ЛП})$ . Так, например, понижение  $DR^{(m)}$  и  $EK_i^{(m)}$  на один порядок можно представить как:

$$\begin{aligned} DR^{(m-1)} &= FT^{-1}(DR^{(m)}), \\ EK_i^{(m-1)} &= FT^{-1}(EK_i^{(m)}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Заданная функция реализуется посредством следующих аналитических преобразований:

Для  $T_{DR_1^{(m-1)}}$  – и  $T_{EK_1^{(m-1)}}$  –

$$\begin{aligned} a_1^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_1^{(m)} + a_2^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ c_1^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_1^{(m)} + c_2^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ b_{11}^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_{11}^{(m)} + b_{12}^{(m)} - B^{(m)})/2; \end{aligned} \quad (3.2)$$

Для  $T_{DR_j^{(m-1)}}$  – и  $T_{EK_j^{(m-1)}}$  –

$$\begin{aligned} a_j^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_j^{(m)} + a_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ c_j^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_j^{(m)} + c_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ b_{ij}^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_{ij}^{(m)} + b_{ij+1}^{(m)} - B^{(m-1)})/2; \end{aligned} \quad (3.3)$$

Для  $T_{DR_{m-1}^{(m-1)}}$  – и  $T_{EK_{m-1}^{(m-1)}}$  –

$$\begin{aligned} a_{m-1}^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ c_{m-1}^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})/2; \\ b_{im-1}^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_{im-1}^{(m)} + b_{im}^{(m)} - B^{(m-1)})/2, \end{aligned} \quad (3.4)$$

где  $k_1^{(m-1)} = 2c_{dr}/(c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})$ ;  $A^{(m-1)} = a_1^{(m)} + a_2^{(m)}$  ( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов;  $a$  и  $c$  – абсциссы нижнего основания);

$k_2^{(m-1)} = 2b_{dr}/(b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)} - B^{(m-1)})$ ;  $B^{(m-1)} = b_{11}^{(m)} + b_{12}^{(m)}$  ( $b_{dr} = dr_{\max}$ ; ( $i = \overline{1, 2}$ )  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – абсциссы верхнего основания трапецевидного НЧ).

С помощью этого метода [102] после осуществления процесса трансформирования, посредством функции  $FT^{-1}(\text{ЛП})$ , образуется эквивалентная ЛП,



которая отличается от исходной ЛП количеством и значениями термов, но при этом сохраняется ее смысловое содержание, отражающее исходные суждения экспертов. Данный метод реализуется с различным типом распределения НЧ по оси  $dr$  [102].

**Шаг 4 (Оценка уровня значимости оценочных компонентов).** На этом шаге каждому компоненту –  $EK_i$  ставится в соответствие уровень его значимости –  $LS_i$ . Отметим, что если для всех  $LS$  справедливо отношение порядка

$$LS_i \geq LS_{i+1}, \quad (3.5)$$

то значимость  $i$ -го компонента определяется по правилу Фишберна [95]:

$$LS_i = \frac{2(g-i+1)}{(g-1)g} \quad (3.6)$$

Согласно этому правилу, у эксперта отсутствует информация (кроме условия (3.5)) о значимости компонента и тогда (3.6) отображает максимум энтропии наличной информационной неопределенности об объекте исследования. Если же все компоненты обладают равной значимостью (равнопредпочтительны, т.е.  $LS_i = LS_{i+1}$  или системы предпочтений нет), то:

$$LS_i = 1/g \quad (3.7)$$

**Шаг 5 (Определение эталонных значений степени риска).** На этом шаге экспертами определяются эталонные значения для  $DR$ , т.е. задается количество термов в базовом терм-множестве ЛП, а также ставится им в соответствие заданный интервал значений, лежащий в диапазоне  $[dr_{min}; dr_{max}]$  (см. пример на шаге 2).

**Шаг 6 (Определение эталонных значений оценочных компонентов).** Здесь экспертами производится определение эталонных значений для  $K_{EK_i}$ , т.е. задается количество термов в терм-множестве ЛП (см. пример на шаге 2 и табл. 3.1). Для удобства отображения оценочных компонентов через НЧ воспользуемся табл.3.2. Приведем пример такого определения для  $\{EK_i\}=\{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\}=\{P, F, L, D\}$  с конкретными данными, отображенными в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Пример определения эталонных значений НЧ оценочных компонентов

НЧ $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $T_{K_{EK_i1}} - T_{K_{EK_i5}}$ ( $j = \overline{1,5}$ )				
$T_{K_{EK_i1}}$ ( $a_1; b_{11}; b_{21}; c_1$ )	$T_{K_{EK_i2}}$ ( $a_2; b_{12}; b_{22}; c_2$ )	$T_{K_{EK_i3}}$ ( $a_3; b_{13}; b_{23}; c_3$ )	$T_{K_{EK_i4}}$ ( $a_4; b_{14}; b_{24}; c_4$ )	$T_{K_{EK_i5}}$ ( $a_5; b_{15}; b_{25}; c_5$ )
(0;0;10;20)	(10;20;30;40)	(30;40;50;60)	(50;60;70;80)	(70;80;100;100)
(0;0;0,1;0,2)	(0,1;0,2;0,3;0,4)	(0,3;0,4;0,5;0,6)	(0,5;0,6;0,7;0,8)	(0,7;0,8;1;1)
(0;0;0,1;0,15)	(0,1;0,15;0,2;0,25)	(0,2;0,25;0,3;0,35)	(0,3;0,35;0,4;0,45)	(0,4;0,45;0,5;0,5)
(0;0;1;2)	(1;2;3;4)	(3;4;5;6)	(5;6;7;8)	(7;8;10;10)

Также НЧ для  $K_{EK_i}$  можно отобразить относительно интервалов значений  $[b_{11}; b_{21}[$ ,  $[b_{21}; b_{12}[$ ,  $[b_{12}; b_{22}[$ , ...,  $[b_{2j-1}; b_{1j}[$ ,  $[b_{1j}; b_{2j}[$ , ...,  $[b_{2m-1}; b_{1m}[$ ,  $[b_{1m}; b_{2m}]$  ( $j = \overline{1,m}$ ) и ФП  $\mu_j(k_{EK_i})$ . Конкретные данные для рассматриваемого примера при  $m = 5$  (интервалы значений и ФП заданных термов) занесены в табл. 3.3.

**Шаг 7 (Оценка текущих значений компонентов).** На этом шаге по каждому оценочному компоненту  $\{EK_i\} = \{P, F, L, D, S, V\}$  ( $i = \overline{1,g}$ ) эксперты соответствующей предметной области определяют  $ek$  для всех  $A$  при ( $a = \overline{1,n}$ ) т.е.  $\{ek_i^{A_a}\} = \{ek_P^{A_a}, ek_F^{A_a}, ek_L^{A_a}, ek_D^{A_a}, ek_S^{A_a}, ek_V^{A_a}\}$ . Значения выставляются на основании предпочтений экспертов, статистической информации и других данных.

**Шаг 8 (Классификация текущих значений).** На этом шаге с помощью эталонных значений, сформулированных экспертами, осуществляется определение принадлежности  $ek_i^{A_a}$  заданному НЧ, по которому формируется значение  $\lambda$  с помощью выражения (3.8). Результаты проведенного вычисления для удобства заносятся в табл.3.5, где  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  – уровень принадлежности носителя  $ek_i^{A_a}$  нечеткому подмножеству  $k_{EK_i,j}$ .

Аналогичные преобразования производятся для всех  $A$ , например, для тех, которые определены на шаге 1, все вычисленные значения  $\lambda_{ij}^{(A_1)}$ ,  $\lambda_{ij}^{(A_2)}$  ...  $\lambda_{ij}^{(A_5)}$  занесем в табл. 3.4.

Таблица 3.3

Пример значений интервалов и  $\mu_j(ek_i^{Aa})$  ( $i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$ )

Интервалы для $EK_i$				Термы	$\mu_j(ek_i^{Aa})$			
$P$	$F$	$L$	$D$		$T_{K_{EK_i j}}$	$\mu_j(ek_1^{Aa})$	$\mu_j(ek_2^{Aa})$	$\mu_j(ek_3^{Aa})$
[0;10[	[0;0,1[	[0;0,1[	[0;1[	$T_{K_{EK_i 1}}$	$\mu_1(ek_1^{Aa}) = 1$	$\mu_1(ek_2^{Aa}) = 1$	$\mu_1(ek_3^{Aa}) = 1$	$\mu_1(ek_4^{Aa}) = 1$
[10;20[	[0,1;0,2[	[0,1;0,15[	[1;2[	$T_{K_{EK_i 1}}$	$\mu_1(ek_1^{Aa}) = (20 - ek_1^{Aa})/10$	$\mu_1(ek_2^{Aa}) = (0,2 - ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_1(ek_3^{Aa}) = (0,15 - ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_1(ek_4^{Aa}) = (2 - ek_4^{Aa})$
				$T_{K_{EK_i 2}}$	$\mu_2(ek_1^{Aa}) = 1 - \mu_1(ek_1^{Aa})$	$\mu_2(ek_2^{Aa}) = 1 - \mu_1(ek_2^{Aa})$	$\mu_2(ek_3^{Aa}) = 1 - \mu_1(ek_3^{Aa})$	$\mu_2(ek_4^{Aa}) = 1 - \mu_1(ek_4^{Aa})$
[20;30[	[0,2;0,3[	[0,15;0,2[	[2;3[	$T_{K_{EK_i 2}}$	$\mu_2(ek_1^{Aa}) = 1$	$\mu_2(ek_2^{Aa}) = 1$	$\mu_2(ek_3^{Aa}) = 1$	$\mu_2(ek_4^{Aa}) = 1$
[30;40[	[0,3;0,4[	[0,2;0,25[	[3;4[	$T_{K_{EK_i 2}}$	$\mu_2(ek_1^{Aa}) = (40 - ek_1^{Aa})/10$	$\mu_2(ek_2^{Aa}) = (0,4 - ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_2(ek_3^{Aa}) = (0,25 - ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_2(ek_4^{Aa}) = (4 - ek_4^{Aa})$
				$T_{K_{EK_i 3}}$	$\mu_3(ek_1^{Aa}) = 1 - \mu_2(ek_1^{Aa})$	$\mu_3(ek_2^{Aa}) = 1 - \mu_2(ek_2^{Aa})$	$\mu_3(ek_3^{Aa}) = 1 - \mu_2(ek_3^{Aa})$	$\mu_3(ek_4^{Aa}) = 1 - \mu_2(ek_4^{Aa})$
[40;50[	[0,4;0,5[	[0,25;0,3[	[4;5[	$T_{K_{EK_i 3}}$	$\mu_3(ek_1^{Aa}) = 1$	$\mu_3(ek_2^{Aa}) = 1$	$\mu_3(ek_3^{Aa}) = 1$	$\mu_3(ek_4^{Aa}) = 1$
[50;60[	[0,5;0,6[	[0,3;0,35[	[5;6[	$T_{K_{EK_i 3}}$	$\mu_3(ek_1^{Aa}) = (60 - ek_1^{Aa})/10$	$\mu_3(ek_2^{Aa}) = (0,6 - ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_3(ek_3^{Aa}) = (0,35 - ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_3(ek_4^{Aa}) = (6 - ek_4^{Aa})$
				$T_{K_{EK_i 4}}$	$\mu_4(ek_1^{Aa}) = 1 - \mu_3(ek_1^{Aa})$	$\mu_4(ek_2^{Aa}) = 1 - \mu_3(ek_2^{Aa})$	$\mu_4(ek_3^{Aa}) = 1 - \mu_3(ek_3^{Aa})$	$\mu_4(ek_4^{Aa}) = 1 - \mu_3(ek_4^{Aa})$
[60;70[	[0,6;0,7[	[0,35;0,4[	[6;7[	$T_{K_{EK_i 4}}$	$\mu_4(ek_1^{Aa}) = 1$	$\mu_4(ek_2^{Aa}) = 1$	$\mu_4(ek_3^{Aa}) = 1$	$\mu_4(ek_4^{Aa}) = 1$
[70;80[	[0,7;0,8[	[0,4;0,45[	[7;8[	$T_{K_{EK_i 4}}$	$\mu_4(ek_1^{Aa}) = (80 - ek_1^{Aa})/10$	$\mu_4(ek_2^{Aa}) = (0,8 - ek_2^{Aa}) * 10$	$\mu_4(ek_3^{Aa}) = (0,45 - ek_3^{Aa}) * 20$	$\mu_4(ek_4^{Aa}) = (8 - ek_4^{Aa})$
				$T_{K_{EK_i 5}}$	$\mu_5(ek_1^{Aa}) = 1 - \mu_4(ek_1^{Aa})$	$\mu_5(ek_2^{Aa}) = 1 - \mu_4(ek_2^{Aa})$	$\mu_5(ek_3^{Aa}) = 1 - \mu_4(ek_3^{Aa})$	$\mu_5(ek_4^{Aa}) = 1 - \mu_4(ek_4^{Aa})$
[80;100[	[0,8;1[	[0,45;0,5[	[8;10[	$T_{K_{EK_i 5}}$	$\mu_5(ek_1^{Aa}) = 1$	$\mu_5(ek_2^{Aa}) = 1$	$\mu_5(ek_3^{Aa}) = 1$	$\mu_5(ek_4^{Aa}) = 1$

$$\lambda_{i1}^{(A_a)} = \begin{cases} 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{11}, bi_{12}[ \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [bi_{11}, ci_1[ \\ \mu_1(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{12}, ci_1[ \end{cases}, \quad \lambda_{ij}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_j(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [ai_j, bi_{1j}[ \\ 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{1j}, bi_{2j}[ \\ \mu_j(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{2j}, ci_j[ \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [ai_j, ci_j[ \end{cases},$$

$$\lambda_{im}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_m(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [ai_m, bi_{1m}[ \\ 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{1m}, bi_{2m}[ \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [ai_m, bi_{2m}[ \end{cases}, \quad (j = \overline{2, m-1}). \quad (3.8)$$

Таблица 3.4

Классификация текущих значений оценочных компонентов

$EK_i$	$\lambda_{ij}^{(A_a)}$ для $\tilde{T}_{K_{EK_j}}$ ( $i = \overline{1, g}, j = \overline{1, m}$ )				
	$\tilde{T}_{K_{EK_1}}$	...	$\tilde{T}_{K_{EK_j}}$	...	$\tilde{T}_{K_{EK_m}}$
$EK_1$	$\lambda_{11}$	...	$\lambda_{1j}$	...	$\lambda_{1m}$
...	...	...	...	...	...
$EK_i$	$\lambda_{i1}$	...	$\lambda_{ij}$	...	$\lambda_{im}$
...	...	...	...	...	...
$EK_g$	$\lambda_{g1}$	...	$\lambda_{gj}$	...	$\lambda_{gm}$

**Шаг 9 (Оценка степени риска).** На этом шаге производится вычисление показателя степени риска нарушения ИБ  $dr^{(A_a)}$  по формуле:

$$dr^{(A_a)} = \sum_{j=1}^m \left( dr_j \sum_{i=1}^g LS_i \lambda_{ij}^{(A_a)} \right), \quad (3.9)$$

где  $dr_j = 90 - 20(j-1)$ ,  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  определяется выражением (3.8) для каждой  $A_a$  ( $a = \overline{1, n}$ ), а  $LS_i$  ( $i = \overline{1, g}$ ) – по формуле (3.6) или (3.7) ( $j = \overline{1, m}$ ).

**Шаг 10 (Формирование структурированного параметра риска).** На основании вычисленного значения  $dr^{(A_a)}$  и построенных эталонов формируем структурированный параметр степени риска  $SP$  по выражению (3.10):

$$SP^{(A_a)} = \begin{cases} (dr^{(A_a)}; T_{DR_j}) \text{ при } \mu_j(dr) = 1 \\ (dr^{(A_a)}; T_{DR_j}(\mu_j(dr)); T_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(dr))) \text{ при } \mu_j(dr), \mu_{j+1}(dr) \neq 1, \end{cases} \quad (3.10)$$

где  $(dr^{(A_a)}; T_{DR_j})$  словесно интерпретируется, как – степень риска  $T_{DR_j}$  с числовым эквивалентом  $dr^{(A_a)}$ , а  $(dr^{(A_a)}; T_{DR_j}(\mu_j(dr)); T_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(dr)))$ , как – степень риска с числовым эквивалентом  $dr^{(A_a)}$  граничит между  $T_{DR_j}$  и  $T_{DR_{j+1}}$  с уверенностью эксперта по границе  $T_{DR_j} - \mu_j(dr)$  и  $T_{DR_{j+1}} - \mu_{j+1}(dr)$ .

С помощью  $SP$  можно получить, как числовое значение степени риска, так и лингвистическую интерпретацию, учитывающую неуверенность эксперта при формировании текущих значений оценочных компонентов с дальнейшей классификацией посредством параметра  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ .

Среднее значение  $dr^{(cp)}$  по оцениваемому ресурсу можно вычислить по выражению:

$$dr^{(cp)} = \left( \sum_{a=1}^m dr^{(A_a)} \right) / m. \quad (3.11)$$

Таким образом, предлагаемый интегрированный метод анализа и оценивания рисков, в отличие от известных позволяет оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами с возможностью трансформирования термов лингвистических переменных.

### 3.2 Модель процесса синтеза адаптивных систем оценивания рисков

С появлением новых методов оценивания рисков информационной безопасности актуальным стал вопрос об обновлении методологического базиса построения систем оценивания рисков. Как известно, методологический базис является важнейшим компонентом теории защиты информации [5] и состоит из совокупности методов и моделей, необходимых и достаточных для исследований проблемы защиты и решения практических задач соответствующего назначения. На сегодня известен методологический базис для синтеза следующих систем: оценивания уровня защищённости государственных ресурсов от социотехнических атак; анализа состояния комплекса технической защиты информации; выявления аномалий, порожденных кибератаками; оценивания ущерба национальной безопасности в сфере охраны государственной тайны;

анализа и оценки рисков потерь информационных ресурсов и т.д. Однако, в последнее время были разработаны новые методы ОР [100, 101, 114], которые позволяют реализовать оценивание в детерминированных и нечетких средах. Эти методы позволяют оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами [114] с выбором необходимого количества терм-множеств [107, 116], а также предоставляют возможность реализовывать оперативное оценивание и мониторинг (в реальном времени) рисков без привлечения экспертов соответствующей предметной области [100, 101]. Последние методы используют значения показателей информационной безопасности (ИБ) CVSS (версии 2.0 и 3.0), полученных на основании открытых баз данных уязвимостей (в качестве альтернативы оценок экспертов). В связи с этим актуальной является задача усовершенствования существующего методологического базиса для синтеза систем оценивания рисков (ОР) безопасности ресурсов информационных систем (РИС).

Используя логико-лингвистический подход [5], на основании интегрированного метода анализа и оценивания рисков информационной безопасности (подробно описанного в предыдущем параграфе), разработанных ранее методов [100, 101, 107] и бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска (БИКМХР), описанной в п.2.1, была предложена усовершенствованная структурно-аналитическая модель адаптивных систем ОР безопасности РИС (рис. 3.1).

Такая модель содержит двенадцать этапов, подробное описание которых приведено ниже.

**1. Выбор метода ОР.** На первом этапе для оценивания степени риска эксперту необходимо осуществить выбор метода в зависимости от источника входящих данных для дальнейшего ОР. К этим источникам относятся данные об: уязвимостях из открытых баз данных (в качестве оценочных параметров здесь используются показатели CVSS) [101]; угрозах, например, собранных на основе статистических данных организации или полученных на основе экспертных оценок (в качестве оценочных параметров здесь используются

величины из синтетического кортежа). В соответствии с этим, методология позволяет производить ОР безопасности РИС на основе: интегрированного метода ОР [114] – М1; качественно-количественного метода ОР [100] – М2; метода ОР ИБ на основе открытых баз данных уязвимостей [101] – М3. В зависимости от произведенного выбора (в дальнейшем на следующих этапах методологии) формируются соответствующие интервалы значений.

**2. Определение базовых параметров.** На этом этапе с помощью синтетического кортежа из модели БИКМХР [115] и выбранного на этапе 1 метода, осуществляется выбор базовых параметров для дальнейшего ОР. Здесь формируется состав оценочных параметров и определяются необходимые множества  $EP_i$ , ( $i = \overline{1, g}$ ), используемые для оценивания, т.е.  $EP = \{\bigcup_{i=1}^g EP_i\} = \{EP_1, EP_2, \dots, EP_g\}$ , где  $g$  – количество множеств таких параметров.

**3. Идентификация ресурсов информационных систем.** На этом этапе для ОР осуществляется идентификация РИС. Для этого необходимо создать базу данных (БД) ресурсов, на основе которой эксперты производят выбор таких  $IR_h$  ( $h = \overline{1, r}$ , где  $h$  – указатель (номер) текущего идентификатора ИР, а  $r$  – количество ИР), которые характерны для объекта, подвергающегося ОР. Например, в результате прохождения этого этапа на выходе можем получить следующие ИР:  $IR_1 = \text{«Веб-сервер»}$ ,  $IR_2 = \text{«Операционная система»}$ ,  $IR_3 = \text{«Сетевые файл-сервера»}$  и т.п.

**4. Идентификация угроз/уязвимостей.** Этот этап подразумевает идентификацию возможных угроз или уязвимостей (в зависимости от выбранного метода ОР)  $A \in \{A_a\} (a = \overline{1, n}) / V = \{\bigcup_{bo=1}^n V_{bo}\} (bo = \overline{1, n}, \text{ где } a / bo - \text{указатели (номера) текущего идентификатора угрозы/уязвимости [101, 114, 115], а } n - \text{количество угроз/уязвимостей})$ , относительно каждого из идентифицированных на предыдущем этапе РИС. При выборе метода М2 и М3 уязвимости идентифицируются с помощью существующих открытых БД, а при выборе метода М1, по аналогии с этапом 3, необходимо создать БД угроз, из которой экспертами

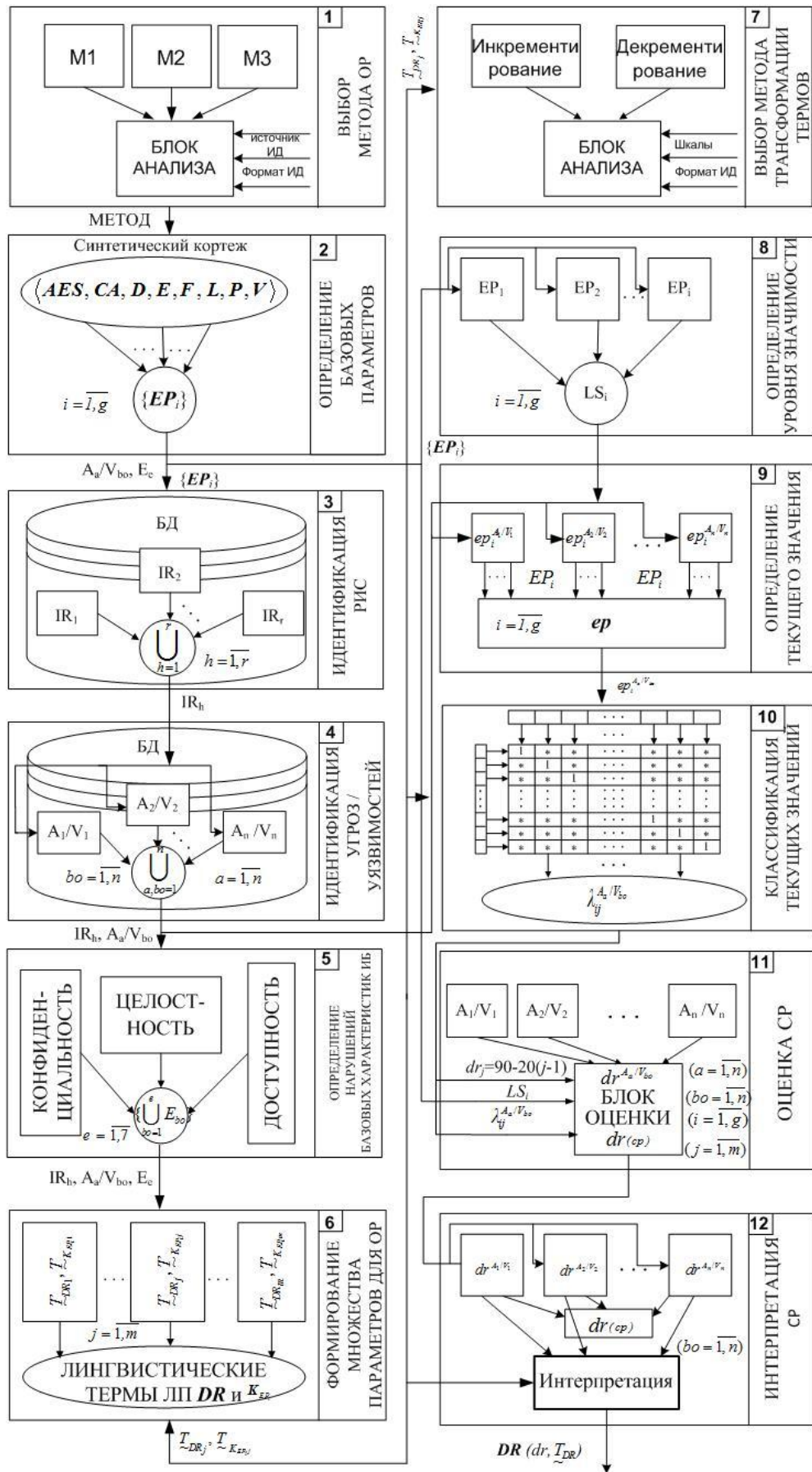


Рис. 3.1. Структурно-аналитическая модель синтеза адаптивных систем оценивания рисков безопасности РИС .



осуществляется выбор  $A_a$ , например, на выходе этого этапа при  $n=3$  для  $IR_I=$  «Веб-сервер» были идентифицированы следующие  $A \in \{A_a\}$  ( $a=\overline{1,3}$ ):  $A_1=$  «Аппаратные сбои и отказы»;  $A_2=$  «Диверсии»;  $A_3=$  «Перегрузки» и т.п.

**5. Идентификация нарушений базовых характеристик ИБ.** Здесь осуществляется идентификация  $E \in \{E_e\}$  ( $e=\overline{1,7}$ ) (где  $e$  – указатель (номер) текущего идентификатора события) нарушения ИБ, т.е. определение характеристик безопасности каждого из РИС, на которые могут повлиять  $A_a / V_{bo}$ , идентифицированные на предыдущем этапе. В [5] определены три базовые характеристики безопасности – конфиденциальность, целостность и доступность. В соответствии с этим в [115] при  $e=7$  было определено множество идентификаторов нарушений базовых характеристик ИБ. В результате этого этапа формируются наборы  $IR_{Ib}$ ,  $A_a / V_{bo}$ ,  $E_e$ , например, для  $IR_1$  идентифицированы  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ , которые могут привести соответственно к  $E_7=$  «НКЦД»,  $E_5=$  «НЦД»,  $E_3=$  «НД».

**6. Формирование множества параметров для ОР.** Этот этап предусматривает определение ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА» ( $DR$ ), соответствующей кортежу  $\langle DR, \underline{T}_{DR}, \underline{X}_{DR} \rangle$  [5], для чего задается ее базовое терм-множество

$$\underline{T}_{DR} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{DR_j} \quad (j = \overline{1, m}, \text{ где } m - \text{ количество термов}), \text{ например, при } m=3 - \bigcup_{j=1}^3 \underline{T}_{DR_j} =$$

{«Низкая», «Средняя», «Высокая»}. Для каждого из термов  $\underline{T}_{DR_1}, \dots, \underline{T}_{DR_j}, \dots,$

$\underline{T}_{DR_m}$  соответственно задается свой интервал значений  $[dr_1; dr_2], \dots, [dr_j;$

$dr_{j+1}], \dots, [dr_m; dr_{m+1}]$  ( $j = \overline{1, m}$ ), по которому формируются эталонные нечеткие

числа (НЧ) с функцией принадлежности (ФП)  $\mu_j(dr)$  [5]. Сформированные

интервалы значений и термы НЧ с ФП в дальнейшем будут использоваться

для интерпретации  $DR$  на этапе 12. Здесь также формируется ЛП «УРОВЕНЬ

ОЦЕНОЧНОГО ПАРАМЕТРА  $EP_i$ » ( $K_{EP_i}$ ), которая определяется корте-

жем  $\langle K_{EP_i}, \underline{T}_{K_{EP_i}}, X_{EP_i} \rangle$  [5], где базовые терм-множества задаются  $m$  термами

$\underline{T}_{K_{EP_i}} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{K_{EP_{ij}}}$ . Для  $\underline{T}_{K_{EP_1}}, \underline{T}_{K_{EP_2}}, \dots, \underline{T}_{K_{EP_{j-1}}}, \underline{T}_{K_{EP_j}}, \dots, \underline{T}_{K_{EP_m}}$  соответственно определяются свои интервалы значений по каждому  $EP_i$  ( $i = \overline{1, g}$ ) –  $[k_{EP_1}; k_{EP_2}[, [k_{EP_2}; k_{EP_3}[, \dots, [k_{EP_{j-1}}; k_{EP_j}[, [k_{EP_j}; k_{EP_{j+1}}[, \dots, [k_{EP_m}; k_{EP_{m+1}}]$ . Далее посредством четырех этапов соответствующего метода, осуществим преобразование интервалов в НЧ –  $\underline{T}_{DR_j} = (ai_j; bi_{1j}; bi_{2j}; ci_j)$  и  $\underline{T}_{K_{EP_j}} = (ai_j; bi_{1j}; bi_{2j}; ci_j)$ . Сформированные интервалы значений, термы нечетких чисел с ФП для уровня оценочных параметров (УОП) будут использоваться на этапе 10.

**7. Выбор метода трансформации термов.** На этом этапе осуществляется определение количества терм-множеств, которые будут использоваться в процессе ОР. При необходимости можно изменить начальное количество и значения элементов эталонных терм-множеств без участия экспертов соответствующей предметной области. С этой целью для эквивалентного преобразования  $m$ -мерных термов НЧ ЛП  $DR^{(m)}$  в  $DR^{(m-n)}$  или  $DR^{(m+n)}$  и  $K_{EP_i}^{(m)}$  в  $K_{EP_i}^{(m-n)}$  или  $K_{EP_i}^{(m+n)}$  предлагается воспользоваться методами реализации функции трансформирования эталонов ЛП [107, 116].

**8. Определение уровня значимости.** На этом этапе производится определение уровня значимости оценочных параметров. Здесь на основании  $\{EP_i\}$  (сформированном на 2 этапе) каждому параметру ставится в соответствие уровень его значимости  $LS_i$  ( $i = \overline{1, g}$ ), который рассчитывается по формулам (3.5) или (3.6) (см. шаг 4 в предыдущем параграфе). Полученные результаты определения  $LS_i$  будут использоваться на этапе 11.

**9. Определение текущего значения.** Здесь по каждому определенному на этапе 2 оценочному параметру  $\{EP_i\}$  ( $i = \overline{1, g}$ ), с использованием сформированных на 6 этапе интервалов и термов  $K_{EP_i}$ , эксперты соответствующей предметной области определяют  $ek$  для всех  $A_a / V_{bo}$  ( $a = \overline{1, n}, bo = \overline{1, n}$ ), иденти-

фицированных на 4 этапе, т.е.  $\{ep_i^{A_a/V_{bo}}\}$ . Значения формируются на основании предпочтений экспертов, статистической информации и др. данных.

**10. Классификация текущих значений.** На этом этапе определяется принадлежность  $ek_i^{A_a/V_{bo}}$  заданному интервалу (сформированному на 6 этапе). Далее формируется значение  $\lambda$  по формулам (3.8). Аналогичные преобразования производятся для всех  $A_a / V_{bo}$ . Полученная информация используется на этапе оценки степени риска (СР).

**11. Оценка СР.** Здесь осуществляется оценка степени риска, для чего необходимо использовать наборы  $IR_h$ ,  $A_a / V_{bo}$ ,  $LS_i$  и  $\lambda_{ij}^{(A_a/V_{bo})}$ , которые формируются соответственно на этапах 3, 4, 8 и 10. В дальнейшем по формуле (3.9) (с вычислением  $dr_j=90-20(j-1)$ ) определяется показатель степени риска нарушения ИБ  $dr^{(A_a/V_{bo})}$  для каждого  $A_a / V_{bo}$  и с помощью выражения (3.11) его среднее значение  $dr^{(cp)}$  по РИС.

**12. Интерпретация СР.** На этом этапе  $dr^{(A_a/V_{bo})}$  и  $dr^{(cp)}$  интерпретируются через определение соответствия измеренной СР определенным эталонным значениям, полученные на этапе 6, с помощью выражений (3.10). Выходные данные представляются как в лингвистической, так и в числовой форме.

Далее формируется отчет, в котором будут отражаться результаты выполнения этапов 2 – 5 и 9 – 12. Полученные данные в виде сформированного документа могут быть использованы при построении систем менеджмента информационной безопасности или комплексных систем защиты информации.

Таким образом, усовершенствован методологический базис для синтеза систем оценивания рисков, который позволяет формализовать процесс создания адаптивных инструментальных средств, обладающих гибкими возможностями по обработке заданных множеств преобразуемых величин при оценивании рисков безопасности информационных систем. Этого удается достигнуть за счет использования базовых методов инкрементирования и декрементирования порядка ЛП, подробно изложенных в Разделе 2, бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска, представ-

ленной в п.2.1, и методов оценивания рисков [63, 100], в том числе интегрированного (см.п.3.1.).

На основании предложенной структурно-аналитической модели можно строить как программные, так и программно-аппаратные системы, предназначенные для эффективного ОР безопасности РИС. Такие системы используют в качестве входных данных различные наборы оценочных параметров, что позволяет обеспечить гибкость, адаптивность и расширение возможностей проектируемых средств ОР, функционирующих как в детерминированной, так и в нечетко определенной слабоформализованной среде.

### **3.3 Интегрированная адаптивная система оценивания рисков**

Международный стандарт ISO 27001:2013 [117] регламентирует порядок создания систем менеджмента ИБ. В основу таких систем положена процедура управления рисками ИБ, которая включает в себя процессы их анализа и оценивания. На сегодняшний день существует множество средств ОР, которые представлены методическим, программным и другим обеспечением [5]. В их основу, как правило, заложено использование статистических данных [5] об инцидентах, связанных с нарушением ИБ ресурсов информационных систем (РИС). На предприятиях не всегда налажен процесс сбора таких данных, поэтому существует необходимость в интегрированных средствах, которые позволили бы в автоматизированном режиме осуществлять ОР как в четко детерминированной, так и нечеткой, слабоформализованной среде. В связи с этим актуальным является создание соответствующей интегрированной системы ОР информационной безопасности РИС. Интегрированная адаптивная система оценивания рисков (ИАСОР) информационной безопасности РИС была разработана на базе предложенных методов [107, 114, 116], модели синтеза систем ОР безопасности РИС [118] и бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска [115]. Такая система позволяет осуществлять оценивание при различных исходных величинах, учитывающих возможности эксперта четко детерминировать оцениваемые параметры и его неуверенность в своих суждениях, а также импортировать с дру-

гих баз и трансформировать эталонные лингвистические переменные без участия экспертов соответствующей предметной области.

Структурная схема ИАСОР, представлена на Рис. 3.2 и содержит подсистемы формирования входных данных (ПФВД), их обработки (ПОД), а также модули формирования структурированного параметра (МФСП) и генерации отчета (МГО). Система одновременно оперирует четкими и нечеткими параметрами с возможностью варьирования порядком ЛП, а изменение количества терм-множеств нечетких входных данных позволяет осуществлять адекватное ОР.

Опишем состав и функциональное назначение каждой из подсистем. Построение ПФВД осуществляется согласно разработанной модели (см. этапы 2-5 в п.3.2). Подсистема служит для подготовки в ПОД входных данных (основанных на суждениях экспертов) и состоит из баз данных (БД) РИС (БДР), угроз (БДУ) и результатов оценивания рисков (БДО), а также модуля инициализации базовых характеристик (МИБХ) и модуля формирования ключевых данных (МФКД). Согласно [5], БДР содержит соответствующие списки ресурсов из множества  $IR \in \{IR_h\} (h=\overline{1,r})$  (где  $h$  – указатель (номер текущего идентификатора РИС, а  $r$  – количество РИС),

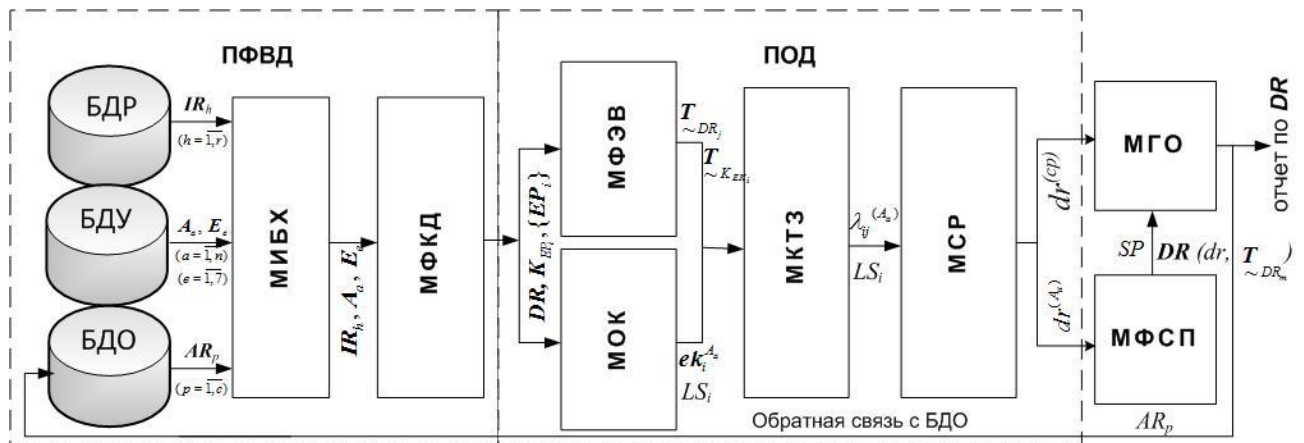


Рис. 3.2. Структурная схема ИАСОР

БДУ включает списки угроз и нарушений базовых характеристик ИБ, определенные соответственно множествами  $A \in \{A_a\} (a=\overline{1,n})$  (где  $a$  – указатель (номер) текущего идентификатора угрозы [114], а  $n$  – количество угроз) и  $E \in \{E_e\} (e=\overline{1,7})$

(где  $e$  – указатель (номер) текущего идентификатора нарушения базовых характеристик ИБ), а БДО содержит списки оценок риска, определенных множеством  $AR \in \{AR_p\}$  ( $p = \overline{1, c}$ ) (где  $p$  – указатель (номер) текущего идентификатора оценки риска, а  $c$  – их количество). Последняя база предназначена для хранения в отдельных таблицах результатов, полученных от предыдущих ОР, которые используются при очередном оценивании и могут, например, иметь ориентировочную структуру, представленную на Рис. 3.3. При формировании БДР, например, можно импортировать необходимые данные, воспользовавшись классификацией ресурсов в SRAMM для профиля Commercial, а при формировании БДУ – классификацией из [5]. Модуль МИБХ предназначен для выбора из БДР и БДУ, соответственно характерные для объекта оценки  $IR$ ,  $A_a$  и  $E_e$ . Модуль МФКД формируется согласно этапов 2 и 6 модели, представленной в п.3.2, и предназначен для получения множества параметров ОР в виде таких ЛП как «СТЕПЕНЬ РИСКА» ( $DR$ ) и «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА  $EP_i$ » ( $K_{EP_i}$ ), которые определяются соответственно кортежами  $\langle DR, \underline{T}_{DR}, \underline{X}_{DR} \rangle$  и  $\langle K_{EP_i}, \underline{T}_{K_{EP_i}}, \underline{X}_{K_{EP_i}} \rangle$ , где базовые терм-множества могут задаваться  $m$  термами  $\underline{T}_{DR} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{DR_j}$  и  $\underline{T}_{K_{EP_i}} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{K_{EP_j}}$  ( $j = \overline{1, m}, i = \overline{1, g}$ ). На основе этого модуля посредством синтетического кортежа  $\langle AES, CA, D, E, F, L, P, V \rangle$  [115] осуществляется выбор необходимых оценочных компонентов. В результате преобразований на выход ПФВД поступают  $\{EP_i\}$ , а также ЛП  $DR$  и  $K_{EP_i}$ .

Name	Type	Length	Decimals	Allow Null
id	int	11	0	<input type="checkbox"/>
resource	varchar	200	0	<input type="checkbox"/>
threat	varchar	200	0	<input type="checkbox"/>
probability	int	5	0	<input type="checkbox"/>
frequency	decimal	4	2	<input type="checkbox"/>
loss	decimal	4	2	<input type="checkbox"/>
danger	int	5	0	<input type="checkbox"/>
dr	decimal	4	2	<input checked="" type="checkbox"/>

Рис. 3.3. Пример таблицы в БДО

Далее в ПОД формируются данные для последующей оценки степени риска (СР). Эта подсистема содержит:

- модуль оценки значений оценочных компонент (МОК), который образуется согласно этапам 8 и 9 модели, представленной в п.3.2, и используется для определения (посредством суждений экспертов) текущих значений  $ep_i^{A_a}$  (т.е.  $\{ep_i^{A_a}\} = \{ep_D^{A_a}, ep_F^{A_a}, ep_L^{A_a}, ep_P^{A_a}, ep_V^{A_a}\}$ , где  $A \in \{A_a\}, a = \overline{1,5}$ ) и уровня значимости оценочных компонент  $LS_i, i = \overline{1,g}$ ;

- модуль формирования эталонных значений и их визуализации (МФЭВ), который предназначен для построения функций принадлежности (ФП) эталонных нечетких чисел на основании используемого экспертами порядка ЛП (согласно этапа 6 указанной ранее модели);

- модуль классификации текущих значений (МКТЗ), в котором формируются величины  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  ( $j = \overline{1,m}, i = \overline{1,g}$ );

- модуль оценки значения СР (МСР), в котором непосредственно реализуется ОР.

В МФЭВ на основании метода, использующего суждения экспертов, определяются эталонные НЧ для ЛП  $DR$  и  $k_{ep}$  относительно интервалов значений, зависящих от числа используемых термов. Например, если количество интервалов  $m$ , то для  $DR$  их число будет  $G=2m-1$  с общим видом  $[b_{11}; b_{21}[$ ,  $[b_{21}; b_{12}[$ ,  $[b_{12}; b_{22}[$ , ...,  $[b_{2m-1}; b_{1m}[$ ,  $[b_{1m}; b_{2m}]$  ( $j = \overline{1,m}$ ) и ФП  $\mu_j(dr)$ , а для  $k_{ep}$  –  $[b_{11}; b_{21}[$ ,  $[b_{21}; b_{12}[$ ,  $[b_{12}; b_{22}[$ , ...,  $[b_{2m-1}; b_{1m}[$ ,  $[b_{1m}; b_{2m}]$  ( $j = \overline{1,m}$ ) и ФП  $\mu_j(k_{ep})$ . В результате работы модуля формируются ЛП  $DR$  и  $k_{ep}$ . Здесь (согласно этапа 7 модели) реализуются методы инкрементирования и декрементирования ЛП, т.е. посредством соответствующих функций, образуются эквивалентные ЛП, отличающиеся от исходных порядком и содержимым термов, но сохраняющие свои начальные свойства, отражающие исходные суждения экспертов. Данные методы работают с различными типами распределения НЧ по оси  $dr$  [107,116]. Все исходные, преобразованные или импортированные с других БД эталоны могут визуализироваться.

Модуль МКТЗ (формируемый согласно этапа 10 модели, представленной в п.3.2) предназначен для генерирования значений  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  (согласно формуле (3.8) ) посредством полученных в МОК величин  $ep_i^{A_a}$  .

В МСР (см. рис. 3.4) для каждой идентифицированной  $A_a$  ( $a = \overline{1, n}$ ) осуществляется оценка СР  $dr^{(A_a)}$  по формуле (3.9) и его среднего значения  $dr^{(cp)}$  по каждому РИС по формуле (3.11) с учетом результатов классификации текущей вылечены оценочных компонент  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  и соответствующего их уровня значимости  $LS_j$ .

№	Ресурсы информационной системы	Угрозы	P	F	L	D	DR
1	несетевые серверы общего назначения	Физический несанкционированный доступ в помещения организации	0	0	0	0	10
2	несетевые серверы общего назначения	Кража или повреждение компьютерного оборудования и носителей	18	0	0	0	15
3	несетевые серверы общего назначения	Кража или повреждение компьютерного оборудования и носителей	18	0,23	0	0	20
4	несетевые серверы общего назначения	Постороннее лицо может получить физический доступ к комплексу	18	0,23	0,13	0	23
5	несетевые серверы общего назначения	Кража бумажных документов инсайдерами	18	0,23	0,13	4	33

Рис. 3.4. Пример интерфейса МСР

Данные из МСР поступают в МФСП, где на основании вычисленных значений  $dr^{(A_a)}$ ,  $dr^{(cp)}$  и построенных эталонов с помощью выражения (3.10) определяется структурированный параметр  $SP^{(A_a)}$ , который позволяет получить не только числовые значения СР, но и лингвистическую интерпретацию уровня уверенности эксперта (учитываемую методом формирования текущих значений оценочных компонент с дальнейшей их классификацией посредством параметра  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ ). С помощью МГО с учетом результатов работы ПФВД и ПОД генерируются отчеты по оценкам СР, которые содержат все идентифи-



цированные  $IR_h$ ,  $A_a$  и  $E_e$  результаты оценки  $dr^{(A_a)}$ ,  $dr^{(cp)}$  и их лингвистические эквиваленты.

Результаты, представленные в Разделе 3, опубликованы в работах [114, 115, 118-120].

### 3.4 Выводы к Разделу 3

1. Разработан интегрированный метод анализа и оценивания рисков, который позволяет упростить расчеты рисков информационной безопасности, и предоставляет возможность оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами с выбором необходимого количества термножеств.
2. Усовершенствована структурно-аналитическая модель синтеза систем оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем, которая позволяет использовать широкий спектр параметров и предоставляет возможность создавать более гибкие, адаптивные средства оценивания, а также оценивать риски как на основе статистических данных, так и на экспертных оценках, сделанных в неопределенной, слабоформализованной среде с учетом периода времени, отрасли, экономической и управленческой специфики предприятия.
3. На основании структурно-аналитической модели синтеза систем оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем, интегрированного метода, а также методов инкрементирования и декрементирования порядка лингвистической переменной было предложено структурное решение интегрированной адаптивной системы анализа и оценивания рисков, которое обеспечивает высокую гибкость и удобство использования как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформализованной среде.

## РАЗДЕЛ 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ

### 4.1 Базовый алгоритм работы системы оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем

Разработанная система оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем функционирует в соответствии с алгоритмом, представленным на рис. 4.1. Согласно условию (вершина 1) определяется режим оценивания, т.е. осуществляется инициализация создания нового процесса ОР (вершины 2-3) или открытие существующего с имеющимися в БДО данными (вершины 4-5).

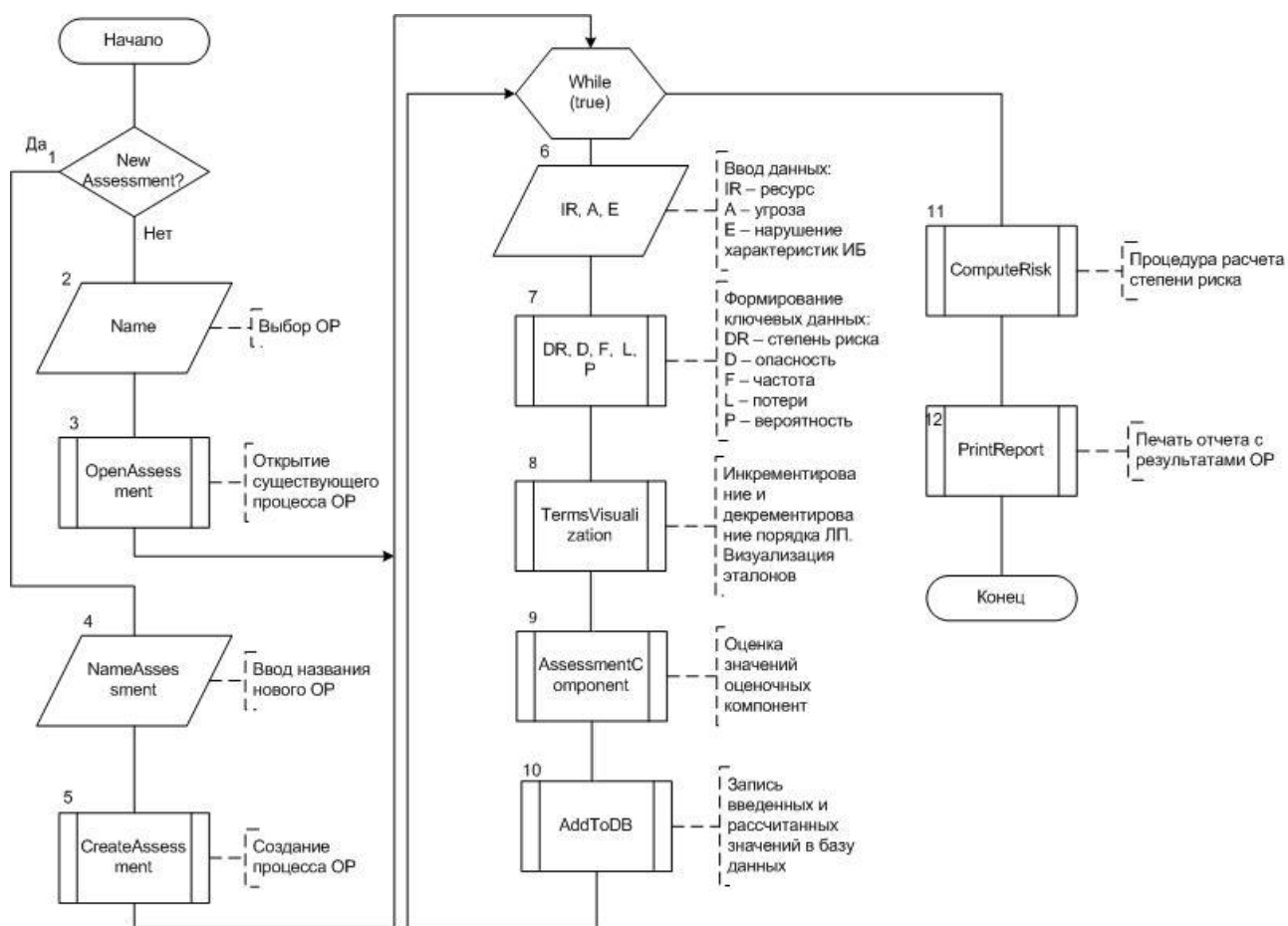


Рис. 4.1. Базовый алгоритм работы ИАСОР безопасности РИС.

Далее в МИБХ из БДР и БДУ поступают входные данные (ВД)  $IR_h$ ,  $A_a$  и  $E_e$ , которые заранее определяются лицом, отвечающим за реализацию процесса ОР

(вершина 6). Здесь используется три БД под управлением системы управления базами данных (СУБД) MySQL, первая из которых (resources) содержит РИС, вторая (threat) – перечень угроз и третья (assessment) – оценку риска. Далее в МФКД (вершина 7) формируются ключевые значения ЛП  $DR$ ,  $k_{EP}$  с соответствующими термами  $\tilde{T}_{DR_j}$  ( $j = \overline{1, m}$ ),  $\tilde{T}_{k_{EP_i}}$  ( $i = \overline{1, g}$ ) и оценочными интервалами. Здесь также на основе синтетического кортежа в [115] формируется подмножество  $\{EP_i\}$ . Полученные  $\tilde{T}_{DR_j}$ ,  $\tilde{T}_{k_{EP_i}}$  и  $\{EP_i\}$  из МФКД поступают на МФЭВ и МОК. В МФЭВ (вершина 8) согласно потребности лица, отвечающего за процесс ОР, могут трансформироваться эталоны. Здесь также предусмотрена визуализация полученных и преобразованных эталонов. Далее полученные данные передаются в МКТЗ (вершины 9-10), где производится классификация значений  $ep_i^{A_a}$  с помощью исходящих из МФКД и МФЭВ значений. Также в МКТЗ осуществляется сравнение нечетких эталонов с текущими значениями и формируются  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ . Далее полученные результаты заносятся в БДО. Из МКТЗ сформированные  $\lambda_{ij}^{(A_a)}$  поступают в МСР (вершина 11), где для каждого  $A_a$  определяется  $dr^{(A_a)}$  и  $dr^{(cp)}$  для указанного набора  $IR_h$ ,  $A_a$  и  $E_e$ . Далее входные данные передаются на МФСП, где определяется  $SP^{(A_a)}$ . В МГО (вершина 12) формируется результирующий отчет по данным из МСР, МФСП и МИБХ с указанием всех  $IR_h$ ,  $A_a$  и  $E_e$ , полученных  $dr^{(A_a)}$  и  $dr^{(cp)}$  в числовой и лингвистической форме, после чего все данные записываются в БДО. Пример сформированного отчета МГО ИАСОР представлен на рис. 4.2. Все необходимые данные (включая результаты) заносятся в соответствующую БД и для обеспечения большей надежности резервируются. Указанная БД позволяет оперативно изменять входные данные без модификации программного кода и структуры системы.

На основе разработанной структурной схемы ИАСОР создано программное средство, для которого (в отличие от известных [5]) используют в качестве входных данных различные наборы оценочных параметров с возможностью трансформирования порядка ЛП. Это обеспечивает высокую гибкость и интеграцию функциональных возможностей проектируемых средств ОР, функционирующих как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформализованной среде.

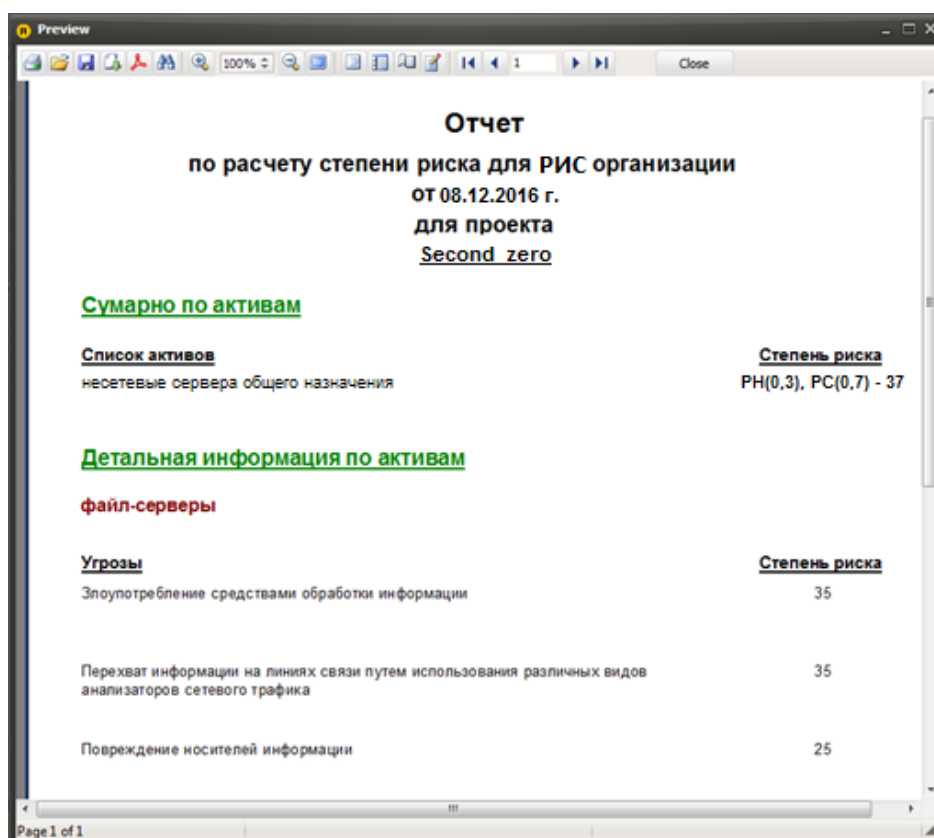


Рис. 4.2. Пример сгенерированного отчета.

## 4.2 Экспериментальное исследование методов трансформирования термов лингвистических переменных

### 4.2.1 Апробация метода преобразования эталонов параметров

Продemonстрируем работу метода преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности, представленную в п.2.2, для различных типов распределений треугольных НЧ.

А) Равномерный тип распределения. Согласно [102], для равномерного типа распределения треугольных НЧ условие равномерности:

$$\Omega_p = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j = b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (4.1)$$

где  $\Omega_p$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_p=1$  – условие истинно, в противном случае  $\Omega_p=0$  – ложно, а выражение со знаком « $\Rightarrow$ » используется для выполнения проверки на равенство или приблизительное равенство двух разностей (если оно истинно, то выражение эквивалентно логической единице, в противном случае – нулю). Равномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП, все термы которых по оси  $dr$  отражают одинаковое предпочтение эксперта относительно оценочного параметра [102].

Рассмотрим работу метода, реализующего функцию (2.6), с учетом аналитических выражений (2.7)-(2.9) при условии (4.1). Определим вышеуказанную ЛП (2.4) при  $m=5$  со следующими значениями равномерно распределенных НЧ:  $T_{DR_1} = (0; 0; 22,22)_{LR}$ ;  $T_{DR_2} = (11,11; 25; 44,44)_{LR}$  и т.д. (все числовые данные для различных типов распределения треугольных исходных НЧ приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

Пример эталонных треугольных НЧ при  $m = 5$ 

Тип распределения НЧ <i>ЛП DR</i>	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	$T_{DR_1}$	$T_{DR_2}$	$T_{DR_3}$	$T_{DR_4}$	$T_{DR_5}$
<i>Равномерное</i>	$(0; 0; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 25; 44,44)_{LR}$	$(33,33; 50; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 75; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 100; 100)_{LR}$
<i>Неравномерное</i>	$(0; 0; 20)_{LR}$	$(12; 27; 39)_{LR}$	$(30; 52; 59)_{LR}$	$(56; 74; 78)_{LR}$	$(70; 100; 100)_{LR}$
<i>Возрастающее</i>	$(0; 0; 10)_{LR}$	$(5; 10; 25)_{LR}$	$(20; 30; 45)_{LR}$	$(40; 60; 70)_{LR}$	$(65; 100; 100)_{LR}$
<i>Убывающее</i>	$(0; 0; 30)_{LR}$	$(30; 40; 55)_{LR}$	$(55; 70; 75)_{LR}$	$(75; 90; 90)_{LR}$	$(90; 100; 100)_{LR}$

Проверим условие равномерности (4.1):  $\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 = b_4 - b_3) \wedge (b_4 - b_3 = b_5 - b_4) = (25 - 0 = 50 - 25) \wedge (50 - 25 = 75 - 50) \wedge (75 - 50 = 100 - 75) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как видим, его значение истинно, значит НЧ ЛП  $DR^{(5)}$  соответствует равномерному распределению. Далее выполним, в соответствии с выражениями (2.7)-(2.9), преобразование (2.6), т.е.  $DR^{(4)} = FT^{-1}(DR^{(5)})$ . В результате трансформирования термов ЛП, получим, например, для  $DR^{(4)}$  следующие значения:

$$T_{DR}^{(4)} = \bigcup_{j=1}^4 T_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),} \\ \text{«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),} \\ \text{«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ),} \\ \text{«Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)} \}, \quad (4.2)$$

числовые эквиваленты, которых интерпретируются как:

для  $T_{DR_1}$  –

$$A^{(4)} = a_1^{(5)} + a_2^{(5)} = 0 + 11,11 = 11,11;$$

$$k_1^{(4)} = 2 * 100 / (c_4^{(5)} + c_5^{(5)} - A^{(4)}) = 200 / (88,88 + 100 - 11,11) = 1,13;$$

$$a_1^{(4)} = k_1^{(4)} (a_1^{(5)} + a_2^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,13 (0 + 11,11 - 11,11) / 2 = 0;$$

$$c_1^{(4)} = k_1^{(4)} (c_1^{(5)} + c_2^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,13 (22,2 + 44,44 - 11,11) / 2 = 31,25;$$

$$B^{(4)} = b_1^{(5)} + b_2^{(5)} = 0 + 25 = 25;$$

$$k_2^{(4)} = 2b_{dr} / (b_4^{(5)} + b_5^{(5)} - B^{(4)}) = 2*100 / (75 + 100 - 25) = 1,33;$$

$$b_1^{(4)} = k_2^{(4)} (b_1^{(5)} + b_2^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,33 (0 + 25 - 25) = 0;$$

для  $T_{DR_2}$  –

$$a_2^{(4)} = k_1^{(4)} (a_2^{(5)} + a_3^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,13 (11,11 + 33,33 - 11,11) / 2 = 18,75;$$

$$c_2^{(4)} = k_1^{(4)} (c_2^{(5)} + c_3^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,13 (44,44 + 66,66 - 11,11) / 2 = 56,25;$$

$$b_2^{(4)} = k_2^{(4)} (b_2^{(5)} + b_3^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,33 (25 + 75 - 25) = 33,33,$$

а для  $T_{DR_3}$  и  $T_{DR_4}$  числовые эквиваленты приведены в табл. 4.2.

Таким образом, для всех  $T_{DR}^{(4)}$  получим значения  $T_{DR_1} = \langle \text{HP} \rangle = (a_1, b_1, c_1)_{LR} = (0; 0; 31,25)_{LR}$ ; ...;  $T_{DR_4} = \langle \text{ПР} \rangle = (a_4, b_4, c_4)_{LR} = (68,75; 100; 100)_{LR}$  (см. табл.4.2), соответствующая графическая интерпретация которых представлена на рис. 4.3, б.

Таблица 4.2

Пример эталонных треугольных НЧ при  $m = 4$

Тип распределения НЧ ЛП <b>DR</b>	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j=\overline{1,4})$			
	$T_{DR_1}$	$T_{DR_2}$	$T_{DR_3}$	$T_{DR_4}$
Равномерное	$(0; 0; 31,25)_{LR}$	$(18,75; 33,33; 56,25)_{LR}$	$(43,75; 66,66; 81,25)_{LR}$	$(68,75; 99,99; 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0; 0; 28,31)_{LR}$	$(18,07; 35,37; 51,81)_{LR}$	$(44,58; 67,35; 75,3)_{LR}$	$(68,67; 100; 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0; 0; 18,18)_{LR}$	$(12,12; 20; 39,39)_{LR}$	$(33,33; 53,33; 66,67)_{LR}$	$(60,61; 100; 100)_{LR}$
Убывающее	$(0; 0; 34,38)_{LR}$	$(34,38; 46,67; 62,5)_{LR}$	$(62,5; 80; 84,38)_{LR}$	$(84,38; 100; 100)_{LR}$

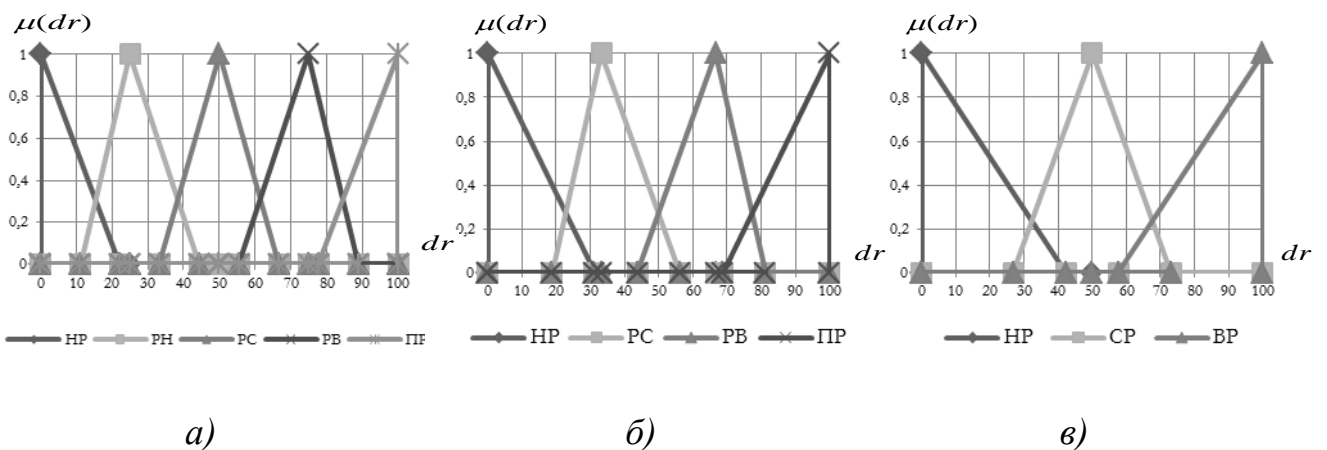


Рис. 4.3. Термы эталонных значений треугольных НЧ для ЛП **DR**:

а)  $T_{DR}^{(5)}$ ; б)  $T_{DR}^{(4)}$ ; в)  $T_{DR}^{(3)}$ .

Теперь вычислим условие равномерности (4.1) для  $T_{DR}^{(4)}$  ( $m=4$ ):  $\Omega_p = (33,33 - 0 = 66,66 - 33,33) \wedge (66,66 - 33,33 = 99,99 - 66,66) = 1$ .

Как видим, так же, как и при  $m=5$  оно является истинно, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Далее аналогичным образом, по выражениям (2.7)-(2.9) осуществим преобразование (2.6), при  $m=4$  т.е.  $DR^{(3)} = FT^{-1}(DR^{(4)})$  с использованием исходных значений НЧ из табл.4.2. В процессе трансформирования термов получаем следующие значения:

$$T_{DR}^{(3)} = \bigcup_{j=1}^3 T_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),} \\ \text{«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),} \quad (4.3) \\ \text{«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)} \},$$

числовые эквиваленты, которых занесены в табл. 4.3, а пример вычислений  $T_{DR_1}$  и  $T_{DR_2}$  представим ниже.

Для  $T_{DR_1}$ :

$$A^{(3)} = a_1^{(4)} + a_2^{(4)} = 18,75; \quad k_1^{(3)} = 2*100 / (c_3^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}) = 1,23;$$

$$a_1^{(3)} = k_1^{(3)} (a_1^{(4)} + a_2^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 0; \quad c_1^{(3)} = k_1^{(3)} (c_1^{(4)} + c_2^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 42,31;$$

$$B^{(3)} = b_1^{(4)} + b_2^{(4)} = 33,33; \quad k_2^{(3)} = 2b_{dr} / (b_3^{(4)} + b_4^{(4)} - B^{(3)}) = 1,5;$$

$$b_1^{(3)} = k_2^{(3)} (b_1^{(4)} + b_2^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 0.$$

Для  $T_{DR_2}$ :

$$a_2^{(3)} = k_1^{(3)} (a_2^{(4)} + a_3^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 26,92; \quad c_2^{(3)} = k_1^{(3)} (c_2^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 73,08;$$

$$b_2^{(3)} = k_2^{(3)} (b_2^{(4)} + b_3^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 50.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 4.3,в, а условие равномерности (4.1) при  $m=3$  будет истинно, т.е.  $\Omega_p = 1$ .

Отметим, что для исходных и трансформированных значений термов ЛП  $DR^{(m)}$  ( $m=\overline{3,5}$ ) условие равномерности  $\Omega_p$  является истинным, что говорит об



адекватности эквивалентных преобразований ЛП, реализуемых предложенным методом (см. рис. 4.3, а-в).

Б) Неравномерный тип распределения. Согласно [102], для неравномерного типа распределения треугольных НЧ истинным будет условие:

$$\Omega_H = \bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j \neq b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (4.4)$$

где  $\Omega_H$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_H=1$  – условие истинно, иначе  $\Omega_H=0$  – ложно). Неравномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП, в которых хотя бы один терм отражает неодинаковое предпочтение эксперта относительно любого другого термина на оси  $dr$  относительно конкретного оценочного параметра.

Рассмотрим работу метода, реализующего функцию (2.6), с учетом аналитических выражений (2.7)-(2.9) при условии (4.4). Для определения ЛП (2.4) при значении  $m=5$ , воспользуемся неравномерно распределенными исходными НЧ из табл. 4.1. Проверим условие неравномерности (4.4):

$$\Omega_H = (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) \vee (b_3 - b_2 \neq b_4 - b_3) \vee (b_4 - b_3 \neq b_5 - b_4) = (27 - 0 \neq 50 - 27) \vee (52 - 27 \neq 74 - 52) \vee (74 - 52 \neq 100 - 74) = 1 \vee 1 \vee 1 = 1.$$

Из преобразований видно, что оно истинно (т.е.  $\Omega_H=1$ ) и это говорит о соответствии НЧ ЛП  $DR^{(5)}$  такому типу распределения, как неравномерное.

Далее выполним, в соответствие с выражениями (2.7)-(2.9), преобразование (2.6), при  $m=4$ , с исходными значениями из табл.4.1 для неравномерно распределенных НЧ. В результате преобразования для  $T_{DR}^{(4)}$  (см.(4.2)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

$$\text{для } T_{DR_1} - A^{(4)} = 18,07; \quad k_1^{(4)} = 1,2; \quad a_1^{(4)} = 0; \quad c_1^{(4)} = 28,31;$$

$$B^{(4)} = 35,37; \quad k_2^{(4)} = 1,36; \quad b_1^{(4)} = 0,$$

$$\text{для } T_{DR_2} - a_2^{(4)} = 18,07; \quad c_2^{(4)} = 51,81; \quad b_2^{(4)} = 35,37;$$

для  $T_{DR_3}$  и  $T_{DR_4}$  числовые эквиваленты приведены в табл. 4.2, соответствующая графическая интерпретация которых представлена на рис. 4.4, б.

После проведенных преобразований по выражению (4.4) вычислим  $\Omega_H$  для  $T_{DR}^{(4)}$  ( $m=4$ ):  $\Omega_H = (35,37 - 0 \neq 67,35 - 35,37) \vee (67,35 - 35,37 \neq 100 - 67,35) = 1$ .  
Условие неравномерности, также как и при  $m=5$ , является истинно, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

По аналогии, согласно (2.6), осуществим преобразование неравномерно распределенных НЧ для  $T_{DR}^{(3)}$  ( $m=3$ ) (см. (4.3)) с исходными данными из табл. 4.2. В результате получим значения термов, числовые эквиваленты которые занесем в табл. 4.3. Пример вычислений  $T_{DR_1}$  и  $T_{DR_2}$  представим ниже:

$$T_{DR_1} - A^{(3)} = 28,35; k_1^{(3)} = 1,27; a_1^{(3)} = 0; c_1^{(3)} = 39,46; B^{(3)} = 51,03; k_2^{(3)} = 1,52; b_1^{(3)} = 0; T_{DR_2} - a_2^{(3)} = 28,35; c_2^{(3)} = 69,35; b_2^{(3)} = 51,03.$$

Таблица 4.3

Пример эталонных треугольных НЧ при  $m = 3$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR}$ ( $j = \overline{1,3}$ )		
	$T_{DR_1}$	$T_{DR_2}$	$T_{DR_3}$
Равномерное	$(0; 0; 42,31)_{LR}$	$(26,92; 50; 73,08)_{LR}$	$(57,69; 100; 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0; 0; 39,46)_{LR}$	$(28,35; 50; 69,35)_{LR}$	$(60,54; 100; 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0; 0; 29,41)_{LR}$	$(21,57; 40; 60,78)_{LR}$	$(52,94; 100; 100)_{LR}$
Убывающее	$(0; 0; 41,67)_{LR}$	$(41,67; 60; 75)_{LR}$	$(75; 100; 100)_{LR}$

Графический вид эталонных НЧ представлен на рис. 4.2, в, а условие неравномерности (4.4) при  $m=3$  истинно, т.е.  $\Omega_H = 1$ .

При трансформировании ЛП  $DR^{(m)}$  с неравномерно распределенными эталонными НЧ, на всех этапах, прослеживается выполнение условия (4.4), что

подтверждает адекватность эквивалентных преобразований ЛП, реализуемых предложенным методом (см. рис. 4.4, а-в).

В) Возрастающий тип распределения. Для возрастающего типа распределения по оси  $dr$  истинным является условие:

$$\Omega_g = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j < b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (4.5)$$

где  $\Omega_g$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_g=1$  – условие истинно, в противном случае  $\Omega_g=0$  – ложно);

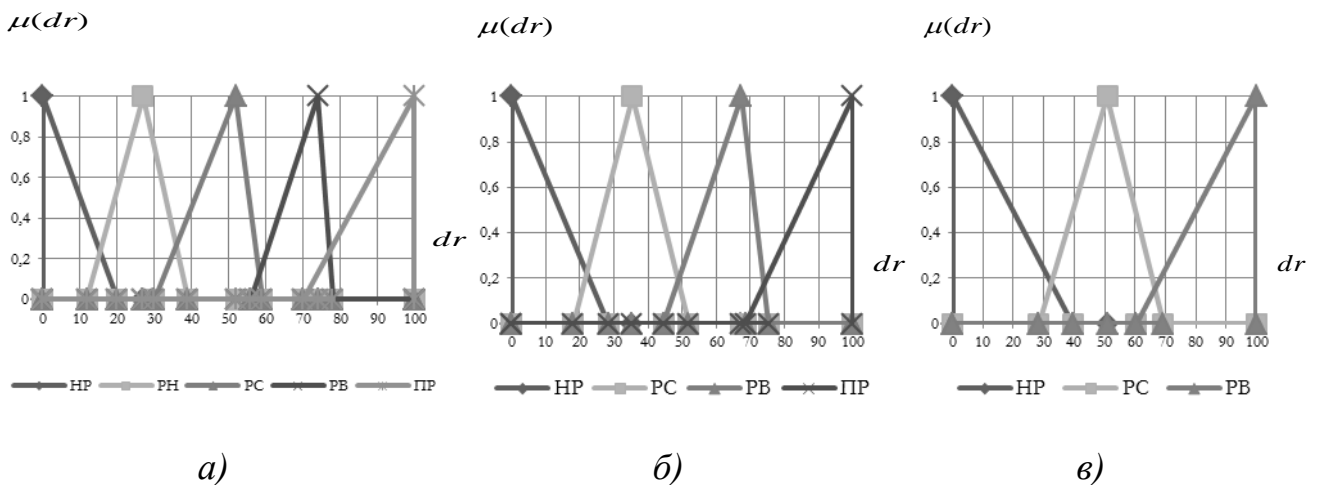


Рис.4.4. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ

для ЛП  $DR$ : а)  $T_{DR}^{(5)}$ ; б)  $T_{DR}^{(4)}$ ; в)  $T_{DR}^{(3)}$

Для ЛП  $DR^{(m)}$  (2.4) продемонстрируем работу метода, при условии (4.5) и  $m=5$ . С этой целью воспользуемся возрастающим типом распределения НЧ из табл. 4.1, что подтверждается вычислениями для проверки условия (4.5):

$$\Omega_g = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 < b_4 - b_3) \wedge (b_4 - b_3 < b_5 - b_4) = (10 - 0 < 30 - 10) \wedge (30 - 10 < 60 - 30) \wedge (60 - 30 < 100 - 60) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно, условие (4.5) истинно, что подтверждает соответствие НЧ ЛП возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ, произведем, в соответствии с выражениями (2.7)-(2.9), преобразования (2.6) при  $m=4$  и  $m=3$ .

Для этого вновь воспользуемся исходными значениями НЧ с возрастающим типом распределения из табл.4.1. В результате чего для  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(3)}$  (см. (4.2) и (4.3)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 4.2 и 4.3 (см. рис. 4.5, а-в) и интерпретируются для  $T_{DR}^{(4)}$  как:

$$T_{DR_1} - A^{(4)} = 5; \quad k_1^{(4)} = 1,21; \quad a_1^{(4)} = 0; \quad c_1^{(4)} = 18,18;$$

$$B^{(4)} = 10; \quad k_2^{(4)} = 1,33; \quad b_1^{(4)} = 0;$$

$$T_{DR_2} - a_2^{(4)} = 12,12; \quad c_2^{(4)} = 39,39; \quad b_2^{(4)} = 20,$$

а для  $T_{DR}^{(3)}$  как:

$$T_{DR_1} - A^{(3)} = 12,12; \quad k_1^{(3)} = 1,29; \quad a_1^{(3)} = 0; \quad c_1^{(3)} = 29,41;$$

$$B^{(3)} = 20; \quad k_2^{(3)} = 1,5; \quad b_1^{(3)} = 0;$$

$$T_{DR_2} - a_2^{(3)} = 21,57; \quad c_2^{(3)} = 60,78; \quad b_2^{(3)} = 40.$$

Далее проверим условие возрастания (4.5) для  $T_{DR}^{(4)}$  ( $m=4$ ):

$\Omega_g = (20 - 0 > 53,33 - 20) \wedge (53,33 - 20 > 100 - 53,33) = 1$  и для  $T_{DR}^{(3)}$  ( $m=3$ ) –  $\Omega_g = 1$ . Как видим, значения  $\Omega_g$  является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

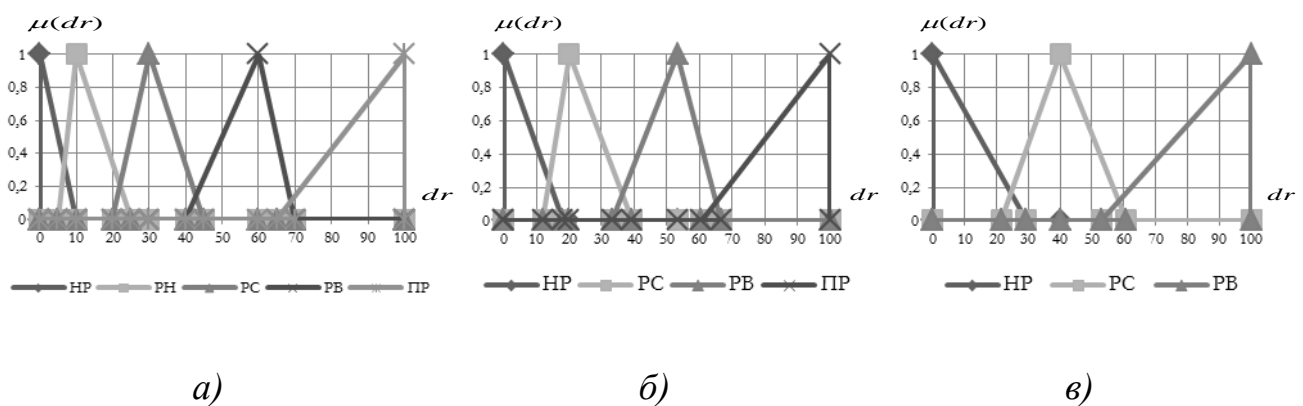


Рис. 4.5 Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для

ЛП DR: а)  $T_{DR}^{(5)}$ ; б)  $T_{DR}^{(4)}$ ; в)  $T_{DR}^{(3)}$

Г) Убывающий тип распределения. Для убывающего тип распределения по оси  $dr$  истинным является условие:

$$\Omega_y = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j > b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (4.6)$$

где  $\Omega_y$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_y=1$  – условие истинно, иначе  $\Omega_y=0$  – ложно).

Рассмотрим, наконец, пример работы метода, реализующего функцию (2.6) при условии (4.6). Для определения ЛП (2.1) при  $m=5$  воспользуемся конкретными НЧ из табл. 4.1 с убывающим типом распределения. Произведем для них проверку условия (4.6):  $\Omega_y = (b_2 - b_1 > b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 > b_4 - b_3) \wedge (b_4 - b_3 > b_5 - b_4) = (40 - 0 > 70 - 40) \wedge (70 - 40 > 90 - 70) \wedge (90 - 70 > 100 - 90) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как видим, условие (4.6) истинно, значит НЧ ЛП  $DR^{(5)}$  соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем, в соответствии с выражениями (2.7)-(2.9), преобразование (2.6) при  $m=4$  и  $m=3$  с исходными значениями для НЧ с убывающим типом распределения из табл. 4.1 и 4.2 (см. рис. 4.6, а-в). В процессе трансформирования термов получим значения для  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(3)}$  (4.2) и (4.3)), числовые эквиваленты которых представлены в табл. 4.2 и 4.3, соответственно, и интерпретируются для  $T_{DR}^{(4)}$  как:

$$T_{DR_1} - A^{(4)} = 30; \quad k_1^{(4)} = 1,25; \quad a_1^{(4)} = 0; \quad c_1^{(4)} = 34,38;$$

$$B^{(4)} = 40; \quad k_2^{(4)} = 1,33; \quad b_1^{(4)} = 0;$$

$$T_{DR_2} - a_2^{(4)} = 34,38; \quad c_2^{(4)} = 62,5; \quad b_2^{(4)} = 46,67,$$

а для  $T_{DR}^{(3)}$  как:

$$T_{DR_1} - A^{(3)} = 41, \quad k_1^{(3)} = 1,33; \quad a_1^{(3)} = 0; \quad c_1^{(3)} = 41,67;$$

$$B^{(3)} = 60; \quad k_2^{(3)} = 1,5; \quad b_1^{(3)} = 0;$$

$$T_{DR_2} - a_2^{(3)} = 41,67; \quad c_2^{(3)} = 75; \quad b_2^{(3)} = 60.$$

Проверим условие убывания (4.6) для  $T_{DR}^{(4)}$  ( $m=4$ ):  $\Omega_y = (46,67 - 0 > 80 - 46,67) \wedge (80 - 46,67 > 100 - 80) = 1$  и для  $T_{DR}^{(3)}$  ( $m=3$ ) –  $\Omega_y = 1$ . Как видно, значе-

ния  $\Omega_y$  является истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

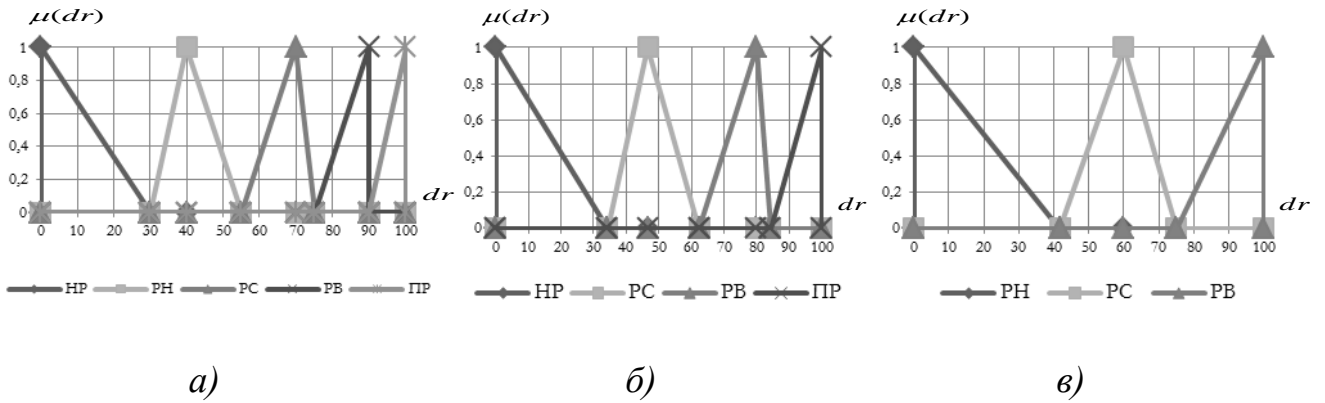


Рис. 4.6. Термы эталонных значений с убывающим распределением НЧ для ЛП

**DR:** а)  $T_{DR}^{(5)}$ ; б)  $T_{DR}^{(4)}$ ; в)  $T_{DR}^{(3)}$

#### 4.2.2 Применение метода n-кратного понижения числа термов

Вначале рассмотрим работу предложенного в п.2.3 метода n-кратного понижения числа термов для четырех типов распределений трапецевидных нечетких чисел. Для дальнейших преобразований на основе заданной функции (2.18) воспользуемся аналитическими выражениями, приведенными в работе [102] (см. формулы (3)-(5)). С учетом того, что  $n = 2$  выполним следующие преобразования:

Для  $T_{DR_1}^{(m-2)}$  –

$$a_1^{(m-2)} = k_1^{(m-2)} (a_1^{(m-1)} + a_2^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2,$$

$$c_1^{(m-2)} = k_1^{(m-2)} (c_1^{(m-1)} + c_2^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2,$$

$$b_{11}^{(m-2)} = k_2^{(m-2)} (b_{11}^{(m-1)} + b_{12}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2,$$

$$b_{21}^{(m-2)} = k_2^{(m-2)} (b_{21}^{(m-1)} + b_{22}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2;$$

...

Для  $T_{DR_j}^{(m-2)}$  –

$$a_j^{(m-2)} = k_1^{(m-2)} (a_j^{(m-1)} + a_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2,$$

$$c_j^{(m-2)} = k_1^{(m-2)} (c_j^{(m-1)} + c_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2, \tag{4.7}$$

$$b_{1j}^{(m-2)} = k_2^{(m-2)} (b_{1j}^{(m-1)} + b_{1j+1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2,$$

$$b_{2j}^{(m-2)} = k_2^{(m-2)} (b_{2j}^{(m-1)} + b_{2j+1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2;$$

...

для  $T_{DR_{m-2}}^{(m-2)}$  –

$$a_{m-2}^{(m-2)} = k_1^{(m-2)} (a_{m-2}^{(m-1)} + a_{m-1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2,$$

$$c_{m-2}^{(m-2)} = k_1^{(m-2)} (c_{m-2}^{(m-1)} + c_{m-1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2,$$

$$b_{1m-2}^{(m-2)} = k_2^{(m-2)} (b_{1m-2}^{(m-1)} + b_{1m-1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2,$$

$$b_{2m-2}^{(m-2)} = k_2^{(m-2)} (b_{2m-2}^{(m-1)} + b_{2m-1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2,$$

где  $k_1^{(m-2)} = 2c_{dr} / (c_{m-2}^{(m-1)} + c_{m-1}^{(m-1)} - A^{(m-2)})$ ;  $A^{(m-2)} = a_1^{(m-1)} + a_2^{(m-1)}$  ( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов;  $a_j, c_j$  – абсциссы нижнего основания трапеции);

$k_2^{(m-2)} = 2b_{dr} / (b_{2m-2}^{(m-1)} + b_{2m-1}^{(m-1)} - B^{(m-2)})$ ;  $B^{(m-2)} = b_{11}^{(m-1)} + b_{12}^{(m-1)}$  ( $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – абсциссы верхнего основания трапеции, а  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов).

Для осуществления перехода от  $m$  термов к  $m-2$  реализуем подстановку в выражение (4.7) значений  $a_1^{(m-1)}, b_{11}^{(m-1)}, b_{21}^{(m-1)}, c_1^{(m-1)}$  и т.д., используемых в работе [102]. После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

для  $T_{DR_1}^{(m-2)}$  –

$$a_1^{(m-2)} = \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_1^{(m)} + 2a_2^{(m)} + a_3^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$c_1^{(m-2)} = \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_1^{(m)} + 2c_2^{(m)} + c_3^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$b_{11}^{(m-2)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{11}^{(m)} + 2b_{12}^{(m)} + b_{13}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr},$$

$$b_{21}^{(m-2)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{21}^{(m)} + 2b_{22}^{(m)} + b_{23}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr};$$

$T_{DR_j}^{(m-2)}$  –

$$a_j^{(m-2)} = \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_j^{(m)} + 2a_{j+1}^{(m)} + a_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$\begin{aligned}
c_j^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_j^{(m)} + 2c_{j+1}^{(m)} + c_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_{1j}^{(m-2)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{1j}^{(m)} + 2b_{1j+1}^{(m)} + b_{1j+2}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \\
b_{2j}^{(m-2)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2j}^{(m)} + 2b_{2j+1}^{(m)} + b_{2j+2}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr};
\end{aligned} \tag{4.8}$$

$T_{DR_{m-2}}^{(m-2)}$  –

$$\begin{aligned}
a_{m-2}^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_{m-2}^{(m)} + 2a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
c_{m-2}^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_{1m-2}^{(m-2)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{1m-2}^{(m)} + 2b_{1m-1}^{(m)} + b_{1m}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \\
b_{2m-2}^{(m-2)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}.
\end{aligned}$$

( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов;  $a_j$ ,  $c_j$  – абсциссы нижнего основания;  $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – абсциссы верхнего основания трапеции). Теперь рассмотрим различные типы распределений НЧ.

А) Равномерный тип распределения. Например, пусть для данной ЛП при  $m=5$  НЧ принимают следующие значения:  $T_{DR_1} = (0; 0; 11,11; 22,22)_{LR}$ ,

$$T_{DR_2} = (11,11; 22,22; 33,33; 44,44)_{LR}, \quad T_{DR_3} = (33,33; 44,44; 55,55; 66,66)_{LR},$$

$$T_{DR_4} = (55,55; 66,66; 77,77; 88,88)_{LR}, \quad T_{DR_5} = (77,77; 88,88; 99,99; 100)_{LR}.$$

С учетом этого и формулы (4.8) выполним соответствующие преобразования согласно (2.18).

В результате понижения количества термов ЛП на 2 порядка, получим, например, для  $DR^{(3)}$  следующие значения:  $T_{DR}^{(3)} = \bigcup_{j=1}^3 T_{DR_j} = \{\text{«Незначительный риск}$

нарушения ИБ» (НР), «Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)\}, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:



$$\text{ДЛЯ } T_{DR_1} - a_1^{(3)} = \frac{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + a_1^{(5)} + 2a_2^{(5)} + a_3^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + c_3^{(5)} + 2c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = ((-0 - 22,22 - 33,33 + 0 + 22,22 + 33,33) / (-0 - 22,22 - 33,33 + 66,66 + 177,76 + 100)) * 100 = 0;$$

$$c_1^{(3)} = \frac{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + c_1^{(5)} + 2c_2^{(5)} + c_3^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + c_3^{(5)} + 2c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = ((-0 - 22,22 - 33,33 + 22,22 + 88,88 + 66,66) / (-0 - 22,22 - 33,33 + 66,66 + 177,76 + 100)) * 100 = 42,39;$$

$$b_{11}^{(3)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{11}^{(5)} + 2b_{12}^{(5)} + b_{13}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{23}^{(5)} + 2b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 44,44 - 44,44 + 0 + 44,44 + 44,44) / (-0 - 44,44 - 44,44 + 55,55 + 155,54 + 99,99)) * 100 = 0;$$

$$b_{21}^{(3)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{21}^{(5)} + 2b_{22}^{(5)} + b_{23}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{23}^{(5)} + 2b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 44,44 - 44,44 + 11,11 + 66,66 + 55,55) / (-0 - 44,44 - 44,44 + 55,55 + 155,54 + 99,99)) * 100 = 20;$$

$$\text{ДЛЯ } T_{DR_2} - a_2^{(3)} = \frac{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + a_2^{(5)} + 2a_3^{(5)} + a_4^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + c_3^{(5)} + 2c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = ((-0 - 22,22 - 33,33 + 22,22 + 66,66 + 55,55) / (-0 - 22,22 - 33,33 + 66,66 + 177,76 + 100)) * 100 = 26,92;$$

$$c_2^{(3)} = \frac{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + c_2^{(5)} + 2c_3^{(5)} + c_4^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 2a_2^{(5)} - a_3^{(5)} + c_3^{(5)} + 2c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = ((-0 - 22,22 - 33,33 + 44,44 + 133,32 + 88,88) / (-0 - 22,22 - 33,33 + 66,66 + 177,76 + 100)) * 100 = 73,07;$$

$$b_{12}^{(3)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{12}^{(5)} + 2b_{13}^{(5)} + b_{14}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{23}^{(5)} + 2b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 44,44 - 44,44 + 22,22 + 88,88 + 66,66) / (-0 - 44,44 - 44,44 + 55,55 + 155,54 + 99,99)) * 100 = 40;$$

$$b_{22}^{(3)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{22}^{(5)} + 2b_{23}^{(5)} + b_{24}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{23}^{(5)} + 2b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 44,44 - 44,44 + 33,33 + 111,11 + 77,77) / (-0 - 44,44 - 44,44 + 55,55 + 155,54 + 99,99)) * 100 = 60,$$

а для  $T_{DR_3} = (57,69; 80; 100; 100)_{LR}$ .

Если провести сравнение этих результатов и приведенных в таблице 4.4, взятой из [102], то можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований по понижению порядка. Графическая интерпретация полученных эталонов равномерно распределенных НЧ приведена на рис. 4.7.

Аналогичным образом реализуем понижение порядка на 3, т.е.  $n=3$ , тогда формулу (2.17) представим в виде:

$$DR^{(2)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}) = FT^{-3}(DR^{(5)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4}, T_{DR_5})), \quad (4.9)$$

а выражение (2.18), как:

$$DR^{(2)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2)) = FT^{-3}(DR^{(5)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4), (a_5, b_{15}, b_{25}, c_5))). \quad (4.10)$$

Таблица 4.4

Пример эталонных трапецевидных НЧ при  $m=3$

Тип распределения НЧ ЛП $DR$	НЧ $T_{DRj} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j=1,3)$		
	$T_{DR_1}$	$T_{DR_2}$	$T_{DR_3}$
Равномерное	$(0; 0; 20; 42,30)_{LR}$	$(26,92; 40; 60; 73,08)_{LR}$	$(57,69; 80; 100; 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0; 0; 20,93; 30,23)_{LR}$	$(48,84; 48,84; 67,44; 67,44)_{LR}$	$(86,05; 86,98; 100; 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0; 0; 12,67; 28,92)_{LR}$	$(16,38; 28,96; 48,87; 62,37)_{LR}$	$(44,25; 72,4; 100; 100)_{LR}$
Убывающее	$(0; 0; 27,6; 55,75)_{LR}$	$(37,63; 51,13; 71,04; 83,62)_{LR}$	$(71,08; 87,33; 100; 100)_{LR}$

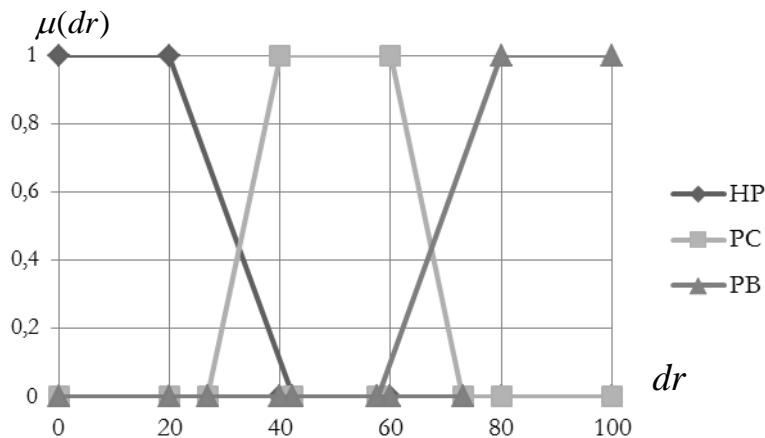


Рис. 4.7. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ

для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$

Аналогично, для реализации заданной функции воспользуемся аналитическими выражениями из работы [102]. С учетом осуществления преобразований при  $n = 3$  эти выражения можно представить в следующем виде:

для  $T_{DR_1}^{(m-3)}$  –

$$a_1^{(m-3)} = k_1^{(m-3)}(a_1^{(m-2)} + a_2^{(m-2)} - A^{(m-3)})/2,$$

$$c_1^{(m-3)} = k_1^{(m-3)}(c_1^{(m-2)} + c_2^{(m-2)} - A^{(m-3)})/2,$$

$$b_{11}^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_{11}^{(m-2)} + b_{12}^{(m-2)} - B^{(m-2)}) / 2,$$

$$b_{21}^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_{21}^{(m-2)} + b_{22}^{(m-2)} - B^{(m-2)}) / 2;$$

...

Для  $T_{DR_j}^{(m-3)}$  –

$$a_j^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (a_j^{(m-2)} + a_{j+1}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2,$$

$$c_j^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (c_j^{(m-2)} + c_{j+1}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2, \quad (4.11)$$

$$b_{1j}^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_{1j}^{(m-2)} + b_{1j+1}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2,$$

$$b_{2j}^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_{2j}^{(m-2)} + b_{2j+1}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2;$$

...

Для  $T_{DR_{m-3}}^{(m-3)}$  –

$$a_{m-3}^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (a_{m-3}^{(m-2)} + a_{m-2}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2,$$

$$c_{m-3}^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (c_{m-3}^{(m-2)} + c_{m-2}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2,$$

$$b_{1m-3}^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_{1m-3}^{(m-2)} + b_{1m-2}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2,$$

$$b_{2m-3}^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_{2m-3}^{(m-2)} + b_{2m-2}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2,$$

где  $k_1^{(m-3)} = 2c_{dr} / (c_{m-3}^{(m-2)} + c_{m-2}^{(m-2)} - A^{(m-3)})$ ;  $A^{(m-3)} = a_1^{(m-2)} + a_2^{(m-2)}$  ( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  –

количество термов;  $a_j, c_j$  – абсциссы нижнего основания трапеции);

$k_2^{(m-3)} = 2b_{dr} / (b_{2m-3}^{(m-2)} + b_{2m-2}^{(m-2)} - B^{(m-3)})$ ;  $B^{(m-3)} = b_{11}^{(m-2)} + b_{12}^{(m-2)}$  ( $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – абсцис-

сы верхнего основания трапеции, а  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов).

Для осуществления перехода от  $m$  термов к  $m-3$  выполним соответствующую подстановку в выражении (4.11) значений  $a_1^{(m-2)}, b_{11}^{(m-2)}, b_{21}^{(m-2)}, c_1^{(m-2)}$  и т.д., используя формулу (4.8). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

Для  $T_{DR_1}^{(m-3)}$  –

$$a_1^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_1^{(m)} + 3a_2^{(m)} + 3a_3^{(m)} + a_4^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$c_1^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_1^{(m)} + 3c_2^{(m)} + 3c_3^{(m)} + c_4^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$b_{11}^{(m-3)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{11}^{(m)} + 3b_{12}^{(m)} + 3b_{13}^{(m)} + b_{14}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr},$$

$$b_{21}^{(m-3)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{21}^{(m)} + 3b_{22}^{(m)} + 3b_{23}^{(m)} + b_{24}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr};$$

...

 $T_{DR_j}^{(m-3)} -$ 

$$a_j^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_j^{(m)} + 3a_{j+1}^{(m)} + 3a_{j+2}^{(m)} + a_{j+3}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$c_j^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_j^{(m)} + 3c_{j+1}^{(m)} + 3c_{j+2}^{(m)} + c_{j+3}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$b_{1j}^{(m-3)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{1j}^{(m)} + 3b_{1j+1}^{(m)} + 3b_{1j+2}^{(m)} + b_{1j+3}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \quad (4.12)$$

$$b_{2j}^{(m-3)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2j}^{(m)} + 3b_{2j+1}^{(m)} + 3b_{2j+2}^{(m)} + b_{2j+3}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr};$$

...

 $T_{DR_{m-3}}^{(m-3)} -$ 

$$a_{m-3}^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_{m-3}^{(m)} + 3a_{m-2}^{(m)} + 3a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$c_{m-3}^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$b_{1m-3}^{(m-3)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{1m-3}^{(m)} + 3b_{1m-2}^{(m)} + 3b_{1m-1}^{(m)} + b_{1m}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr},$$

$$b_{2m-3}^{(m-3)} = \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}.$$

( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – количество термов;  $a_j$ ,  $c_j$  – абсциссы нижнего основания;  $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_{1j}$  и  $b_{2j}$  – абсциссы верхнего основания трапеции).

Воспользуемся исходными данными из предыдущего примера и выполним, в соответствие с выражением (4.10), преобразование (4.12). В результате понижения количества термов ЛП на 3 порядка, получим, например, для  $DR^{(2)}$

следующие значения:  $T_{DR}^{(2)} = \bigcup_{j=1}^2 T_{DR_j} = \{ \text{«Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)} \}$ , числовые эквиваленты, которых интерпретируются как:

$$\text{для } T_{DR_1} \quad a_1^{(2)} = \frac{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + a_1^{(5)} + 3a_2^{(5)} + 3a_3^{(5)} + a_4^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + c_2^{(5)} + 3c_3^{(5)} + 3c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = ((-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 0 + 33,33 + 99,99 + 55,55) / (-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 44,44 + 199,98 + 266,64 + 100)) * 100 = 0;$$

$$c_1^{(2)} = \frac{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + c_1^{(5)} + 3c_2^{(5)} + 3c_3^{(5)} + c_4^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + c_2^{(5)} + 3c_3^{(5)} + 3c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = ((-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 22,22 + 133,32 + 199,98 + 88,88) / (-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 44,44 + 199,98 + 266,64 + 100)) * 100 = 60,52;$$

$$b_{11}^{(2)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{11}^{(5)} + 3b_{12}^{(5)} + 3b_{13}^{(5)} + b_{14}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{22}^{(5)} + 3b_{23}^{(5)} + 3b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 0 + 66,66 + 133,32 + 66,66) / (-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 33,33 + 166,65 + 233,31 + 100)) * 100 = 0;$$

$$b_{21}^{(2)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{21}^{(5)} + 3b_{22}^{(5)} + 3b_{23}^{(5)} + b_{24}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{22}^{(5)} + 3b_{23}^{(5)} + 3b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 11,11 + 99,99 + 166,65 + 88,88) / (-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 33,33 + 166,65 + 233,31 + 100)) * 100 = 33,33, \text{ а для } T_{DR_2} = (39,47; 66,67; 100; 100)_{LR}.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 4.8.

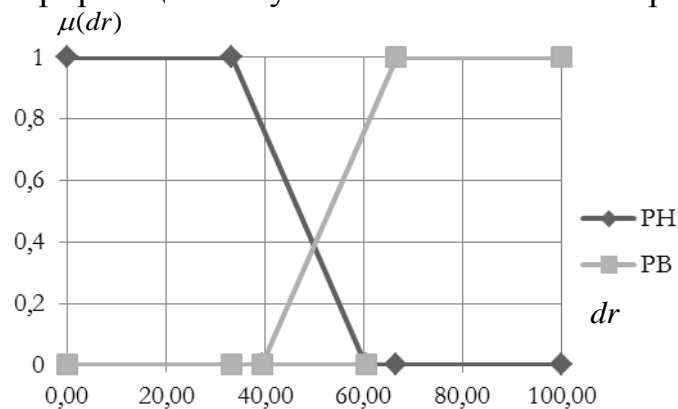


Рис. 4.8. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ

для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(2)}$ .

Б) Неравномерный тип распределения. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси  $dr$  НЧ со следующими значениями:  $T_{DR_1} = (0; 0; 0; 20)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (30; 30; 50; 50)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (60; 60; 65; 65)_{LR}$ ,  $T_{DR_4} = (75; 75; 85; 85)_{LR}$ ,  $T_{DR_5} = (95; 97; 100; 100)_{LR}$  (см. табл. 4.5). Для этого в соответствии с выражением (2.18) выполним преобразование (4.8).

Таблица 4.5

Пример эталонных трапециевидных НЧ при  $m=5$ 

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ TDR $j = (a_j, b1_j, b2_j, c_j)_{LR} (j=1,5)$				
Тип распределения НЧ ЛП DR	$T_{DR_1}$	$T_{DR_2}$	$T_{DR_3}$	$T_{DR_4}$	$T_{DR_5}$
Равномерное	$(0; 0; 11,11; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 22,22; 33,33; 44,44)_{LR}$	$(33,33; 44,44; 55,55; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 66,66; 77,77; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 88,88; 99,99; 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0; 0; 0; 20)_{LR}$	$(30; 30; 50; 50)_{LR}$	$(60; 60; 65; 65)_{LR}$	$(75; 75; 85; 85)_{LR}$	$(95; 97; 100; 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0; 0; 3; 8)_{LR}$	$(3; 8; 15; 24)_{LR}$	$(15; 24; 35; 48)_{LR}$	$(35; 48; 63; 80)_{LR}$	$(63; 80; 100; 100)_{LR}$
Убывающее	$(0; 0; 20; 37)_{LR}$	$(20; 37; 52; 65)_{LR}$	$(52; 65; 76; 85)_{LR}$	$(76; 85; 92; 97)_{LR}$	$(92; 97; 100; 100)_{LR}$

В результате для  $DR^{(3)}$  получим значения термов, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

$$\text{для } T_{DR_1} - a_1^{(3)} = 0; \quad c_1^{(3)} = 30,29; \quad b_{11}^{(3)} = 0; \quad b_{21}^{(3)} = 20,93,$$

$$T_{DR_2} = (48,84; 48,84; 67,44; 67,44)_{LR}, \quad T_{DR_3} = (86,05; 86,98; 100; 100)_{LR}.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов неравномерно распределенных НЧ приведена на рис. 4.9. При сравнении полученных результатов и приведенных в таблице 4.4, видно их полное совпадение. Исходя из этого, следует, что реализованные преобразования по понижению порядка являются корректными.

В) Возрастающий тип распределения.

Продemonстрируем работу представленного метода для НЧ, которые имеют возрастающий тип распределения по оси  $dr$  со следующими значениями:  $T_{DR_1} = (0; 0; 3; 8)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (3; 8; 15; 24)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (15; 24; 35; 48)_{LR}$ ,  $T_{DR_4} = (35; 48; 63; 80)_{LR}$ ,  $T_{DR_5} = (63; 80; 100; 100)_{LR}$  (см. табл. 4.5). Для этого выполним (в соответствии с выражением (2.18)) преобразование (4.8), в результате чего получим следующие значения НЧ с числовыми эквивалентами:  $T_{DR_1} = (0; 0;$

$12,67; 28,92)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (16,38; 28,96; 48,87; 62,37)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (44,25; 72,4; 100; 100)_{LR}$ . Графическая интерпретация полученных эталонов с возрастающим типом распределения НЧ приведена на рис. 4.10.

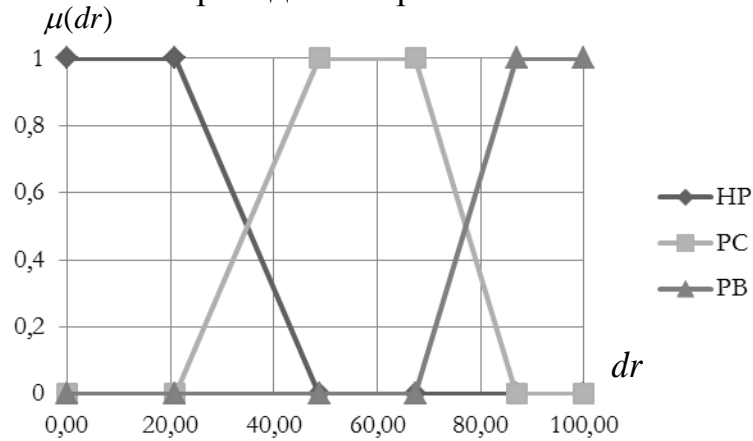


Рис. 4.9. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$ .

Г) Убывающий тип распределения.

Реализуем преобразования НЧ, которые имеют убывающий тип распределения по оси  $dr$  со следующими значениями:  $T_{DR_1} = (0; 0; 20; 37)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (20; 37; 52; 65)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (52; 65; 76; 85)_{LR}$ ,  $T_{DR_4} = (76; 85; 92; 97)_{LR}$ ,  $T_{DR_5} = (92; 97; 100; 100)_{LR}$  (см. табл. 4.5). Для этого вновь выполним преобразование (4.8) в соответствие с выражением (2.18). В результате получим следующие значения НЧ с числовыми эквивалентами:

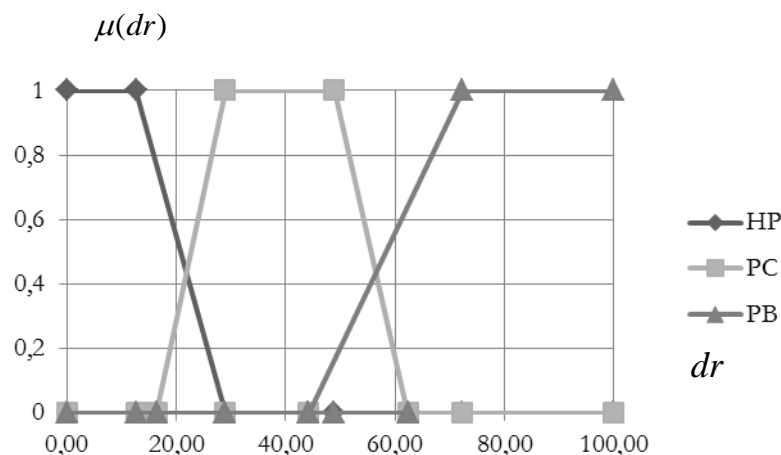


Рис. 4.10. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$ .

$$T_{DR_1} = (0; 0; 27,6; 55,75)_{LR}, \quad T_{DR_2} = (37,63; 51,13; 71,04; 83,62)_{LR},$$

$$T_{DR_3} = (71,08; 87,33; 100; 100)_{LR}.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов с убывающим типом распределения НЧ приведена на рис. 4.11.

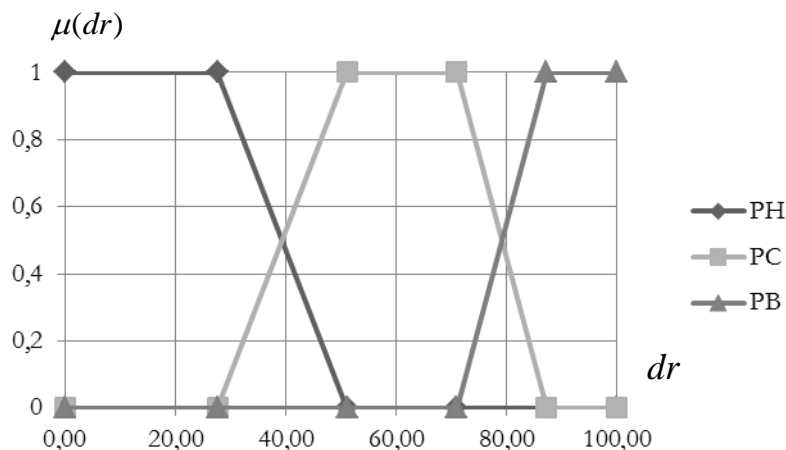


Рис. 4.11. Термы эталонных значений с убывающим распределением НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$ .

Как видно, метод  $n$ -кратного понижения числа термов, позволяет формализовать процесс эквивалентного трансформирования числа эталонных термов ЛП на  $n$ - порядков без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

Рассмотрим работу предложенного в п.2.4 метода понижения порядка лингвистических переменных на примерах различных типов распределений треугольных НЧ.

А) Равномерный тип распределения. Например, пусть для ЛП при  $m=5$  НЧ принимают значения:

$$T_{DR_1} = (0; 0; 22,22)_{LR}, \quad T_{DR_2} = (11,11; 25; 44,44)_{LR},$$

$$T_{DR_3} = (33,33; 50; 66,66)_{LR}, \quad T_{DR_4} = (55,55; 75; 88,88)_{LR}, \quad T_{DR_5} = (77,77; 100; 100)_{LR}.$$

Учитывая эти данные, а также формулы (2.22), выполним соответствующие преобразования, согласно выражению (2.20). В результате понижения количества термов ЛП на 2 порядка, получим, например, для  $DR^{(3)}$  сле-



дующие значения:  $T_{DR}^{(3)} = \bigcup_{j=1}^3 T_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),$

«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)  $\}$ , числовые эквиваленты которых для  $T_{DR_j}$  интерпретируются

как:  $a_1^{(3)} = 0, b_1^{(3)} = 0, c_1^{(3)} = 42,39,$

т.е.  $T_{DR_1} = (0; 0; 42,39)_{LR}$ , а  $T_{DR_2} = (26,92; 50; 73,08)_{LR}$  и  $T_{DR_3} = (57,69; 100; 100)_{LR}$ .

Если провести сравнение полученных результатов и приведенных в таблице 4.3, то можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований понижению порядка. Графическая интерпретация полученных эталонов равномерно распределенных треугольных НЧ приведена на рис. 4.12.

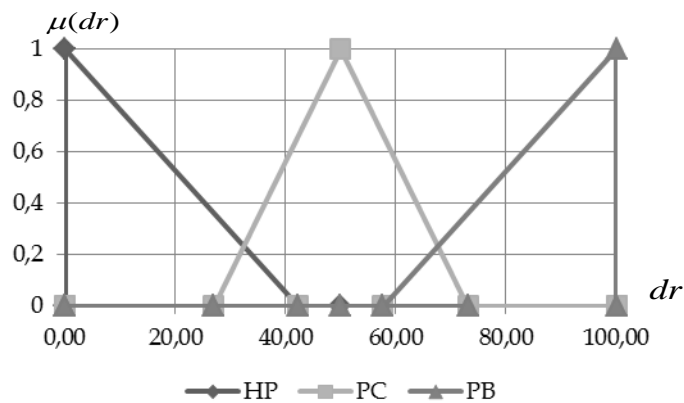


Рис. 4.12. Термы эталонных значений равномерно распределенных треугольных НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$

Аналогичным образом реализуем понижение на 3 порядка. Для реализации заданной функции воспользуемся выражениями (2.7-2.9). С учетом осуществления преобразования при  $n = 3$  эти выражения можно представить в следующем виде:

Для  $T_{DR_1}^{(m-3)}$  —

$$a_1^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (a_1^{(m-2)} + a_2^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2,$$

$$b_1^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_1^{(m-2)} + b_2^{(m-2)} - B^{(m-2)}) / 2,$$

$$c_1^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (c_1^{(m-2)} + c_2^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2;$$

...

Для  $T_{DR_j}^{(m-3)}$  —

$$\begin{aligned}
a_j^{(m-3)} &= k_1^{(m-3)} (a_j^{(m-2)} + a_{j+1}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2, \\
b_j^{(m-3)} &= k_2^{(m-3)} (b_j^{(m-2)} + b_{j+1}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2, \\
c_j^{(m-3)} &= k_1^{(m-3)} (c_j^{(m-2)} + c_{j+1}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2;
\end{aligned} \tag{4.13}$$

...

Для  $T_{DR_{m-3}}^{(m-3)}$  —

$$\begin{aligned}
a_{m-3}^{(m-3)} &= k_1^{(m-3)} (a_{m-3}^{(m-2)} + a_{m-2}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2, \\
b_{m-3}^{(m-3)} &= k_2^{(m-3)} (b_{m-3}^{(m-2)} + b_{m-2}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2, \\
c_{m-3}^{(m-3)} &= k_1^{(m-3)} (c_{m-3}^{(m-2)} + c_{m-2}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2,
\end{aligned}$$

где  $k_1^{(m-3)} = 2c_{dr} / (c_{m-3}^{(m-2)} + c_{m-2}^{(m-2)} - A^{(m-3)})$ ;

$A^{(m-3)} = a_1^{(m-2)} + a_2^{(m-2)}$  ( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  — количество термов;  $a_j, c_j$  — абсциссы нижнего основания);  $k_2^{(m-3)} = 2b_{dr} / (b_{m-3}^{(m-2)} + b_{m-2}^{(m-2)} - B^{(m-3)})$ ;

$B^{(m-3)} = b_1^{(m-2)} + b_2^{(m-2)}$  ( $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_j$  — абсцисса вершины треугольника, а  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  — количество термов).

Для осуществления перехода от  $m$  термов к  $m-3$  выполним соответствующую подстановку в выражение (4.13) значений  $a_1^{(m-2)}, b_1^{(m-2)}, c_1^{(m-2)}$  и т.д. (см. формулы (2.21)). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

Для  $T_{DR_1}^{(m-3)}$  —

$$\begin{aligned}
a_1^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_1^{(m)} + 3a_2^{(m)} + 3a_3^{(m)} + a_4^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_1^{(m-3)} &= \frac{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_1^{(m)} + 3b_2^{(m)} + 3b_3^{(m)} + b_4^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_{m-3}^{(m)} + 3b_{m-2}^{(m)} + 3b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr}, \\
c_1^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_1^{(m)} + 3c_2^{(m)} + 3c_3^{(m)} + c_4^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr};
\end{aligned}$$

...

$T_{DR_j}^{(m-3)}$  —

$$\begin{aligned}
a_j^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_j^{(m)} + 3a_{j+1}^{(m)} + 3a_{j+2}^{(m)} + a_{j+3}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_j^{(m-3)} &= \frac{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_j^{(m)} + 3b_{j+1}^{(m)} + 3b_{j+2}^{(m)} + b_{j+3}^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_{m-3}^{(m)} + 3b_{m-2}^{(m)} + 3b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr},
\end{aligned} \tag{4.14}$$

$$c_j^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_j^{(m)} + 3c_{j+1}^{(m)} + 3c_{j+2}^{(m)} + c_{j+3}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr};$$

$T_{DR_{m-3}}^{(m-3)}$  —

$$a_{m-3}^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_{m-3}^{(m)} + 3a_{m-2}^{(m)} + 3a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

$$b_{m-3}^{(m-3)} = \frac{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_{m-3}^{(m)} + 3b_{m-2}^{(m)} + 3b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_{m-3}^{(m)} + 3b_{m-2}^{(m)} + 3b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr},$$

$$c_{m-3}^{(m-3)} = \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr},$$

( $c_{dr} = dr_{\max}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  — количество термов;  $a_j, c_j$  — абсциссы нижнего основания;  $b_{dr} = dr_{\max}$ ;  $b_j$  — абсцисса вершины треугольника).

Воспользуемся исходными данными из предыдущего примера, выполним, в соответствии с выражением (2.20), преобразование (4.14). В результате понижения количества термов ЛП на 3 порядка, получим, например, для  $DR^{(2)}$  следующие значения:  $T_{DR}^{(2)} = \bigcup_{j=1}^2 T_{DR_j} = \{ \text{«Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН), «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)} \}$ , числовые эквиваленты которых для  $T_{DR_i}$  интерпретируются как  $a_1^{(2)} = 0, b_1^{(2)} = 0, c_1^{(m-3)} = 60,53$ , т.е.  $T_{DR_1} = (0; 0; 60,53)_{LR}$ , а  $T_{DR_2} = (39,47; 100; 100)_{LR}$ . Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 4.13.

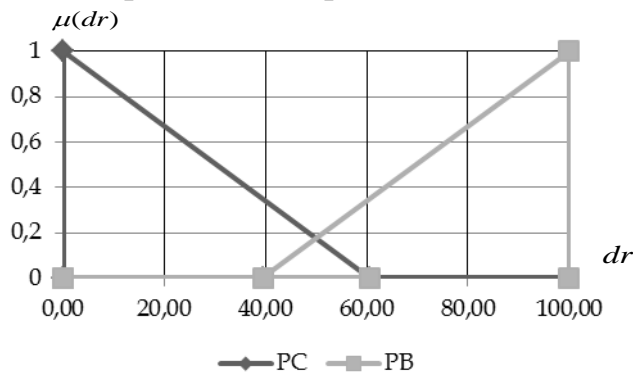


Рис.4.13. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(2)}$

Сравнение полученных результатов с данными, приведенными в таблице 4.3, показывает их полное совпадение. Исходя из этого, можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

Б) Неравномерный тип распределения. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределённых по оси  $dr$  треугольных НЧ со следующими значениями:

$$T_{DR_1} = (0; 0; 20)_{LR},$$

$$T_{DR_2} = (12; 27; 39)_{LR},$$

$$T_{DR_3} = (30; 52; 59)_{LR},$$

$$T_{DR_4} = (56; 74; 78)_{LR},$$

$T_{DR_5} = (70; 100; 100)_{LR}$  (см. таблицу 2.1). Для этого выполним, в соответствии с выражением (2.20), преобразование (2.22).

В результате для  $DR^{(3)}$  получим значения термов, числовые эквиваленты которых для  $T_{DR_i}$  интерпретируются как  $a_1^{(3)} = 0$ ,  $b_1^{(3)} = 0$ ,  $c_1^{(3)} = 39,46$ , т.е.  $T_{DR_1} = (0; 0; 39,46)_{LR}$ , а  $T_{DR_2} = (28,35; 51,03; 69,35)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (60,54; 100; 100)_{LR}$ . Графическая интерпретация полученных эталонов неравномерно распределённых НЧ приведена на рис. 4.14.

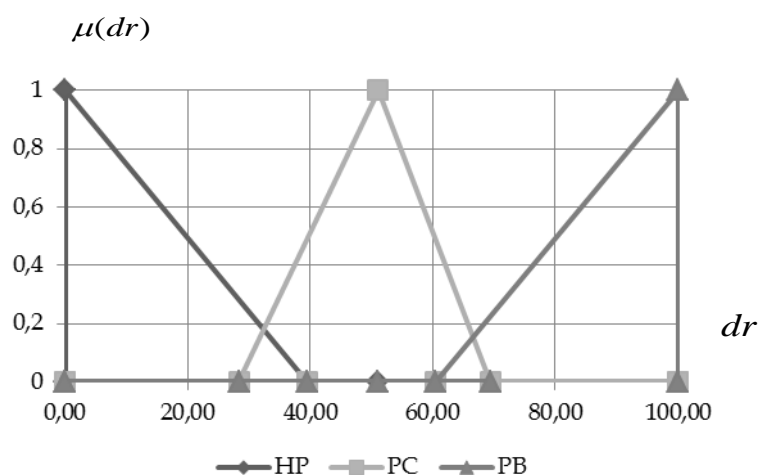


Рис. 4.14. Термы эталонных значений неравномерно распределённых НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$

При сравнении полученных результатов и приведенных в таблице 4.3, видно их полное совпадение. Исходя из этого, можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

В) Возрастающий тип распределения.

Покажем работу представленного метода для НЧ, которые имеют возрастающий тип распределения по оси  $dr$  со следующими значениями:  $T_{DR_1} = (0; 0; 10)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (5; 10; 25)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (20; 30; 45)_{LR}$ ,  $T_{DR_4} = (40; 60; 70)_{LR}$ ,  $T_{DR_5} = (65; 100; 100)_{LR}$  (см. таблицу 2.1). Для этого, в соответствие с выражением (2.20), вновь выполним преобразование (2.22). В результате получим следующие значения НЧ с числовыми эквивалентами –  $T_{DR_1} = (0; 0; 29,41)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (21,57; 40; 60,78)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (52,97; 100; 100)_{LR}$ . Графическая интерпретация полученных эталонов с возрастающим типом распределения НЧ приведена на рис. 4.15.

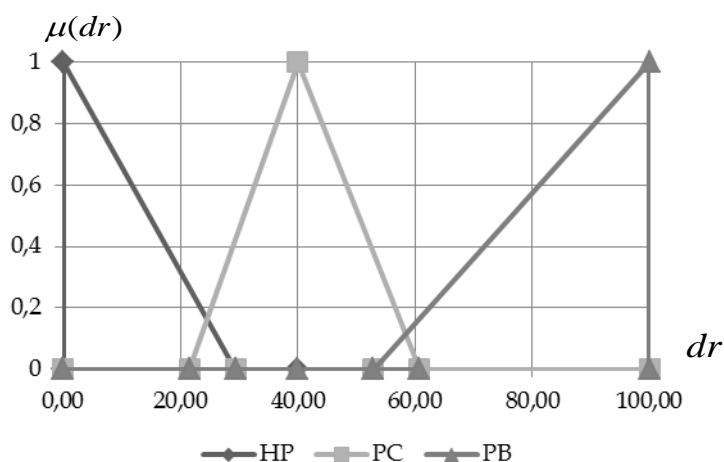


Рис. 4.15. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$ .

Г) Убывающий тип распределения.

Реализуем преобразования НЧ, которые имеют убывающий тип распределения по оси  $dr$  со следующими значениями:  $T_{DR_1} = (0; 0; 30)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (30; 40; 55)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (50; 70; 75)_{LR}$ ,  $T_{DR_4} = (75; 90; 90)_{LR}$ ,  $T_{DR_5} = (90; 100; 100)_{LR}$  (см. таблицу 2.1). Для этого, в соответствие с выражением (2.20), еще раз выполним преобразование (2.22). В результате получим следующие значения треугольных

НЧ с числовыми эквивалентами:  $T_{DR_1} = (0; 0; 41,67)_{LR}$ ,  $T_{DR_2} = (41,67; 60; 75)_{LR}$ ,  $T_{DR_3} = (75; 100; 100)_{LR}$ . Графическая интерпретация полученных эталонов с убывающим типом распределения НЧ приведена на рис. 4.16.

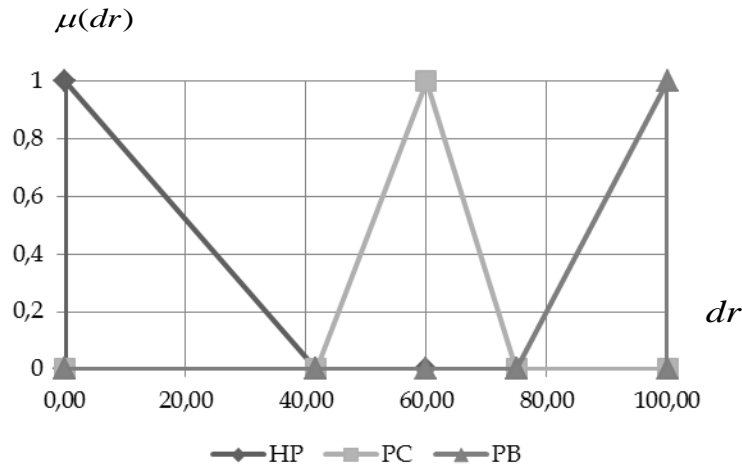


Рис. 4.16. Термы эталонных значений с убывающим распределением НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(3)}$ .

Сравнение полученных результатов для равномерного, неравномерного, возрастающего и убывающего типов распределений с данными, приведенными в таблице 4.3, показывает их полную идентичность, что говорит о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

### 4.2.3 Применение метода инкрементирования для различных типов распределений трапециевидных и треугольных нечетких чисел

Для иллюстрации работы метода, представленного в п.2.5, воспользуемся конкретным примером, где в качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные трапециевидные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при  $m=4$  (см. табл. 4.6).

С учетом этого выражение (2.25) принимает вид:

$$DR^{(5)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4}, T_{DR_5}) = FT^{+1}(DR^{(4)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4})), \quad (4.15)$$

где

$$\underline{\mathcal{T}}_{DR}^{(4)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 \underline{\mathcal{T}}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{\mathcal{T}}_{DR_1}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_2}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_3}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_4} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad j = \overline{1,4}, \quad (4.16)$$

HP - «Незначительный риск нарушения ИБ», PC - «Степень риска нарушения ИБ средняя», PB - «Степень риска нарушения ИБ высокая», PP - «Предельный риск нарушения ИБ» и

$$\underline{\mathcal{T}}_{DR}^{(5)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \underline{\mathcal{T}}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{\mathcal{T}}_{DR_1}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_2}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_3}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_4}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_5} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PH}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad (4.17)$$

HP - «Незначительный риск нарушения информационной безопасности (ИБ)», PH - «Степень риска нарушения ИБ низкая», PC - «Степень риска нарушения ИБ средняя», PB - «Степень риска нарушения ИБ высокая», PP - «Предельный риск нарушения ИБ». Как видно, при однократном инкрементировании переопределяются не только числовые, но и лингвистические эквиваленты. Как следует из (4.17), добавилось значение PH.

Таблица 4.6

Пример эталонных трапециевидных НЧ при  $m=4$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{\mathcal{T}}_{DR_j}, = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,4})$			
	$\underline{\mathcal{T}}_{DR_1}$	$\underline{\mathcal{T}}_{DR_2}$	$\underline{\mathcal{T}}_{DR_3}$	$\underline{\mathcal{T}}_{DR_4}$
Равномерный	$(0; 0; 14,29; 28,58)_{LR}$	$(14,29; 28,58; 42,87; 57,16)_{LR}$	$(42,87; 57,16; 71,45; 85,74)_{LR}$	$(71,45; 85,74; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 12,9; 38,71)_{LR}$	$(12,9; 38,71; 54,84; 67,74)_{LR}$	$(54,84; 67,74; 77,42; 90,32)_{LR}$	$(77,42; 91,61; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 6,45; 15,48)_{LR}$	$(6,45; 15,48; 27,1; 41,29)_{LR}$	$(27,1; 41,29; 58,06; 77,42)_{LR}$	$(58,06; 77,42; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 22,58; 41,94)_{LR}$	$(22,58; 41,94; 58,71; 72,9)_{LR}$	$(58,71; 72,9; 84,52; 93,55)_{LR}$	$(84,52; 93,55; 100; 100)_{LR}$

Поскольку трапециевидные НЧ, как уже отмечалось, удобно описывать в виде  $\underline{\mathcal{X}}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ , то выражение (2.25) представим в виде:

$$DR^{(5)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4), (a_5, b_{15}, b_{25}, c_5)) = FT^{+1}(DR^{(4)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4))). \quad (4.18)$$

Работу представленного метода рассмотрим на примере различных типов распределений трапециевидных нечетких чисел.

А) Равномерный тип распределения. Пусть ЛП  $DR^{(4)}$  определяется терминами в (4.16) Для определения числовых значений  $\underline{\mathcal{T}}_{DR_j}, j = \overline{1,4}$  воспользуемся данными

из табл. 4.6 с равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности:

$$\Omega_p = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} = b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} = b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (4.19)$$

где  $\Omega_p$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_p=1$  – условие истинно, в противном случае  $\Omega_p=0$  – ложно), а выражение со знаком « $\Rightarrow$ » используется для выполнения проверки на равенство или приблизительное равенство двух разностей, если оно истинно, то выражение эквивалентно логической единице, в противном случае – нулю [102]. Равномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП, все термы которых отражают одинаковое предпочтение эксперта относительно оценочного параметра [102]. Проведем проверку выполнения условия равномерности (4.19):

$$\begin{aligned} \Omega_p = & (b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} = b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{12} - \\ & b_{21} = b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} = b_{14} - b_{23}) = (14,29 - 0 = 42,87 - 28,58) \wedge (42,87 - \\ & 28,58 = 71,45 - 57,16) \wedge (71,45 - 57,16 = 100,03 - 85,74) \wedge (28,58 - 14,29 = \\ & 57,16 - 42,87) \wedge (57,16 - 42,87 = 85,74 - 71,45) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видно, условие равномерности истинно ( $\Omega_p=1$ ), то НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  соответствует равномерному типу распределения.

Для реализации функции (2.26) выполним однократное инкрементирование заданной в (4.18) ЛП  $DR^{(4)}$  с помощью выполнения необходимых этапов.

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (2.27) и (2.28) т.е.:

$$\begin{aligned} k_1^{(5)} = & (b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} + b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} + b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} + b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)}) / 4 = (14,29 - 0 + 42,87 - 28,58 + 71,45 - 57,16 \\ & + 100,03 - 85,74) / 4 = 14,29; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2^{(5)} = & (b_{12}^{(4)} - b_{21}^{(4)} + b_{13}^{(4)} - b_{22}^{(4)} + b_{14}^{(4)} - b_{23}^{(4)}) / 3 = (28,58 - 14,29 + 57,16 - 42,87 + 85,74 - 71,45) / 3 = \\ & 14,29; \end{aligned}$$

$$k^{(5)} = k_1^{(5)} + k_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58;$$



$$l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 = (14,29 - 0 + 43,87 - 28,58 + 71,45 - 57,16 + 100,03 - 85,74) / 4 = 14,29;$$

$$l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 = (28,58 - 14,29 + 57,16 - 42,87 + 85,74 - 71,45) / 3 = 14,29;$$

$$l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58.$$

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (2.29), т.е.:

$$x_1 = b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} = 14,29 - 0 = 14,29; \quad x_2 = b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} = 42,87 - 28,58 = 14,29;$$

$$x_3 = b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} = 71,45 - 57,16 = 14,29; \quad x_4 = b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)} = 100,03 - 85,74 = 14,29.$$

Как видно,  $s=1$  при  $(x_1 \leq k_1^{(5)} \leq x_2) \Rightarrow (14,29 \leq 14,29 \leq 14,29)$ ,  $s=2$  при  $(x_2 \leq k_1^{(5)} \leq x_3) \Rightarrow (14,29 \leq 14,29 \leq 14,29)$ , и т.д. Поскольку тип распределения НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и таким образом, в качестве  $s$  можно использовать любую из  $j$  ( $j=\overline{1,4}$ ). Исходя из этого, встраивание дополнительного терма осуществим, например, после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом  $I_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. Согласно выражениям (2.30) и (2.31), вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции т.е.:

$$b_{11}^{(5)'} = b_{11}^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 2;$$

$$b_{21}^{(5)'} = b_{21}^{(4)} = 14,29 \text{ при } 1 < 2;$$

$$b_{12}^{(5)'} = b_{21}^{(4)} + k_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58 \text{ при } 2 = 2;$$

$$b_{22}^{(5)'} = b_{12}^{(5)'} + k_1^{(5)} = 28,58 + 14,29 = 42,87 \text{ при } 2 = 2;$$

$$b_{13}^{(5)'} = b_{12}^{(4)} + k^{(5)} = 28,58 + 28,58 = 57,16 \text{ при } 3 > 2;$$

$$b_{23}^{(5)'} = b_{22}^{(4)} + k^{(5)} = 42,87 + 28,58 = 71,45 \text{ при } 3 > 2;$$

$$b_{14}^{(5)'} = b_{13}^{(4)} + k^{(5)} = 57,16 + 28,58 = 85,74 \text{ при } 4 > 2;$$

$$b_{24}^{(5)'} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)} = 71,45 + 28,58 = 100,03 \text{ при } 4 > 2;$$

$$b_{15}^{(5)'} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)} = 85,74 + 28,55 = 114,32 \text{ при } 5 > 2;$$

$$b_{25}^{(5)'} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)} = 100,03 + 28,58 = 128,61 \text{ при } 5 > 2.$$

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.:

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 3;$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 14,29 \text{ при } 2 < 3;$$

$$c_1^{(5)'} = a_2^{(4)} + l_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58 \text{ при } 1 = 1;$$

$$a_3^{(5)'} = c_1^{(4)} + l_1^{(5)} = 28,58 + 14,29 = 42,87 \text{ при } 3 = 3;$$

$$c_2^{(5)'} = c_1^{(4)} + l^{(5)} = 28,58 + 28,58 = 57,16 \text{ при } 2 > 1;$$

$$a_4^{(5)'} = a_3^{(4)} + l^{(5)} = 42,87 + 28,58 = 71,45 \text{ при } 4 > 3;$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 57,16 + 28,58 = 85,74 \text{ при } 3 > 1;$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 71,45 + 28,58 = 100,03 \text{ при } 5 > 3;$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 85,74 + 28,58 = 114,32 \text{ при } 4 > 1;$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 100,03 + 28,58 = 128,61 \text{ при } 5 > 1.$$

Этап 4. С помощью выражений (2.32)-(2.35) на основе двухшаговой последовательности (при  $b_{dr} = c_{dr} = 100$ ) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.32) и (2.33):

$$k_3^{(5)} = b_{dr} / b_{25}^{(5)'} = 100 / 128,61 = 0,78;$$

$$l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)'} = 100 / 128,61 = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (2.34) и (2.35):

$$b_{11}^{(5)} = b_{11}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0;$$

$$b_{21}^{(5)} = b_{21}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11;$$

$$b_{12}^{(5)} = b_{12}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 28,58 \times 0,78 = 22,22;$$

$$b_{22}^{(5)} = b_{22}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 42,87 \times 0,78 = 33,33;$$

$$b_{13}^{(5)} = b_{13}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 57,16 \times 0,78 = 44,44;$$

$$b_{23}^{(5)} = b_{23}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 71,45 \times 0,78 = 55,55;$$

$$b_{14}^{(5)} = b_{14}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 85,74 \times 0,78 = 66,66;$$

$$b_{24}^{(5)} = b_{24}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 100,03 \times 0,78 = 77,77;$$

$$b_{15}^{(5)} = b_{15}^{(5')} \times k_3^{(5)} = 114,32 \times 0,78 = 88,88;$$

$$b_{25}^{(5)} = b_{25}^{(5')} \times k_3^{(5)} = 128,61 \times 0,78 = 100;$$

$$a_1^{(5)} = a_1^{(5')} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0;$$

$$a_2^{(5)} = a_2^{(5')} \times l_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11;$$

$$a_3^{(5)} = a_3^{(5')} \times l_3^{(5)} = 42,87 \times 0,78 = 33,33;$$

$$a_4^{(5)} = a_4^{(5')} \times l_3^{(5)} = 71,45 \times 0,78 = 55,55;$$

$$a_5^{(5)} = a_5^{(5')} \times l_3^{(5)} = 100,03 \times 0,78 = 77,77;$$

$$c_1^{(5)} = c_1^{(5')} \times l_3^{(5)} = 28,58 \times 0,78 = 22,22;$$

$$c_2^{(5)} = c_2^{(5')} \times l_3^{(5)} = 57,16 \times 0,78 = 44,44;$$

$$c_3^{(5)} = c_3^{(5')} \times l_3^{(5)} = 85,74 \times 0,78 = 66,66;$$

$$c_4^{(5)} = c_4^{(5')} \times l_3^{(5)} = 114,32 \times 0,78 = 88,88;$$

$$c_5^{(5)} = c_5^{(5')} \times l_3^{(5)} = 128,61 \times 0,78 = 100.$$

В результате трансформирования термов ЛП получим, для  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$  лингвистические значения (4.18) с соответствующими числовыми эквивалентами, значения которых определены на шаге 2 этапа 4 и занесены в таблицу 4.7

Таблица 4.7.

#### Инкрементированные эталонные трапецевидные НЧ

ип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	$\underline{T}_{DR_1}$	$\underline{T}_{DR_2}$	$\underline{T}_{DR_3}$	$\underline{T}_{DR_4}$	$\underline{T}_{DR_5}$
<i>Равномерный</i>	(0; 0; 11,11; 22,22) <sub>LR</sub>	(11,11; 22,22; 33,33; 44,44) <sub>LR</sub>	(33,34; 44,44; 55,55; 66,66) <sub>LR</sub>	(55,55; 66,66; 77,77; 88,88) <sub>LR</sub>	(77,77; 88,88; 100; 100) <sub>LR</sub>
<i>Неравномерный</i>	(0; 0; 9,97; 29,91) <sub>LR</sub>	(9,97; 29,91; 42,38; 56) <sub>LR</sub>	(42,38; 56; 65,1; 75,07) <sub>LR</sub>	(65,1; 75,7; 82,55; 93,52) <sub>LR</sub>	(82,55; 93,52; 100; 100) <sub>LR</sub>
<i>Возрастающий</i>	(0; 0; 5,02; 12,04) <sub>LR</sub>	(5,02; 12,04; 21,08; 32,12) <sub>LR</sub>	(21,08; 32,12; 43,29; 54,33) <sub>LR</sub>	(43,29; 54,33; 67,37; 82,43) <sub>LR</sub>	(67,37; 82,43; 100; 100) <sub>LR</sub>
<i>Убывающий</i>	(0; 0; 17,57; 32,63) <sub>LR</sub>	(17,57; 32,63; 45,67; 56,71) <sub>LR</sub>	(45,67; 56,71; 67,88; 78,92) <sub>LR</sub>	(67,88; 78,92; 87,96; 94,98) <sub>LR</sub>	(87,96; 94,98; 100; 100) <sub>LR</sub>

Далее вычислим условие равномерности для  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ :

$$\Omega_p = (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) \wedge (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) \wedge (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) \wedge (77,77 - 66,66 = 100 - 88,88) \wedge (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) \wedge (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) \wedge (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1.$$

Как видим,  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ , также как и  $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ , имеет  $\Omega_p=1$ , что говорит об эквивалентности выполненных преобразований. Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов равномерно распределенных НЧ  $\underline{T}_{DR}^{(4)}$  и  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$  приведена на рис. 4.17.

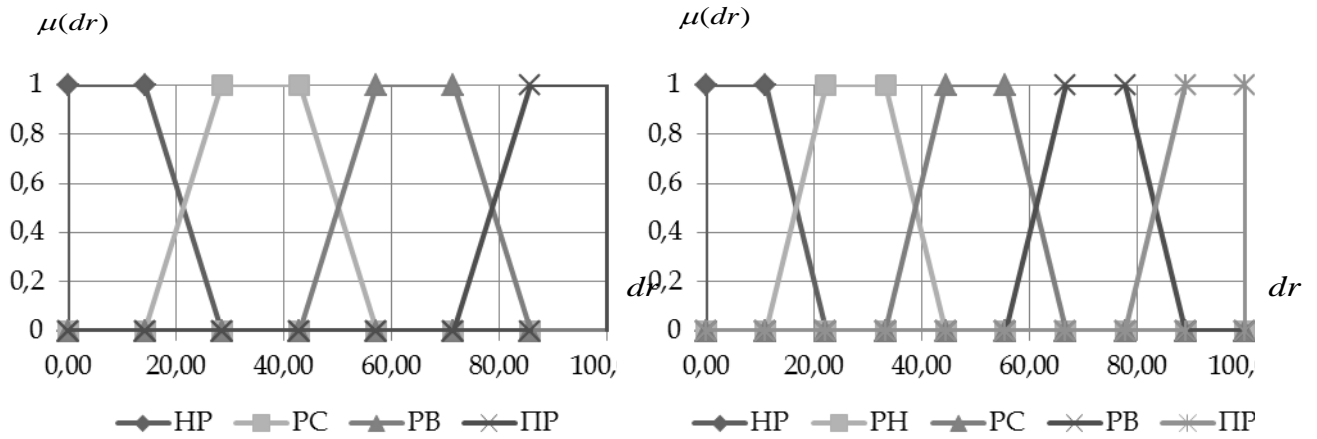


Рис. 4.17. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП  $DR$  при  $\underline{T}_{DR}^{(4)}$  и  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$

Б) Неравномерный тип распределения. Пусть ЛП  $DR^{(4)}$  также, как и в предыдущем случае, определяется термами в (4.16). Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси  $dr$  НЧ с их числовыми эквивалентами  $\underline{T}_{DR}$ ,  $j=\overline{1,4}$  из табл. 4.6, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности:

$$\Omega_H = \bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} \neq b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigvee_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} \neq b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (4.20)$$

где  $\Omega_H$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_H=1$  – условие истинно, в противном случае  $\Omega_H=0$  – ложно). Неравномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП, в которых хотя бы один терм отражает не одинаковое предпочтение эксперта относительно любого другого терма конкретного оценочного параметра [102]. Проведем проверку выполнения условия неравномерности (4.20):

$$\Omega_H = (b_{21} - b_{11} \neq b_{22} - b_{12}) \vee (b_{22} - b_{12} \neq b_{23} - b_{13}) \vee (b_{23} - b_{13} \neq b_{24} - b_{14}) + (b_{12} - b_{21} \neq b_{13} - b_{22}) \vee (b_{13} - b_{22} \neq b_{14} - b_{23}) = (12,9 - 0 \neq 54,84 - 38,71) \vee (54,84 - 38,71 \neq 77,42 - 67,74) \vee (77,42 - 67,74 \neq 100 - 91,61) + (38,71 - 12,9 \neq 67,74 - 54,84) \vee (67,74 - 54,84 \neq 91,61 - 77,42) = 1 \vee 1 \vee 1 + 1 \vee 1 = 1.$$

Как видим, условие неравномерности истинно ( $\Omega_H=1$ ), это говорит о соответствии НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  такому типу распределения, как неравномерный. Далее выполним, в соответствии с этапами 1-4, однократное инкрементирование ЛП  $DR^{(4)}$ , используя выражение (2.26).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.27) и (2.28), т.е.:

$$\begin{array}{lll} k_1^{(5)} = 11,78; & k_2^{(5)} = 17,63; & k^{(5)} = 29,41; \\ l_1^{(5)} = 11,78; & l_2^{(5)} = 17,63; & l^{(5)} = 29,41. \end{array}$$

Этап 2. Здесь осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (2.29), т.е.:  $x_1 = 12,9; \quad x_2 = 16,13; \quad x_3 = 9,68; \quad x_4 = 8,39$ , тогда  $s=2$  при  $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_3) \Rightarrow (16,13 \geq 11,78 \geq 9,68)$ . В этом примере встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. Реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции с помощью выражений (2.30) и (2.31), т.е.:

$$\begin{array}{llll} b_{11}^{(5')} = b_{11}^{(4)} = 0; & b_{21}^{(5')} = b_{21}^{(4)} = 12,9; & b_{12}^{(5')} = b_{12}^{(4)} = 38,71; & b_{22}^{(5')} = b_{22}^{(4)} = 54,84; \\ b_{13}^{(5')} = b_{22}^{(4)} + k_2^{(5)} = 72,47; & b_{23}^{(5')} = b_{13}^{(5')} + k_1^{(5)} = 84,25; & b_{14}^{(5')} = b_{13}^{(4)} + k^{(5)} = 97,15; & b_{24}^{(5')} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)} = 106,83; \\ b_{15}^{(5')} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)} = 121,02; & b_{25}^{(5')} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)} = 129,41; & a_1^{(5')} = a_1^{(4)} = 0; & a_2^{(5')} = a_2^{(4)} = 12,9; \\ a_3^{(5')} = a_3^{(4)} = 54,84; & a_4^{(5')} = c_2^{(5')} + l_1^{(5)} = 84,25; & a_5^{(5')} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 106,83, & c_1^{(5')} = c_1^{(4)} = 29,91; \\ c_2^{(5')} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 72,47; & c_3^{(5')} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 97,15; & c_4^{(5')} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 121,02; & c_5^{(5')} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 129,41. \end{array}$$

Этап 4. С помощью выражений (2.32)-(2.35) в 2 шага осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью формул (2.32) и (2.33):  $k_3^{(5)} = 0,77; \quad l_3^{(5)} = 0,77$ .

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно выражениям (2.34) и (2.35), т.е.:

$$\begin{array}{ccccc}
b_{11}^{(5)} = 0; & b_{21}^{(5)} = 9,97; & b_{12}^{(5)} = 29,91; & b_{22}^{(5)} = 42,38; & b_{13}^{(5)} = 56; \\
b_{23}^{(5)} = 65,1; & b_{14}^{(5)} = 75,07; & b_{24}^{(5)} = 82,55; & b_{15}^{(5)} = 93,52; & b_{25}^{(5)} = 100; \\
a_1^{(5)} = 0; & a_2^{(5)} = 9,97; & a_3^{(5)} = 42,38; & a_4^{(5)} = 65,1; & a_5^{(5)} = 82,55; \\
c_1^{(5)} = 29,91; & c_2^{(5)} = 56; & c_3^{(5)} = 75,07; & c_4^{(5)} = 93,52; & c_5^{(5)} = 100.
\end{array}$$

В результате однократного инкрементирования получим, например, для  $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$  значения термов (4.18), а их числовые эквиваленты отобразим в табл.4.7.

После проведенных преобразований вычислим  $\Omega_H$  для  $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$ :  $\Omega_H = (9,97 - 0 \neq 42,38 - 29,91) \vee (42,38 - 29,91 \neq 65,1 - 56) \vee (65,1 - 56 \neq 82,55 - 75,07) \vee (82,55 - 75,07 \neq 100 - 93,52) + (29,91 - 9,97 \neq 56 - 42,38) \vee (56 - 42,38 \neq 75,07 - 65,1) \vee (75,07 - 65,1 \neq 93,52 - 82,54) = 1$ . Условие неравномерности  $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$ , так же как и  $\mathcal{I}_{DR}^{(4)}$ , является истинно  $\Omega_H = 1$ , что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ  $\mathcal{I}_{DR}^{(4)}$  и  $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$  приведена на рис.4.18.

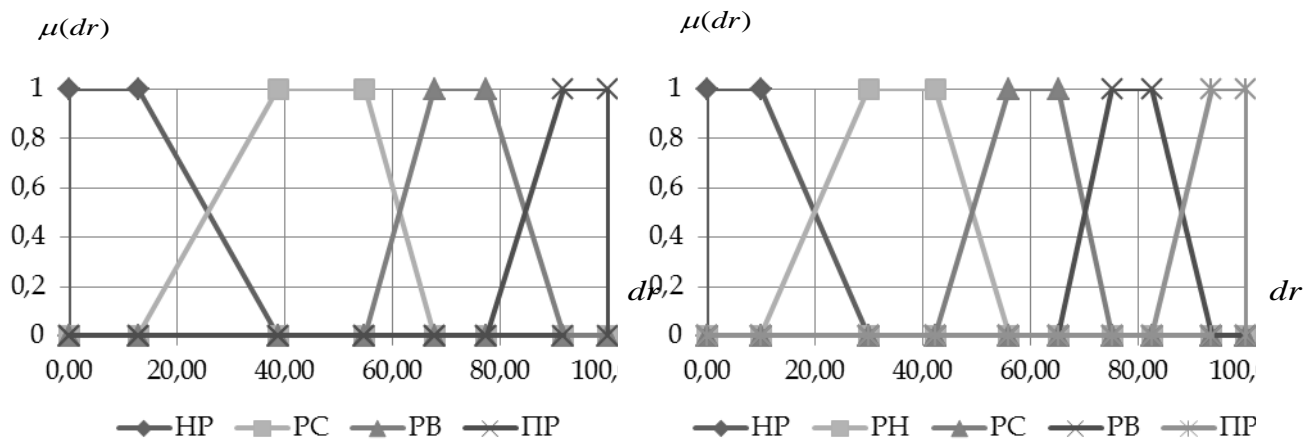


Рис. 4.18. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ

для ЛП  $DR$  при  $\mathcal{I}_{DR}^{(4)}$  и  $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$

В) Возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП  $DR^{(4)}$  с термами (4.16), числовые значения которых  $\mathcal{I}_{DR_j}, (j = \overline{1,4})$  из

табл. 4.6 имеют возрастающий тип распределения по оси  $dr$ , т.е. для которого истинным является условие возрастания:

$$\Omega_g = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} > b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} > b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (4.21)$$

где  $\Omega_g$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_g=1$  – условие истинно, в противном случае  $\Omega_g=0$  – ложно) [102]. Проведем проверку выполнения условия возрастания (4.21):

$\Omega_g = (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23}) = (6,45 - 0 < 27,1 - 15,48) \wedge (27,1 - 15,48 < 58,06 - 41,29) \wedge (58,06 - 41,29 < 100 - 77,42) \wedge (15,48 - 6,45 < 41,29 - 27,1) \wedge (41,29 - 27,1 < 77,42 - 58,06) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как видно, условие  $\Omega_g=1$  истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределённых НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 преобразования.

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.27) и (2.28), т.е.:

$$k_1^{(5)} = 14,36; \quad k_2^{(5)} = 14,19; \quad k^{(5)} = 28,55;$$

$$l_1^{(5)} = 14,36; \quad l_2^{(5)} = 14,19; \quad l^{(5)} = 28,55.$$

Этап 2. Теперь определим номер расширяющей вершины по формуле (2.29), т.е.:  $x_1 = 6,45; x_2 = 11,62; x_3 = 16,77; x_4 = 22,58$ ,

тогда  $s=2$  при  $(x_2 \leq k_1^{(5)} \leq x_3) \Rightarrow (11,62 \leq 14,36 \leq 16,77)$ . Здесь встраивание дополнительного термина будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. С помощью выражений (2.30) и (2.31), реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, т.е.:

$$\begin{array}{lllll} b_{11}^{(5')} = 0; & b_{21}^{(5')} = 6,45; & b_{12}^{(5')} = 15,48; & b_{22}^{(5')} = 27,1; & b_{13}^{(5')} = 41,29; \\ b_{23}^{(5')} = 55,65; & b_{14}^{(5')} = 69,84; & b_{24}^{(5')} = 86,61; & b_{15}^{(5')} = 105,97; & b_{25}^{(5')} = 128,55; \\ a_1^{(5')} = 0; & a_2^{(5')} = 6,45; & a_3^{(5')} = 27,1; & a_4^{(5')} = 55,65; & a_5^{(5')} = 86,61, \\ c_1^{(5')} = 15,48; & c_2^{(5')} = 41,29; & c_3^{(5')} = 69,84; & c_4^{(5')} = 105,97; & c_5^{(5')} = 128,55. \end{array}$$

Этап 4. После нормируем полученные результаты с помощью выражений (2.32)-(2.35) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (2.32) и (2.33)):

$$k_3^{(5)} = 0,78;$$

$$l_3^{(5)} = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (2.34) и (2.35)):

$$b_{11}^{(5)} = 0; \quad b_{21}^{(5)} = 5,02; \quad b_{12}^{(5)} = 12,04; \quad b_{22}^{(5)} = 21,08; \quad b_{13}^{(5)} = 32,12;$$

$$b_{23}^{(5)} = 43,29; \quad b_{14}^{(5)} = 54,33; \quad b_{24}^{(5)} = 67,37; \quad b_{15}^{(5)} = 82,43; \quad b_{25}^{(5)} = 100;$$

$$a_1^{(5)} = 0; \quad a_2^{(5)} = 5,02; \quad a_3^{(5)} = 21,08; \quad a_4^{(5)} = 43,29; \quad a_5^{(5)} = 67,37;$$

$$c_1^{(5)} = 12,04; \quad c_2^{(5)} = 32,12; \quad c_3^{(5)} = 54,33; \quad c_4^{(5)} = 82,43; \quad c_5^{(5)} = 100.$$

В результате чего для  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$  (см. (4.17)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицу 4.7.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов представлена на рис. 4.19).

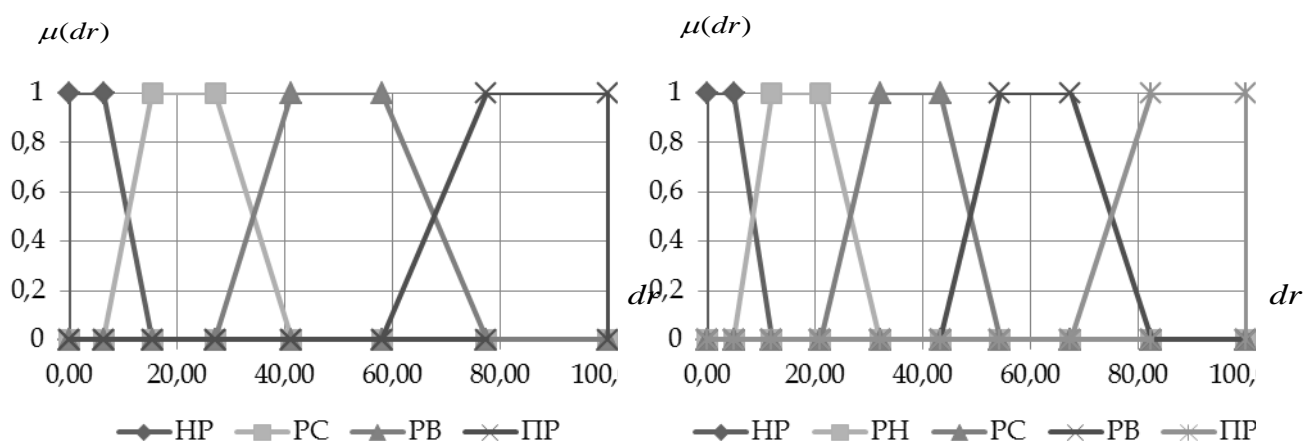


Рис. 4.19 Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения

НЧ для ЛП  $DR$  при  $\underline{T}_{DR}^{(4)}$  и  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$

Далее проверим условие возрастания для  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ :  $\Omega_g = (5,02 - 0 < 21,08 - 12,04) \wedge (21,08 - 12,04 < 43,29 - 32,12) \wedge (43,29 - 32,12 < 67,37 - 54,33) \wedge (67,37 - 54,33 < 100 - 82,43) \wedge (12,04 - 5,02 < 32,12 - 21,08) \wedge (32,12 - 21,08 < 54,33 - 43,29) \wedge (54,33 - 43,29 < 82,43 - 67,37) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как



видим, значения  $\Omega_g=1$  для  $T_{DR}^{(5)}$  является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Г) Убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП  $DR^{(4)}$ , которые принимают значения (4.16) с их числовыми эквивалентами из табл. 4.6 и имеют убывающий тип распределения по оси  $dr$ , т.е. для которых истинным является условие убывания:

$$\Omega_y = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} < b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} < b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (4.22)$$

где  $\Omega_y$  – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при  $\Omega_y=1$  – условие истинно, в противном случае  $\Omega_y=0$  – ложно) [102]. Проведем проверку выполнения условия убывания (4.22):

$\Omega_y = (b_{21} - b_{11} > b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} > b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} > b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} > b_{14} - b_{23}) = (22,58 - 0 > 58,71 - 41,94) \wedge (58,71 - 41,94 > 84,52 - 72,9) \wedge (84,52 - 72,9 > 100 - 93,55) \wedge (41,94 - 22,58 > 72,9 - 58,71) \wedge (72,9 - 58,71 > 93,55 - 84,52) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как видим, условие  $\Omega_y=1$  истинно, значит НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствии с этапами 1-4 однократное инкрементирование (2.26) ЛП  $DR^{(4)}$ .

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (2.27) и (2.28), т.е.:

$$k_1^{(5)} = 14,36; \quad k_2^{(5)} = 14,19; \quad k^{(5)} = 28,55; \quad l_1^{(5)} = 14,36; \quad l_2^{(5)} = 14,19; \quad l^{(5)} = 28,55.$$

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по формуле (2.29), т.е.:

$x_1 = 22,58; \quad x_2 = 16,77; \quad x_3 = 11,62; \quad x_4 = 6,45$ , тогда  $s=2$  при  $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_3) \Rightarrow (16,77 \geq 14,36 \geq 11,62)$ . В этом примере так же, как при неравномерном типе распределения, встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. Вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции с помощью выражений (2.30) и (2.31), т.е.:

$$\begin{aligned} b_{11}^{(5')} &= 0; & b_{21}^{(5')} &= 22,58; & b_{12}^{(5')} &= 41,94; & b_{22}^{(5')} &= 58,71; & b_{13}^{(5')} &= 72,9; \\ b_{23}^{(5')} &= 87,26; & b_{14}^{(5')} &= 101,45; & b_{24}^{(5')} &= 113,07; & b_{15}^{(5')} &= 122,1; & b_{25}^{(5')} &= 128,55; \\ a_1^{(5')} &= 0; & a_2^{(5')} &= 22,58; & a_3^{(5')} &= 58,71; & a_4^{(5')} &= 87,26; & a_5^{(5')} &= 113,07, \\ c_1^{(5')} &= 41,94; & c_2^{(5')} &= 72,9; & c_3^{(5')} &= 101,45; & c_4^{(5')} &= 122,1; & c_5^{(5')} &= 128,55. \end{aligned}$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью выражений (2.32)-(2.35) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.32) и (2.33):  $k_3^{(5)} = 0,78$ ;  $l_3^{(5)} = 0,78$ .

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью формул (2.34) и (2.35):

$$\begin{aligned} b_{11}^{(5)} &= 0; & b_{21}^{(5)} &= 17,57; & b_{12}^{(5)} &= 32,63; & b_{22}^{(5)} &= 45,67; & b_{13}^{(5)} &= 56,71; \\ b_{23}^{(5)} &= 67,88; & b_{14}^{(5)} &= 78,92; & b_{24}^{(5)} &= 87,96; & b_{15}^{(5)} &= 94,98; & b_{25}^{(5)} &= 100; \\ a_1^{(5)} &= 0; & a_2^{(5)} &= 17,57; & a_3^{(5)} &= 45,67; & a_4^{(5)} &= 67,88; & a_5^{(5)} &= 87,96; \\ c_1^{(5)} &= 32,63; & c_2^{(5)} &= 56,71; & c_3^{(5)} &= 78,92; & c_4^{(5)} &= 94,98; & c_5^{(5)} &= 100. \end{aligned}$$

В результате чего для  $\underline{I}_{DR}^{(5)}$  (см. (4.17)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицу 4.7. Графическая интерпретация представлена на рис. 4.20.

Проверим условие убывания для  $\underline{I}_{DR}^{(5)}$ :  $\Omega_y = (17,57 - 0 > 45,67 - 32,63) \wedge (45,67 - 32,63 > 67,88 - 56,71) \wedge (67,88 - 56,71 > 87,96 - 78,92) \wedge (87,96 - 78,92 > 100 - 94,98) \wedge (32,63 - 17,57 > 56,71 - 45,67) \wedge (56,71 - 45,67 > 78,92 - 67,88) \wedge (78,92 - 67,88 > 94,98 - 87,96) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Видно, как для  $\underline{I}_{DR}^{(5)}$ , так и для  $\underline{I}_{DR}^{(4)}$  значения  $\Omega_y = 1$  являются истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Таким образом, представленный метод реализации функции трансформирования эталонов ЛП позволяет повысить эффективность работы системы АОР ИБ. Это осуществляется посредством решения задачи инкрементирования числа термов трапециевидных НЧ без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

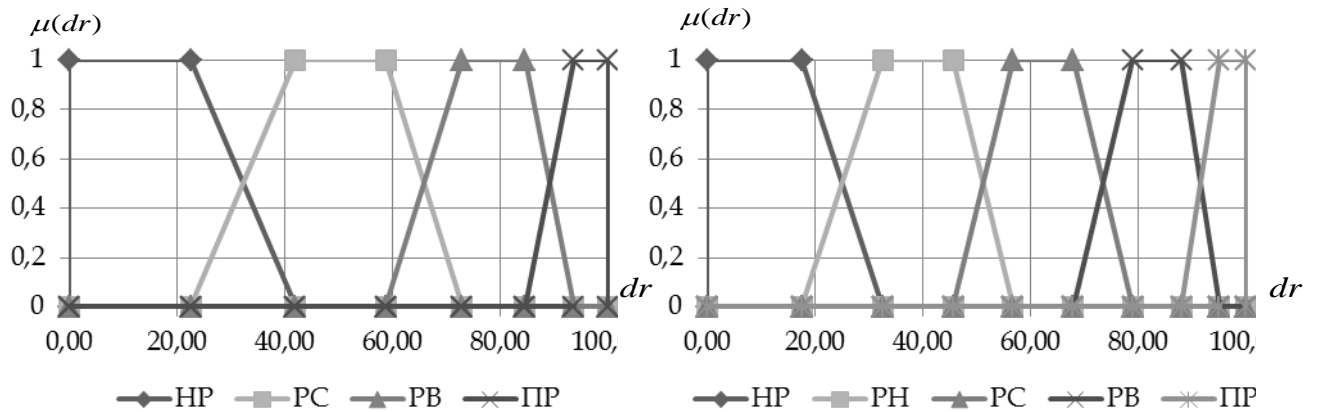


Рис. 4.20. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ для ЛП  $DR$  при  $\underline{T}_{DR}^{(4)}$  и  $\underline{T}_{DR}^{(5)}$

Для иллюстрации работы метода, представленного в п.2.6, воспользуемся конкретным примером, где в качестве исходных данных, будем использовать эталонные треугольные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при  $m=4$  (см. табл. 4.8).

Таблица 4.8

Эталонные треугольные НЧ с различным типом распределения при  $m=4$

Тип распределения НЧ ЛП $DR$	НЧ $\underline{T}_{DR_j}, = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,4})$			
	$\underline{T}_{DR_1}$	$\underline{T}_{DR_2}$	$\underline{T}_{DR_3}$	$\underline{T}_{DR_4}$
Равномерный	$(0; 0; 25)_{LR}$	$(8,3; 33,3; 58,3)_{LR}$	$(41,7; 66,6; 91,7)_{LR}$	$(75; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 39)_{LR}$	$(10; 22; 70)_{LR}$	$(45; 66; 92)_{LR}$	$(78; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 15,48)_{LR}$	$(5; 5; 41,29)_{LR}$	$(18; 20; 77,42)_{LR}$	$(52; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 41,94)_{LR}$	$(22,58; 60; 72,9)_{LR}$	$(58,71; 90; 93,55)_{LR}$	$(84,52; 100; 100)_{LR}$

С учетом этого выражение (2.36) принимает вид:

$$DR^{(5)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5}) = FT^{+1}(DR^{(4)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4})), \quad (4.23)$$

где 
$$\underline{T}_{DR}^{(4)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 \underline{T}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad (4.24)$$

а HP - «Незначительный риск нарушения ИБ», PC - «Степень риска нарушения ИБ средняя», PB - «Степень риска нарушения ИБ высокая», PP - «Пределный риск нарушения ИБ» и

$$\underline{T}_{DR}^{(5)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \underline{T}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PH}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad (4.25)$$

а НР - «Незначительный риск нарушения информационной безопасности (ИБ)», РН - «Степень риска нарушения ИБ низкая», РС - «Степень риска нарушения ИБ средняя», РВ - «Степень риска нарушения ИБ высокая», ПР - «Предельный риск нарушения ИБ». Как видно, при однократном инкрементировании переопределяются не только числовые, а и лингвистические эквиваленты. Из (4.25) следует также, что добавилось значение РН.

Так, как треугольные НЧ удобно описывать в виде  $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR}$ , где  $a_j$ ,  $c_j$  и  $b_j$  соответственно абсциссы нижних и верхних оснований при  $j = \overline{1, m}$ , то выражение (2.36) представим в виде:

$$DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5)) = FT^{+1}(DR^{(4)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4))). \quad (4.26)$$

А) Равномерный тип распределения. Пусть ЛП  $DR^{(4)}$  задается термами из (4.24). Для определения числовых значений  $\underline{T}_{DR_j}$  ( $j = \overline{1, 4}$ ) воспользуемся данными из табл. 4.8 с равномерным типом распределения НЧ, для которых будет истинным условие равномерности (см.(4.1), т.е.:  $\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 = b_4 - b_3) = (33,33 - 0 = 66,66 - 33,33) \wedge (66,66 - 33,33 = 99,99 - 66,66) = 1 \wedge 1 = 1$ . Как видно,  $\Omega_p = 1$ , следовательно, НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  соответствуют равномерному типу распределения.

Для реализации функции (2.36), посредством необходимых этапов разработанного метода, выполним однократное инкрементирование заданной в (4.26) ЛП  $DR^{(4)}$ .

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (2.37)-(2.39), тогда:

$$k_1^{(5)} = b_{dr} / 3 = 100/3 = 33,33;$$

$$l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 = (8,3 - 0 + 41,7 - 25 + 75 - 58,3 + 100 - 91,7) / 4 = 12,5;$$

$$l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 = (25 - 8,3 + 58,3 - 41,7 + 91,7 - 75) / 3 = 16,67;$$

$$l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 12,5 + 16,67 = 29,17.$$

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (2.40), т.е.:

$$x_1 = b_2^{(4)} - b_1^{(4)} = 33,33 - 0 = 33,33;$$

$$x_2 = b_3^{(4)} - b_2^{(4)} = 66,66 - 33,33 = 33,33;$$

$$x_3 = b_4^{(4)} - b_3^{(4)} = 99,99 - 66,66 = 33,33.$$

Как видно,  $s=1+1=2$  при  $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 33,33)$ ;  $s=2+1=3$

при  $(x_3 \geq k_1^{(5)} \geq x_2) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 33,33)$ , и т.д. Поскольку тип распределе-

ния НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и таким образом, в качестве  $s$  можно использовать любую из  $j$  ( $j = \overline{1,3}$ ). Исходя из этого,

встраивание дополнительного терма осуществим, например, после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. Согласно (2.41) и (2.42), вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ т.е.:

$$b_1^{(5)'} = b_1^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 2;$$

$$b_2^{(5)'} = b_2^{(4)} = 33,33 \text{ при } 2 = 2;$$

$$b_3^{(5)'} = b_2^{(4)} + k_1^{(5)} = 33,33 + 33,33 = 66,66 \text{ при } 3 > 2;$$

$$b_4^{(5)'} = b_3^{(4)} + k_1^{(5)} = 66,66 + 33,33 = 99,99 \text{ при } 4 > 2;$$

$$b_5^{(5)'} = b_4^{(4)} + k_1^{(5)} = 99,99 + 33,33 = 133,32 \text{ при } 5 > 2.$$

Таким образом, определены абсциссы верхнего основания и аналогично вычислим для нижнего основания, т.е.:

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 4;$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 8,33 \text{ при } 2 < 4;$$

$$c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 25 \text{ при } 1 < 2;$$

$$a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 41,66 \text{ при } 3 < 4;$$

$$c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 41,66 + 16,67 = 58,33 \text{ при } 2 = 2;$$

$$a_4^{(5)'} = c_2^{(4)} + l_1^{(5)} = 58,33 + 12,5 = 70,83 \text{ при } 4 = 4;$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 58,33 + 29,17 = 87,50 \text{ при } 3 > 2;$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 75 + 29,17 = 104,16 \text{ при } 5 > 4;$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 91,7 + 29,17 = 120,83 \text{ при } 4 > 2;$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 100 + 29,17 = 129,16 \text{ при } 5 > 2.$$

Этап 4. С помощью выражений (2.43)-(2.46) на основе двухшаговой последовательности (при  $b_{dr} = c_{dr} = 100$ ) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты, используя выражения (2.43) и (2.44), т.е.:

$$k^{(5)} = b_{dr} / b_5^{(5)'} = 100 / 133,32 = 0,75; \quad l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)'} = 100 / 129,16 = 0,77.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (2.45) и (2.46), т.е.:

$$b_1^{(5)} = b_1^{(5)'} \times k^{(5)} = 0 \times 0,75 = 0;$$

$$b_2^{(5)} = b_2^{(5)'} \times k^{(5)} = 33,33 \times 0,75 = 25;$$

$$b_3^{(5)} = b_3^{(5)'} \times k^{(5)} = 66,66 \times 0,75 = 50;$$

$$b_4^{(5)} = b_4^{(5)'} \times k^{(5)} = 99,99 \times 0,75 = 75;$$

$$b_5^{(5)} = b_5^{(5)'} \times k^{(5)} = 133,32 \times 0,75 = 100;$$

$$a_1^{(5)} = a_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,77 = 0;$$

$$a_2^{(5)} = a_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 8,33 \times 0,77 = 6,45;$$

$$a_3^{(5)} = a_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 41,66 \times 0,77 = 32,26;$$

$$a_4^{(5)} = a_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 70,83 \times 0,77 = 54,84;$$

$$a_5^{(5)} = a_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 104,16 \times 0,77 = 80,65;$$

$$c_1^{(5)} = c_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 25 \times 0,77 = 19,35;$$

$$c_2^{(5)} = c_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 58,33 \times 0,77 = 45,16;$$

$$c_3^{(5)} = c_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 87,5 \times 0,77 = 67,74;$$

$$c_4^{(5)} = c_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 120,83 \times 0,77 = 93,55;$$

$$c_5^{(5)} = c_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 129,16 \times 0,77 = 100.$$

В результате инкрементирования порядка исходной ЛП (4.24) получим, например,  $T_{DR}^{(5)}$  с лингвистическими значениями в (4.25) и соответствующими числовыми эквивалентами, значения которых определяются на шаге 2 этапа 4. Результирующие значения, полученные в процессе вычисления, внесены в табл. 4.9.

Далее вычислим условие равномерности для  $T_{DR}^{(5)} : \Omega_p = (25 - 0 = 50 - 25) \wedge (50 - 25 = 75 - 50) \wedge (75 - 50 = 100 - 75) = 1.$

Как видно,  $T_{DR}^{(5)}$  так же, как и  $T_{DR}^{(4)}$  имеет  $\Omega_p = 1$ , что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Таблица 4.9

Инкрементированные эталонные треугольные НЧ

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	$T_{DR_1}$	$T_{DR_2}$	$T_{DR_3}$	$T_{DR_4}$	$T_{DR_5}$
Равномерный	$(0; 0; 19,35)_{LR}$	$(6,45; 25; 45,16)_{LR}$	$(32,26; 50; 67,74)_{LR}$	$(54,84; 75; 93,55)_{LR}$	$(80,65; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 29,85)_{LR}$	$(7,65; 16,5; 51,79)_{LR}$	$(34,44; 41,5; 77,04)_{LR}$	$(57,91; 74,5; 93,88)_{LR}$	$(83,16; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 11,91)_{LR}$	$(3,85; 3,75; 31,78)_{LR}$	$(13,85; 15; 55,21)_{LR}$	$(40,02; 40; 82,62)_{LR}$	$(67,44; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 32,63)_{LR}$	$(17,57; 45; 56,71)_{LR}$	$(45,67; 70; 78,92)_{LR}$	$(67,88; 92,5; 94,98)_{LR}$	$(87,96; 100; 100)_{LR}$

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов равномерно распределенных НЧ  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(5)}$  приведена на рис. 4.21.

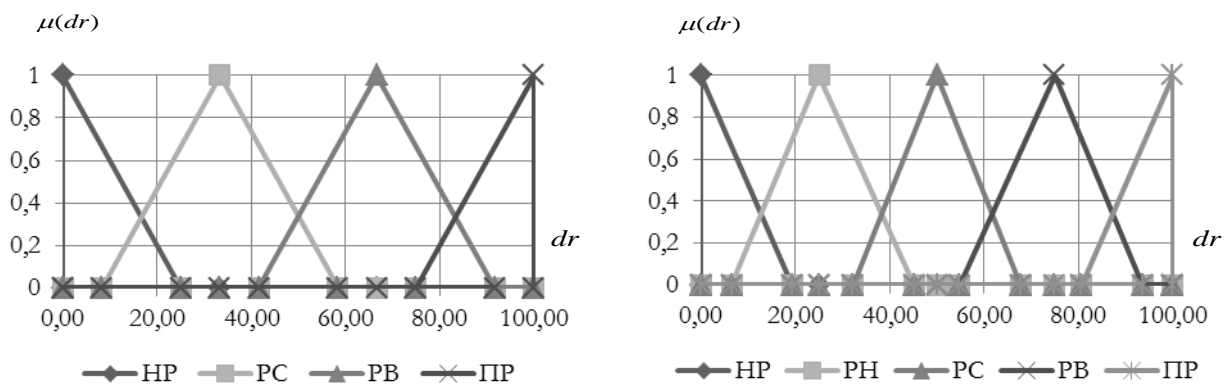


Рис. 4.21. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ

для ЛП DR при  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(5)}$

Б) Неравномерный тип распределения. Пусть исходная ЛП DR<sup>(4)</sup> также, как и в случае равномерного распределения, определяется термами из (4.24). Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных НЧ с соответствующими числовыми эквивалентами  $T_{DR_j} (j = \overline{1,4})$  из табл. 4.8, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. (4.4)):  $\Omega_n = (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) \vee (b_3 - b_2 \neq b_4 - b_3) = (22 - 0 \neq 66 - 22) \vee (66 - 22 \neq 100 - 66) = 1 \vee 1 =$

=1. Как видно  $\Omega_{\mu}=1$ , следовательно, НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  соответствуют неравномерному типу распределения.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4, однократное инкрементирование ЛП  $DR^{(4)}$  по выражению (4.26).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.37)-(2.39), тогда:  $k_1^{(5)} = 33,33$ ;  $l_1^{(5)} = 8$ ;  $l_2^{(5)} = 22,67$ ;  $l^{(5)} = 30,67$ .

Этап 2. Осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (2.40), т.е.:  $x_1 = 22$ ;  $x_2 = 44$ ;  $x_3 = 34$ , тогда  $s=2$  при  $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (44 \geq 33,33 \geq 22)$ . В этом примере встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. Реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ с помощью выражений (2.41) и (2.42), т.е.:

$$\begin{aligned} b_1^{(5)'} &= b_1^{(4)} = 0; & b_2^{(5)'} &= b_2^{(4)} = 22; & b_3^{(5)'} &= b_2^{(4)} + k_1^{(5)} = 55,33; \\ b_4^{(5)'} &= b_3^{(4)} + k_1^{(5)} = 99,33; & b_5^{(5)'} &= b_4^{(4)} + k_1^{(5)} = 133,33; \\ a_1^{(5)'} &= a_1^{(4)} = 0; & a_2^{(5)'} &= a_2^{(4)} = 10; \\ a_3^{(5)'} &= a_3^{(4)} = 45; & a_4^{(5)'} &= c_2^{(5)'} + l_1^{(5)} = 75,67; \\ a_5^{(5)'} &= a_4^{(4)} + l^{(5)} = 108,67; & c_1^{(5)'} &= c_1^{(4)} = 39; \\ c_2^{(5)'} &= a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 67,67; & c_3^{(5)'} &= c_2^{(4)} + l^{(5)} = 100,67; \\ c_4^{(5)'} &= c_3^{(4)} + l^{(5)} = 122,67; & c_5^{(5)'} &= c_4^{(4)} + l^{(5)} = 130,67. \end{aligned}$$

Этап 4. С помощью выражений (2.43)-(2.46) посредством 2-х шагов осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью (2.43) и (2.44), т.е.:  $k^{(5)} = 0,75$ ;  $l_3^{(5)} = 0,77$ .

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно выражениям (2.45) и (2.46), т.е.:

$$\begin{aligned} b_1^{(5)} &= 0; & a_1^{(5)} &= 0; & c_1^{(5)} &= 29,85; \\ b_2^{(5)} &= 16,50; & a_2^{(5)} &= 7,65; & c_2^{(5)} &= 51,79; \\ b_3^{(5)} &= 41,5; & a_3^{(5)} &= 34,44; & c_3^{(5)} &= 77,04; \\ b_4^{(5)} &= 74,5; & a_4^{(5)} &= 57,91; & c_4^{(5)} &= 93,88; \\ b_5^{(5)} &= 100; & a_5^{(5)} &= 83,16; & c_5^{(5)} &= 100. \end{aligned}$$



В результате однократного инкрементирования получим, например, для  $T_{DR}^{(5)}$  значения термов (4.25), а их числовые эквиваленты отобразим в табл. 4.9.

После проведенных преобразований вычислим  $\Omega_n$  для  $T_{DR}^{(5)}$ :  $\Omega_n = (16,5 - 0 \neq 41,5 - 16,5) \vee (41,5 - 16,5 \neq 74,5 - 41,5) \vee (74,5 - 41,5 \neq 100 - 74,5) = 1$ . Условие неравномерности  $T_{DR}^{(5)}$  так же, как и  $T_{DR}^{(4)}$  является истинно  $\Omega_n = 1$ , что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(5)}$  приведена на рис. 4.22.

В) Возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП  $DR^{(4)}$  с термами (4.24), числовые значения которых  $T_{DR_j}$  ( $j = \overline{1,4}$ ) из табл. 4.8 имеют возрастающий тип распределения, т.е. для которых истинным является условие возрастания (см. (4.5)):  $\Omega_e = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 < b_4 - b_3) = (5 - 0 < 20 - 5) \wedge (20 - 5 < 100 - 20) = 1 \wedge 1 = 1$ . Как видно, условие  $\Omega_e = 1$  истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  возрастающему типу распределения.

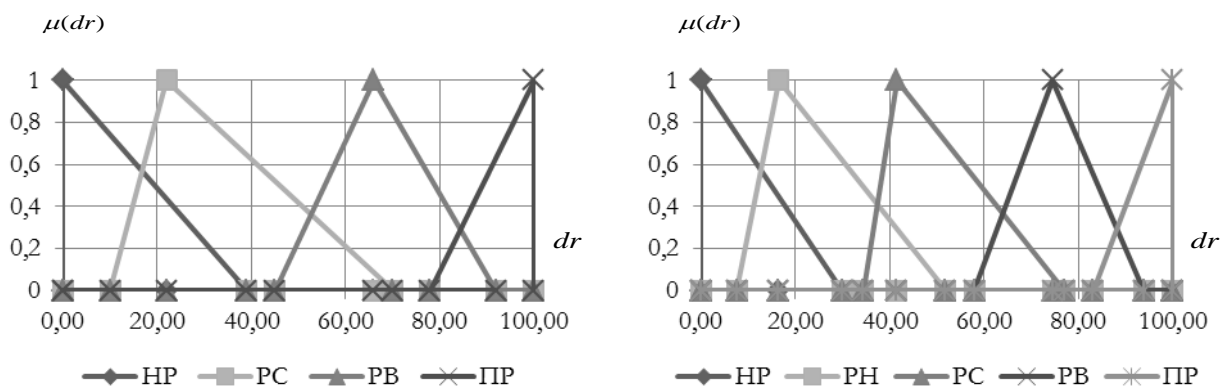


Рис. 4.22. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(5)}$

По аналогии с примером для равномерно распределённых НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 преобразования (4.26).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.37)-(2.39), т.е.:  $k_1^{(5)} = 33,33$ ;  $l_1^{(5)} = 10,2$ ;  $l_2^{(5)} = 19,73$ ;  $l^{(5)} = 29,93$ .

Этап 2. Определим номер расширяющей вершины по формуле (2.40), т.е.:

$x_1 = 5$ ;  $x_2 = 15$ ;  $x_3 = 80$ , тогда  $s=3$  при  $(x_3 \geq k_1^{(5)} \geq x_2) \Rightarrow (80 \geq 33,33 \geq 15)$ . Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после третьей вершины, т.е. между третьим и четвертым термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. С помощью выражений (2.41) и (2.42), реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ, т.е.:

$$\begin{array}{lll} b_1^{(5)'} = 0; & a_1^{(5)'} = 0; & c_1^{(5)'} = 15,48; \\ b_2^{(5)'} = 5; & a_2^{(5)'} = 5; & c_2^{(5)'} = 41,29; \\ b_3^{(5)'} = 20; & a_3^{(5)'} = 18; & c_3^{(5)'} = 71,73; \\ b_4^{(5)'} = 53,33; & a_4^{(5)'} = 52; & c_4^{(5)'} = 107,35; \\ b_5^{(5)'} = 133,3; & a_5^{(5)'} = 87,62; & c_5^{(5)'} = 129,93. \end{array}$$

Этап 4. За два шага нормируем полученные результаты с помощью выражений (2.43)-(2.46).

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты, используя формулы (2.43) и (2.44) т.е.:  $k^{(5)} = 0,75$ ;  $l_3^{(5)} = 0,77$ .

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны согласно выражениям (2.45) и (2.46), т.е.:

$$\begin{array}{lll} b_1^{(5)} = 0; & a_1^{(5)} = 0; & c_1^{(5)} = 11,91; \\ b_2^{(5)} = 3,75; & a_2^{(5)} = 3,85; & c_2^{(5)} = 31,78; \\ b_3^{(5)} = 15; & a_3^{(5)} = 13,85; & c_3^{(5)} = 55,21; \\ b_4^{(5)} = 40; & a_4^{(5)} = 40,02; & c_4^{(5)} = 82,62; \\ b_5^{(5)} = 100; & a_5^{(5)} = 67,44; & c_5^{(5)} = 100. \end{array}$$

В результате чего для  $T_{DR}^{(5)}$  (см. (4.25)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицу 4.9 (см. рис. 4.23).

Далее проверим условие возрастания для  $T_{DR}^{(5)}$ :  $\Omega_e = (3,75 - 0 < 15 - 3,75) \wedge (15 - 3,75 < 40 - 15) \wedge (40 - 15 < 100 - 40) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как видим, значе-

ние  $\Omega_e = 1$  для  $T_{DR}^{(5)}$  является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

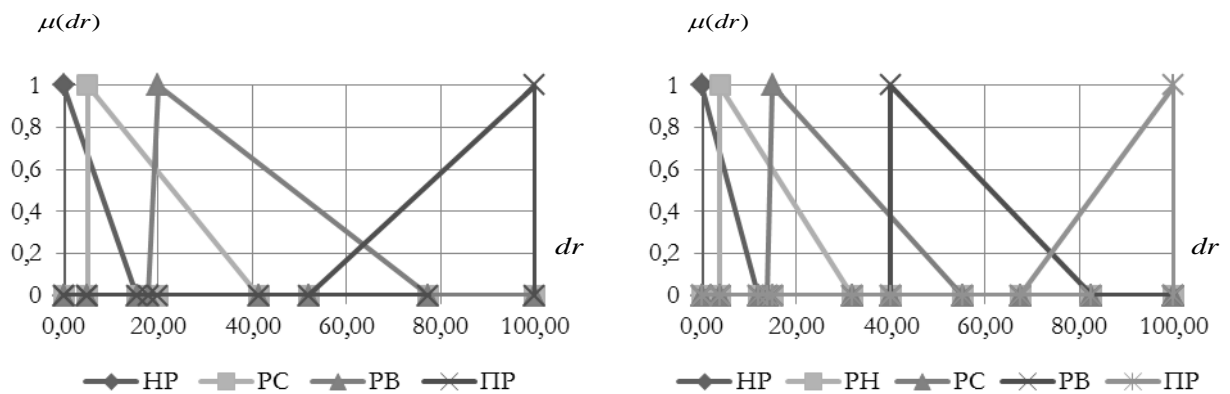


Рис. 4.23. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения

НЧ для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(5)}$

Г) Убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП  $DR^{(4)}$ , которые принимают значения (4.24), с их числовыми эквивалентами из табл. 4.8 и имеют убывающий тип распределения, т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (4.6)):  $\Omega_y = (b_2 - b_1 > b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 > b_4 - b_3) = (60 - 0 > 90 - 60) \wedge (90 - 60 > 100 - 90) = 1 \wedge 1 = 1$ . Как видно, условие  $\Omega_y = 1$  истинно, значит НЧ ЛП  $DR^{(4)}$  соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствии с этапами 1-4 однократное инкрементирование (4.26) ЛП  $DR^{(4)}$ .

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (2.37)-(2.39), т.е.:  $k_1^{(5)} = 33,33$ ;  $l_1^{(5)} = 14,36$ ;  $l_2^{(5)} = 14,19$ ;  $l^{(5)} = 28,55$ .

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по формуле (2.40), т.е.:  $x_1 = 60$ ;  $x_2 = 30$ ;  $x_3 = 10$ , тогда  $s=2$  при  $(x_2 \leq k_1^{(5)} \leq x_1) \Rightarrow (30 \leq 33,33 \leq 60)$ . В этом примере так же, как при неравномерном типе распределения, встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом  $T_{DR}^{(4)}$ .

Этап 3. Вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ с помощью выражений (2.41) и (2.42), т.е.:

$$\begin{array}{lll}
 b_1^{(5)'} = 0; & a_1^{(5)'} = 0; & c_1^{(5)'} = 41,94; \\
 b_2^{(5)'} = 60; & a_2^{(5)'} = 22,58; & c_2^{(5)'} = 72,9; \\
 b_3^{(5)'} = 93,33; & a_3^{(5)'} = 58,71; & c_3^{(5)'} = 101,45; \\
 b_4^{(5)'} = 123,33; & a_4^{(5)'} = 87,26; & c_4^{(5)'} = 122,1; \\
 b_5^{(5)'} = 133,33; & a_5^{(5)'} = 113,07; & c_5^{(5)'} = 128,55.
 \end{array}$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью выражений (2.43)-(2.46) за два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.43) и (2.44), т.е.:  $k^{(5)} = 0,75$ ;  $l_3^{(5)} = 0,78$ .

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью формул (2.45) и (2.46), т.е.:

$$\begin{array}{lll}
 b_1^{(5)} = 0; & a_1^{(5)} = 0; & c_1^{(5)} = 32,63; \\
 b_2^{(5)} = 45; & a_2^{(5)} = 17,57; & c_2^{(5)} = 56,71; \\
 b_3^{(5)} = 70; & a_3^{(5)} = 45,67; & c_3^{(5)} = 78,92; \\
 b_4^{(5)} = 92,5; & a_4^{(5)} = 67,88; & c_4^{(5)} = 94,98; \\
 b_5^{(5)} = 100; & a_5^{(5)} = 87,96; & c_5^{(5)} = 100.
 \end{array}$$

В результате чего для  $T_{DR}^{(5)}$  получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицу 4.9 (см. рис. 4.24).

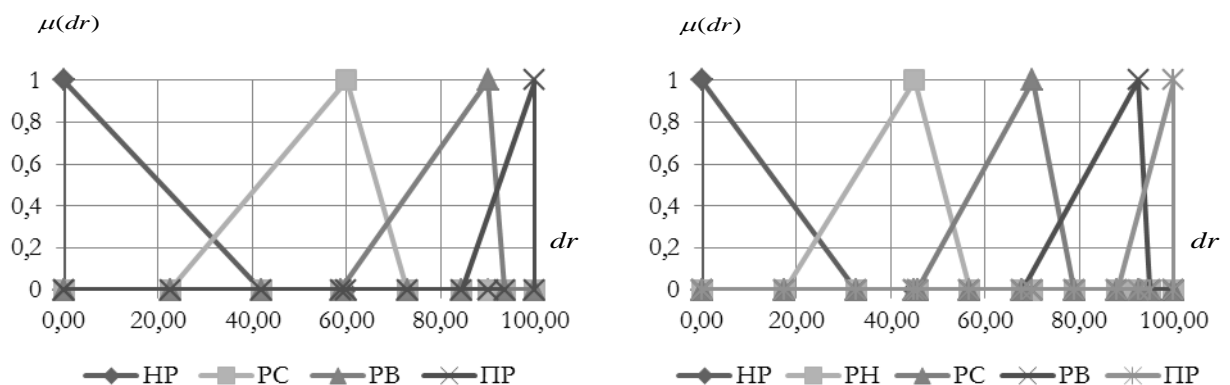


Рис. 4.24. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ

для ЛП  $DR$  при  $T_{DR}^{(4)}$  и  $T_{DR}^{(5)}$

Проверим условие убывания для  $T_{DR}^{(5)} : \Omega_y = (45 - 0 > 70 - 45) \wedge (70 - 45 > 92,5 - 70) \wedge (92,5 - 70 > 100 - 9,52) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1$ . Как видно, значение  $\Omega_y$  для  $T_{DR}^{(5)}$ , также как и для  $T_{DR}^{(4)}$ , является истинным, что свидетельствует об адекватности преобразований.

#### 4.3 Экспериментальное исследование интегрированной адаптивной системы оценивания рисков

Для тестирования основных функций и отражения принципа работы ПС интегрированной адаптивной системы ОП безопасности РИС, была проведена его верификация на компьютере под управлением операционной системы Microsoft Windows 7 Home Premium x64. Разработанное приложение для своей работы не требует дополнительных библиотек и системных файлов, поскольку при компиляции проекта были указаны следующие опции: Use dynamic RTL = false; Build with runtime packages = false. Также дополнительно для функционирования БД был установлен сервер MySQL 5.1.60 x64. С помощью разработанного ПС создан тестовый проект «Test», а в качестве  $IR_I$  для верификации выбран «Файл-сервер» из категории «Сетевые сервера». Тестирование проводилось при четко определенных исходных данных, т.е. в так называемой детерминированной среде.

Для данного РИС были установлены следующие  $A_a$  ( $a = \overline{1,3}$ ):  $A_1 = \text{«Угроза восстановления предыдущей уязвимой версии BIOS»}$ ;  $A_2 = \text{«Угроза внедрения кода или данных»}$ ;  $A_3 = \text{«Угроза использования информации идентификации/аутентификации, заданной по умолчанию»}$ .

Далее по каждой угрозе осуществлялся расчет значений  $dr^{(A_a)}$ , результаты которого занесены в табл. 4.10, из которой видно, что значение СР для данного РИС по  $A_1$  – среднее,  $A_2$  – высокое (0,5)/предельное (0,5) и  $A_3$  – предельное. После этого осуществлялся расчет среднего значения  $dr^{(cp)} = 67,17$  для  $IR_I$ , что согласно выражению (3.10) соответствует лингвистической интерпретации: СР высокая с числовым эквивалентом 67,17.

Дальнейшая проверка ПС проводилась на основе моделирования нескольких состояний среды оценивания:

- 1-е состояние – начальные условия с установленным количеством угроз для РИС;
- 2-е состояние – изменено количество угроз для РИС;
- 3-е состояние – заблокировано одну угрозу для РИС;
- 4-е состояние – изменение значений оценочных компонент (уменьшение или увеличение).

Таблица 4.10

Значение оценочных компонентов и  $dr^{(A_a)}$

$A_a$	$P$	$F$	$L$	$D$	$dr^{(A_a)}$	$T_{\sim DR_j}$
$A_1$	45	0,36	0,1	5	40	РС
$A_2$	60	0,8	0,27	8	75	(РВ (0,5), ПР (0,5))
$A_3$	73	0,97	0,45	9	86,5	ПР

**1-е состояние.** Результаты вычисления СР с начальными условиями, приведены в табл. 4.10. Рассмотрим результаты моделирования для следующих состояний по расчету СР для РИС организации.

### 2-е состояние.

На объекте оценивания изменились условия среды окружения, а именно после повторного анализа  $IR_1$  была дополнительно идентифицирована угроза  $A_4$ , т.е.  $A_4 =$  «Угроза нарушения целостности данных кеша». Был осуществлен расчет значения СР для новой угрозы  $A_4$  т.е.  $dr^{(A_a)} = 53,5$ , а значение  $dr^{(cp)}$  после введения  $A_4$  составило  $dr^{(cp)} = 63,75$  (РВ) (рис. 4.25).

### 3-е состояние

Далее было проведено моделирование в условиях, когда на оцениваемом объекте защиты проведены мероприятия по устранению  $A_2 =$  «Угроза внедрения кода или данных». Здесь также выполнено повторный расчёт  $dr^{(A_a)}$  и  $dr^{(cp)}$ . Используя разработанную систему, с учетом моделируемой ситуа-

ции, полученное значение  $dr^{(cp)}$  для  $IR_1$  уменьшилось до 47,5 (РС), т.е.  $dr^{(cp)}$ , СР средняя с числовым эквивалентом 47,5. Здесь значение  $dr^{(cp)}$  меняется при изменении количества  $A_a$ . Дальнейшее экспериментальное исследование показало, что при значительном увеличении или уменьшении числа  $A_a$  значение  $dr^{(cp)}$  может соответственно адекватно измениться.

Отчет по расчету степени риска для РИС организации от 22.12.2016 для проекта <u>Intmethod</u>	
<u>Суммарно по РИС</u>	
<u>Список РИС</u>	<u>Степень риска</u>
Файл-сервер	РВ - 63,6
<u>Детальная информация по РИС</u>	
Сетевые сервера	
<u>Угрозы</u>	<u>Степень риска</u>
Угроза восстановления предыдущей уязвимой версии BIOS	40
Угроза внедрения кода или данных	75
Угроза использования информации идентификации/ аутентификации, заданной по умолчанию	86,5
Угроза нарушения целостности данных кэша	33,5

Рис. 4.25. Окно с отчетом значений СР

#### 4-е состояние

После выполненных расчетов, согласно 1-го состояния, было проведено моделирование для двух ситуаций: первая (на объекте защиты учтены предыдущие результаты ОР и внедрены меры для минимизации рисков); вторая (на объекте защиты не учтены предыдущие результаты ОР – не приняты решения по внедрению мер для снижения рисков).

Ситуация 1. На объекте оценивания были внедрены мероприятия для минимизации уровня угроз  $A_1, A_2, A_3$ . После повторной реализации ОР экспертами были установлены величины оценочных компонентов, значения которых приведены в табл. 4.11. Для каждой  $A_a$  был повторно произведен расчет  $dr^{(A_a)}$  (см. табл. 4.11). Величина  $dr^{(cp)}$  для  $IR_1$   $dr^{(cp)}=40,5$ , что соответствует

значению  $T_{\sim DR_3} = \langle PC \rangle$  (уверенность эксперта – 1). Из сгенерированного ПС отчета видно, что СР уменьшилась, следовательно, внедренные меры по обеспечению ИБ являются эффективными, а система ОР отреагировала адекватно изменению условий среды оценивания.

Таблица 4.11

Значение оценочных компонентов и  $dr^{(A_a)}$ 

$A_a$	$P$	$F$	$L$	$D$	$dr^{(A_a)}$	$T_{\sim DR_j}$
$A_1$	15	0,27	0,03	2	22,5	РН
$A_2$	30	0,5	0,14	5	39	(РН (0,1), РС (0,9))
$A_3$	43	0,67	0,25	6	60	РВ

Ситуация 2. Осуществляется моделирование, при котором на объекте оценивания не учтены предыдущие результаты ОР. После первичной реализации ОР, не приняты во внимание полученные результаты и не внедрены меры по обеспечению ИБ.

После повторных ОР ситуация с выбранным РИС ухудшилась, о чем свидетельствуют определенные экспертами значения оценочных компонентов (табл. 4.12). Из табл. 4.12 видно, что  $dr^{(A_a)}$  существенно увеличились.

Таблица 4.12

Результаты оценивания

$A_a$	$P$	$F$	$L$	$D$	$dr^{(A_a)}$	$T_{\sim DR_j}$
$A_1$	60	0,44	0,18	6	55	(РС (0,5), РВ (0,5))
$A_2$	75	0,87	0,32	9	79,5	(РВ (0,05), ПР (0,95))
$A_3$	83	0,97	0,48	9	98	ПР

Величина  $dr^{(cp)}$  для  $IR_1$   $dr^{(cp)}=77,5$  (РВ (0,25), ПР (0,75)), что граничит между высоким (с уверенностью эксперта 0,25) и предельным (с уверенностью эксперта 0,75) значением риска. Также с учетом первой и второй ситуа-



ции было произведено ОР для дополнительных трех РИС, на рис. 4.26 и табл. 4.13 представлены значения  $dr^{(cp)}$  для этих РИС.

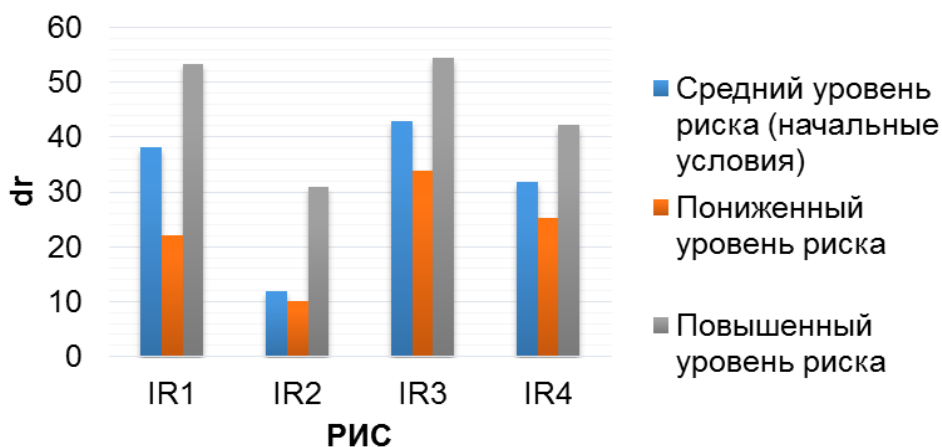


Рис. 4.26. Гистограмма средних значений СР

Таблица 4.13

Средние значения степени риска  $dr^{(cp)}$

РИС	$dr^{(cp)}$		
	Средний уровень риска (начальные условия)	Пониженный уровень риска	Повышенный уровень риска
$IR_1$	38,2 (PH (0,18), PC (0,82))	22 (PH)	53,4 (PC (0,66), PB (0,34))
$IR_2$	12 (HP (0,8), PH (0,2))	10 (HP)	30,8 (PH (0,92), PC (0,08))
$IR_3$	43 (PC)	33,87 (PH (0,6), PC (0,4))	54,37 (PC (0,56), PB (0,44))
$IR_4$	31,75 (PH (0,8), PC (0,2))	25,18 (PH)	42,21 (PC)

Полученные данные исследования подтверждают то, что ПС ОР адекватно реагирует на изменение значений выбранного базиса оценочных компо-

нент при различных условиях среды оценивания, а значение риска существенно не изменяется при смене соответствующего базиса. Данное ПС было использовано в учебном процессе кафедры безопасности информационных технологий Национального авиационного университета (г. Киев).

Результаты, представленные в Разделе 4, опубликованы в работах [104, 106-109, 121].

#### 4.4 Выводы к разделу 4

1. На основе структурного решения интегрированной адаптивной системы анализа и оценивания рисков разработаны алгоритм и программное средство, которое, в отличие от известных, использует в качестве входных данных различные множества оценочных параметров, что обеспечивает высокую гибкость и удобство использования как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформализованной среде.
2. Предложенный метод преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности апробирован на примерах четырех типов распределения, которые отражают предпочтения эксперта относительно оценочного параметра. Показано, что применение метода позволяет повысить гибкость разрабатываемых средств, которые основываются на логико-лингвистическом подходе и используют для описания лингвистических переменных треугольные нечеткие числа.
3. Анализ результатов, полученных предложенным методом  $n$ -кратного понижения (декрементирования) числа термов лингвистической переменной при рассмотрении различных типов распределений параметрических трапециевидных и треугольных нечетких чисел, свидетельствует о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.
4. Анализ результатов расчетов, полученных с помощью предложенного метода трансформирования эталонов посредством однократного инкрементирования числа термов лингвистических переменных, при исполь-

зовании параметрических трапециевидных и треугольных нечетких чисел для различных типов их распределения позволяет сделать вывод о корректности разработанного метода.

5. Предложенные методы декрементирования и инкрементирования числа термов лингвистических переменных предоставляют возможность коррекции эталонов без привлечения необходимых экспертов при использовании термов лингвистических переменных, базирующихся на параметрических нечетких числах двух различных типов.
6. С целью верификации разработанных методов, модели, структурного решения и ПО проведены экспериментальные исследования ПО системы ОР, которые подтвердили достоверность полученных теоретических результатов и выводов диссертационной работы.

## ВЫВОДЫ

1. На основе усовершенствования кортежной модели создана бистабильная интегрированная кортежная модель характеристик риска, которая за счет, бистабильных отражений в аналитическом и статистическом кортежах с учетом необходимого множества начальных компонентов, позволяет реализовывать выбор соответствующих существующих инструментальных средств и разрабатывать гибкие и эффективные методы и системы оценивания рисков информационной безопасности.
2. Предложены базовые методы инкрементирования и декрементирования порядка лингвистической переменной для систем оценивания рисков, которые за счет использования аналитических функций увеличения и уменьшения числа термов, позволяют реализовывать трансформирование базовых эталонов параметров без привлечения экспертов соответствующей предметной отрасли, что обеспечивает адаптивность систем оценивания рисков.
3. Представлен интегрированный метод оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем, который при использовании разработанной бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска, интеграции детерминированного и нечеткого подхода, а также методов трансформации порядка лингвистической переменной, позволяет создавать адаптивные средства оценивания рисков, использующие в качестве входных данных динамически изменяемые наборы детерминированных и нечетко определенных оценочных параметров с учетом периода времени, отрасли, экономической и управленческой специфики объекта защиты.
4. Усовершенствована модель процесса синтеза систем оценивания рисков, которая за счет применения разработанной бистабильной интегрированной кортежной модели характеристик риска и предложенных

методов, позволила формализовать процесс построения адаптивных инструментальных средств с гибкими возможностями использования заданных множеств величин при оценивании рисков безопасности ресурсов информационных систем.

5. Разработана структурно-функциональная модель интегрированной адаптивной системы оценивания рисков, которая за счет подсистем формирования входных данных и обработки данных, которые реализуют предложенные методы (интегрированный, инкрементирования и декрементирования), позволяет преобразовывать и формировать данные, как в качественной, так и в количественной интерпретации.
6. На основе предложенной модели процесса синтеза и с структурно-функциональной модели, разработана адаптивная интегрированная система оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем, в которой для эффективного решения заданий как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформализованной среде, достигнута высокая интеграция функциональных возможностей, адаптивность и удобство использования.
7. Проведено экспериментальное исследование программного обеспечения системы оценивания рисков с целью верификации разработанных методов и моделей. Внедрение отмеченных разработок подтвердило достоверность теоретических гипотез и выводов диссертационной работы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Белов Е.Б. Основы информационной безопасности / Е.Б. Белов, В.П. Лось, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2006. – 544 с.
2. Богуш В.М. Інформаційна безпека держави / В.М. Богуш, О.К. Юдін. – К.: “МК-Прес”, 2005. – 432 с.
3. Качинський А.Б. Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А.Б. Качинський– К.: ІПНБ, НАСБУ, 2004 – 472 с.
4. Peltier T.R. Information security risk analysis /Thomas R. Peltier. – London: Auerbach Publications, 2001. – 281p.
5. Корченко А.Г. Анализ и оценивание рисков информационной безопасности / А.Г. Корченко, А.Е. Архипов, С.В. Казмирчук // Монография. – К.: ООО «Лазурит-Полиграф», 2013. – 275 с.
6. Черных П.Я. Историко-этимологический словарь современного русского языка. Том I–7-е издание, стереотипное./ П.Я. Черных М.: Рус. яз.– Медиа, 2006. – 622 с.
7. Хартли Р., Передача информации, [пер. с англ.], в сб.: Теория информации и ее приложения, М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1959. (Hartley R.V.L. Transmission of Information / R.V.L Hartley // BSTJ.– 1928. – V.7 – №3 – P. 535–536).
8. Философский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1983. – С. 646.
9. Мелик-Гайказян И.В. Информация как объект постнеклассической науки // Информация и самоорганизация. – М. : Изд-во РАГС, 1996. – С. 88–108.
10. Библиотека философии. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.filosofy.vuzlib.net/book\\_o044\\_page\\_3.html](http://www.filosofy.vuzlib.net/book_o044_page_3.html). – Загл. с экрана (просмотрено 25 августа 2016).
11. Винер Н. Кибернетика и общество / Н.Винер; пер. с англ. Е.Г. Панфилова – М.: Издательство иностранной литературы, 1958. – 200 с.

12. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. / Н.Винер – 2-е изд.– М.: Советское радио, 1968. – 328 с.
13. Колин К.К. Сущность информации и философские основы информатики. // Информационные технологии – 2005. – № 5. – С. 69.
14. Блюменау Д.И. Информация и информационный сервис/ Д.И. Блюменау Л.: Наука, 1989. – 192 с. - (Серия "Наука и технический прогресс"). - ISBN 5-02-026598-5.
15. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации)/ Д.С. Чернавский Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Едиториал УРСС, – 2004. – 288 с.
16. Суханов А.П. Информация и прогресс / Суханов А.П. – Новосибирск: Наука, 1988. – 192 с.
17. Фридланд А.Я. Информация: обзор современных представлений о сущности и подходов к определению / Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению "Информационно-телекоммуникационные системы", 2008. – 41 с. - Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/005715/68361e2-st17.pdf>. – (просмотрено 23 августа 2016).
18. ЗАКОН УКРАЇНИ Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки ( Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2007, № 12, ст.102 ).
19. Александр Суханов, Информационная безопасность в гражданской авиации 09.08.2016 эксперт по информационной безопасности МФИ Софт. Режим доступа: [http://tourlib.net/statti\\_tourism/suhanov.htm](http://tourlib.net/statti_tourism/suhanov.htm). Загл. с экрана (просмотрено 25 августа 2016).
20. ГСТУ СУІБ 1.0/ISO/IEC 27001:2010, Інформаційні технології-методи захисту-система управління інформаційною безпекою, офіційний переклад, ст.3.
21. Материал из Википедии. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D1%96%D0%BB%D1%96%D1%81>

- [%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C\\_%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%97.](#) (просмотрено 25 августа 2016).
22. Доктрина інформаційної безпеки України. Указ Президента України від 8 липня 2009 року N 514/2009 [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/514/2009>. Загл. с экрана (просмотрено 26 августа 2016).
23. Риск. Материал из Википедии — свободной энциклопедии [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=44986537>. Загл. с экрана (просмотрено 21 августа 2016).
24. Тяжова М. Виды рисков в туристском бизнесе. Туризм и культурное наследие. - Выпуск 2. [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://tourlib.net/statti\\_tourism/tour\\_risk.htm](http://tourlib.net/statti_tourism/tour_risk.htm). Загл. с экрана (просмотрено 21 августа 2016).
25. К вопросу об определении понятия «риск» [Электронный ресурс] / В.В. Индеева // РГМУ им. акад.И.П. Павлова Рязань, Россия – Режим доступа к статье: <http://www.rae.ru/zk/arj/2007/02/Indeeva.pdf>. Загл. с экрана (просмотрено 26 августа 2016).
26. Корченко А.Г. Анализ и определение понятия риска для его интерпретации в области информационной безопасности / А.Г. Корченко, Е.В. Иванченко, С.В. Казмирчук // Захист інформації – 2010. – №3. – С. 5–10.
27. Информационная технология. Уровни целостности систем и программных средств : ГОСТ Р ИСО/МЭК 15026 – 2002. Введ. 2003.06.30. – М. : ИПК “Издательство стандартов”, 2003. – 15 с. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15026-2002 Информационная технология. Уровни целостности систем и программных средств. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.npo-echelon.ru/common\\_files/standards.htm](http://www.npo-echelon.ru/common_files/standards.htm). Загл. с экрана (просмотрено 27 августа 2016).
28. Руководство по управлению рисками безопасности [Электронный ресурс] / Группа разработки решений Майкрософт по безопасности и со-



- ответствию, регулятивным нормам; Центр Microsoft security center of excellence // TechNet. – Электрон. дан. – Редмонд, США: Корпорация Майкрософт, 2006. – Режим доступа: <http://www.microsoft.com/rus/technet/security/guidance/complianceandpolicies/secrisk/>. – Загл. с экрана (просмотрено 20 августа 2016).
29. Захаров А.И. Информационные системы: оценка рисков / А.И. Захаров // Information Security (Информационная безопасность) – 2005. – №6 – С. 18–19.
30. Термінологія в галузі захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу [Текст] : НД ТЗІ 1.1-003 – 1999. – Чин. 1999. 04.28. – К. : ДСТСЗІ СБ України, 1999. – 12 с.
31. Risk Management Guide for Information Technology Systems. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology - NIST, Special Publication 800-30 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-30/sp800-30.pdf>. Загл. с экрана (просмотрено 20 августа 2016).
32. Control Objectives Management Guidelines Maturity Models : COBIT 4.1. – Rolling Meadows : IT Governance Institute, 2007. – 196 p. Control Objectives for IT and related Technology COBIT 4.1 Framework Control Objectives Management Guidelines Maturity Models.
33. S. Risk Management & Corporate Security / S. Hill, M. Smith // Computers & Security. – 1995. – P.199–204.
34. Fiksel J. Quantitative risk analysis for toxic chemicals in the environment // J. of hazard materials. – 1987. – 10, № 2-3. - P. 227-240.
35. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем : ГОСТ Р 51901– 2002. – Введ. 2003.09.01. – М.: ИПК “Издательство стандартов”, 2002. – 21 с.
36. Коноплицкий В.А. Это – бизнес. Толковый словарь экономических терминов. / В.А. Коноплицкий, А.И. Филина. – К.: Издательство “Альтер-пресс”, 1996. – 184 с.

37. Англо-русский словарь по экономике и финансам / Сост. А.В. Аникин. – Санкт-Петербург: Экономическая школа, 1993. – 590 с.
38. Стандартизация в Российской Федерации. Термины и определения = Standardization in the Russian Federation. terms and definitions: ГОСТ Р 1.12 – 2004. – Введ.2005.07.01. – М.: ИПК “Издательство стандартов”, 2004. – 17 с.
39. U. S. Geological Survey: Proposed procedures for dedealing with warning and preparedness for geologic-related hazard // United States Federal Register. - 1977, 42. №70. - p.14292-14296.
40. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Методология оценки безопасности информационных технологий = Information technology. Security techniques. Methodology for IT security evaluation. : ГОСТ Р ИСО/МЭК 18045–2008. – Введ. 2008.12.18. – М. : ИПК “Издательство стандартов”, 2008. – 234 с.
41. Менеджмент риска. Термины и определения: ГОСТ РЗ97–2002. – Введ. 2001.05.31. – М.: ИПК “Издательство стандартов”, 2002. – 8 с.
42. Казмирчук С.В. Система выбора средств анализа и оценки риска / С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов, К.В. Никитина // Безпека інформації. – 2012. – №1. – С. 15–18.
43. Симонов С.В. Анализ рисков в информационных системах. Практические аспекты // Конфидент. Защита информации. - № 2. - 2001. - С. 48-53.
44. Lichtensteir S. Factors in the Selection of a Risk Assessment Method / S. Lichtensteir // Information Management & Computer Security. – 1993. – Vol. 4 Iss: 4 – P. 20–25.
45. Risk management. Vocabulary: ISO Guide 73:2009 // International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Commission (IEC). – 2002. – 15 p.
46. Социальная психология /под общей ред. Петровского А. В., редактор-составитель Карпенко Л. А. – М. : ПЕР СЭ, 2005. – 176 с.

47. Кондратьев М.Ю. Алфавит социального психолога-практика: Справочно-энциклопедическое издание / М.Ю. Кондратьев, В.А. Ильин. – М.: ПЕР СЭ, 2007. – 464 с.
48. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Общие положения.: СТО БР ИББС 1.0 – 2006. Введ. 2006.01.01. – М.: ИПК “Издательство стандартов”, 2006. – 27 с.
49. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка: 80 000 слов и фразеологических выражений / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова.– 4-е изд., дополненное. – М. : Азбуковник, 1999. – 944 с.
50. Казмирчук С.В. Базовые параметры риска в области информационной безопасности / С.В. Казмирчук // “АВИА-2011”: Х міжнар. наук.-техн. конф. : матер. конф. – К. : НАУ, 2011. Том 1 – С. 2.68–2.71.
51. Рагозин Ф. Оценка и картографирование опасности и риска от природных и техногенных процессов (теория и методология) / Ф. Рагозин / Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993, №5. – С. 16–41.
52. Дзекцер Е.С. Геологическая опасность и риск (методологическое исследование) / Е.С. Дзекцер // Инженерная геология. – 1992. – № 6. – С. 3-10.
53. Райзберг Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. Ш. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Инфра-М, 2006. – 494 с.
54. Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності [Текст]: Закон України №877-V від 5 квітня 2007 р. / Верховна Рада України // Відомості Верховної Ради України. – 2007. – №36. – Ст. 389.
55. Российская энциклопедия по охране труда: [В 3 т.]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007. – Т. 2: Л – Р. – 408 с.
56. Технологии анализа рисков. [Электронный ресурс] : /Группа компаний “Компьюлинк”. – Электрон. дан. – М. : Группа компаний “Компьюлинк”.

- 2003. – Режим доступа: World Wide Web. – URL: <http://www.glossary.ru/>.  
– Загл. с экрана (просмотрено 25 марта 2016).
57. Risk analysis based on IT-Grundschutz : BSI-Standard 100-3 – Boon : Bundesausschuss für Sicherheit in der Informationstechnik, 2008. – 23 p.
58. Аналіз ризику – методологічна основа для розв’язання проблем безпеки людини та довкілля [Електронний ресурс]: Серія “Екологічна безпека”. Екологічна безпека України. Системний аналіз перспектив покращення. Розділ 3 / А.Б. Качинський –Електрон. дан. – К.: Національний інститут стратегічних досліджень – 2001. – Режим доступу: World Wide Web. – URL: <http://www.niss.gov.ua/book/Kachin/1-3.htm>. – Загл. с экрана (просмотрено 15 марта 2016).
59. Юлдашев Р.Т. Страховой бизнес. Словарь-справочник / Р.Т. Юлдашев. – М.: 2000. – 272 с.
60. Taha, Hamdy A. Operations Research. An Introduction. / Taha, Hamdy A. – New York : MacMillan Publishing Company, 1987. – 123 p.
61. Security Risk Analysis & Assessment, and ISO 17799 / BS7799 Compliance: COBRA. [Electronic resource] / Security Risk Analysis & Assessment, and ISO 27000 Compliance – Electronic data – Macclesfield: The Leading Security Risk, 2010– Access mode: World Wide Web. – URL: <http://www.riskworld.net/>. Загл. с экрана (просмотрено 26 марта 2016).
62. Современные методы и средства анализа и контроля рисков информационных систем компаний CRAMM, RiskWatch и ГРИФ [Электронный ресурс] / И.С.Медведевский //Security Lab. Электрон. дан. – Мн. : SecurityLab, 2004.– Режим доступа: World Wide Web. – <http://www.ixbt.com/cm/informationssystem-risks012004.shtml>. – Загл. с экрана (просмотрено 17 декабря 2015).
63. Корченко А.Г. Интегрированное представление параметров риска / А.Г. Корченко, Е.В. Иванченко, С.В. Казмирчук // Захист інформації – 2011. – №1. – С. 96–101.
64. Словарь бизнес-терминов [Электронный ресурс] / dic.academic // Акаде-

- мик: – Электрон. дан. – М. : Академик, 2010. – Режим доступа: World Wide Web. – <http://dic.academic.ru/dic.nsf/business/13134>. – Загл. с экрана (просмотрено 25 марта 2016).
65. Корченко О.Г. Визначення поняття ризику у сфері інформаційної безпеки / О.Г. Корченко, С.В. Казмірчук, Т.В. // “Актуальні проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави”: наук.-практ. конф. : тези доп. – К.: Вид-во НА СБУ, 2011. – С. 96–99.
66. Корченко А.Г. Определение понятия риска для сферы информационной безопасности / А.Г. Корченко, Е.В. Иванченко, С.В. Казмирчук // “Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології”: V міжнар. наук.-практ. конф. : тези доп. – К.: ДЕДУТ, 2011. – С. 255–256.
67. Алексеев А. Управление рисками. Метод CRAMM / Антон Алексеев // IT Expert. – Электрон. дан. – М. : ЗАО “ИТ Эксперт”, 2010. – Режим доступа: World Wide Web. – URL: [http://www.itexpert.ru/rus/ITEMS/ITEMS\\_CRAMM.pdf](http://www.itexpert.ru/rus/ITEMS/ITEMS_CRAMM.pdf). – Загл. с экрана (просмотрено 19 декабря 2015).
68. Anderson Risk Management / Anderson, Alison Shain, Michael Shain // Information Security Handbook. – New York : Stockton Press, 1991, P. 75–127.
69. Грабовецкий Б.Е. Учебники онлайн. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу [http://uchebnikionline.com/ekonomika/ekonomichniy\\_analiz\\_-\\_grabovetskiy\\_bye/metodologiya\\_ekonomichnogo\\_analizu.htm](http://uchebnikionline.com/ekonomika/ekonomichniy_analiz_-_grabovetskiy_bye/metodologiya_ekonomichnogo_analizu.htm). Загл. с экрана (просмотрено 15 декабря 2015).
70. Иванченко Е.В. Методология синтеза систем анализа и оценки рисков потерь информационных ресурсов / Е.В. Иванченко, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // Захист інформації. – 2012. – №2. – С. 24–28.
71. Ботвінкін О.В. Історія охорони державної аємниці в Україні: монографія / О.В. Ботвінкін, В.М. Шлапаченко, В.П. Ворожко, А.С. Пашков. – К. : Наук.-вид. відділ НА СБ України, 2008. – 155 с.

72. MAGERIT – version 2. Methodology for Information Systems Risk Analysis and Management. Book I –The Method / [version 2]. – Madrid: Ministerio de administraciones públicas, 2006.– 140 p.
73. Risk Management Tools. Program Risk Management Tools [Electronic resource] / The MITRE Corporation. All rights reserved – New York : Solutions That Make a Difference, 2012. – Access mode: World Wide Web. –URL: [http://mitre.org/work/systems\\_engineering/guide/risk\\_management\\_tool\\_s.html](http://mitre.org/work/systems_engineering/guide/risk_management_tool_s.html). Загл. с экрана (просмотрено 15 декабря 2015).
74. Cal Jaeger Security Risk Assessment Methodology for Communities (RAM-C) / Cal Jaeger // Security Technology, International Carnahan Conference on : onference Publications. – New Mexico : Security Systems and Technology Center Sandia National Laboratories Albuquerque, 2004. – P. 106–110.
75. Smith M. Commonsense Computer Security, your practical guide to information security / M. Smith // London : McGraw – Hill, 1993 – 105 p.
76. Петренко С.А Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность / С.А. Петренко, С.В. Симонов. – М. : Компания АйТи, ДМК Пресс, 2004. – 384 с.
77. International standard Risk management. Principles and guidelines : ISO/FDIS 31000:2009(E) / International Organization for Standardization // JISC – 2009. – 24 p.
78. Вишняков Я.Д. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. — 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 368 с.
79. Буянов В.П. Рискология (управление рисками): учеб. пособие / В.П. Буянов, К.А. Кирсанов, Л.М. Михайлов. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Экзамен, 2003. — 382 с.
80. Ковальская И.А. Методы измерения рисков информационной безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/1644/3.pdf?sequence=1>. Загл. с экрана (просмотрено 20 марта 2016).

81. Лысенко А.Г. Методика оценки рисков при построении системы защиты. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/398480.html>. Загл. с экрана (просмотрено 20 августа 2016).
82. CRAMM [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.cramm.com/>. Загл. с экрана (просмотрено 14 марта 2016).
83. Потій О.В. Дослідження методів оцінки ризиків безпеці інформації та розробка пропозицій з їх вдосконалення на основі системного підходу / О.В. Потій, А.В. Леншин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2010. – № 2(24). – С. 85–91.
84. RiskWatch [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.riskwatch.com/>. Загл. с экрана (просмотрено 14 марта 2016).
85. Центр аудита информационной безопасности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу [http://bezpeka.ladimir.kiev.ua/pq/show/seminar/html/Web\\_4.html](http://bezpeka.ladimir.kiev.ua/pq/show/seminar/html/Web_4.html). Загл. с экрана (просмотрено 17 марта 2016).
86. Петренко С. Методики и технологии управления информационными рисками / С. Петренко, С. Симонов// IT Manager. – 2003. – № 3. – С. 57-61.
87. Куканова Н. Методика оценки риска ГРИФ 2006 из состава Digital Security Office [Электронный ресурс] / Н. Куканова. – Режим доступа: [https://dsec.ru/ipm-research-center/article/risk\\_assessment\\_method\\_vulture\\_2006\\_from\\_the\\_composition\\_of\\_the\\_digital\\_security\\_office/?sphrase\\_id=136491](https://dsec.ru/ipm-research-center/article/risk_assessment_method_vulture_2006_from_the_composition_of_the_digital_security_office/?sphrase_id=136491). Загл. с экрана (просмотрено 15 августа 2016).
88. Куканова Н.А. Актуальность задачи – обеспечение информационной безопасности для бизнеса: монография / Н.А.Куканова – К.: Бизнесинформ, 2010. – 136 с.
89. Тулупьев А.Л. Байесовские сети: логико-вероятностный подход / Тулупьев А.Л., Николенко С. И., Сироткин А. В.СПб.: Наука, 2006. – 607 с.
90. Использование байесовской сети при разработке экспертных систем с нечеткими знаниями [Электронный ресурс] / А.П. Частиков, И.Ю. Ледне-

- ва – Электрон. дан. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2005. – Режим доступа: World Wide Web. – URL: <http://ito.su/2000/II/5/5152.html>. Загл. с экрана (просмотрено 15 августа 2016).
91. Брежнев Е.В. Метод оценивания рисков информационной безопасности с использованием байесовской сети доверия / Е.В. Брежнев, Е.В. Брошеван, А.С. Карпенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – 2015. – №4 (74). – С.40–45.
92. Казмирчук С.В. Анализ и оценивание рисков информационных ресурсов / С.В. Казмирчук // Защита информации – 2013. – Том 15 №1. – С. 37-46.
93. Казмирчук С.В. Анализ и оценивания рисков информационных ресурсов в нечетких условиях / С.В. Казмирчук // Защита информации – 2013. – Том 15 №2 (59). – С. 133-140.
94. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении / Литвак Б. Г. // Учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Дело, 2004. – 400 с.
95. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
96. Шаховал О.А. Рекомендації щодо розробки стратегії забезпечення кібербезпеки України / О.А. Шаховал, І.Л. Лозова, С.О. Гнатюк // Защита информации – 2016. – №1 – С. 57-65.
97. Гнатюк С.О. Кібертероризм: історія розвитку, сучасні тенденції та контрзаходи / С.О. Гнатюк // Безпека інформації – 2013. – №2. – С. 118-129.
98. Корченко А.А. Метод определения идентифицирующих термов для систем обнаружения вторжений / А.А. Корченко // Безпека інформації – 2014. – №3. – С. 217-223.
99. Корченко А.А. Метод фаззификации параметров на лингвистических эталонах для систем выявления кибератак / А.А. Корченко // Безпека інформації – 2014. – №1. – С. 21-28.



100. Корченко А.Г. Качественно-количественный метод оценивания рисков информационной безопасности / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук // Захист інформації. – 2016. – №2. – С. 157-170.
101. Корченко А.Г. Метод оценивания рисков информационной безопасности на основе открытых баз данных уязвимостей / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук // Безпека інформації. – 2016. – №2. – С. 216-226.
102. Казмирчук С.В. Метод трансформирования термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков информационной безопасности / С.В. Казмирчук // Защита информации – 2013. – Том 15 №3 (60). – С. 268-276.
103. Корченко А.Г. Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения / А.Г. Корченко – К. : «МК-Пресс», 2006. – 320с.
104. Корченко А.Г. Метод преобразования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // Защита информации – 2013. – Том 15 №4. – С. 359-365.
105. Казмирчук С.В. Преобразования эталонов параметров для анализа и оценивания рисков / С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // Проблемы информатизации: I междунар. науч.-техн. конф., 19-20 декабря 2013 г.: Тезисы доп. – Черкасы, 2013. – С. 24.
106. Казмирчук С.В. Метод n-кратного понижения порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы / С.В. Казмирчук, Б.С. Ахметов, А.Ю. Гололобов, С.А. Гнатюк, Н.А. Сейлова // Безпека інформації. – 2014. – Т.20. – №3. – С. 306-311.
107. Корченко А.Г. Метод n-кратного понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, Б.С. Ахметов, А.Ю. Гололобов, Н.А. Сейлова // Защита информации – 2014. – Т.16. – №4, жовтень-грудень. – С. 284-291.
108. Корченко А.Г. Метод реализации функции трансформирования эталонов

- в задачах анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, Б.С. Ахметов, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // *Безпека інформації*. – 2015. – Т.21. – №1. – С. 306-311.
109. Корченко А.Г. Метод инкрементирования порядка лингвистических переменных для систем анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов, Ю.Б.Коваленко // *Захист інформації*. – 2015. – Т.17. – №2, квітень-червень. – С. 100-108.
110. Казмирчук С.В. Метод трансформирования термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков информационной безопасности / С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // *Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке: 18-й Международный молодежный форум, 14-16 апреля 2014 г.: Тезисы док.* – Харьков, 2014. Т. 9. – С. 77-78.
111. Корченко А.Г. Представление эталонов параметров лингвистических переменных для систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // *Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захист інформації: наук.-практ. конф., 25-28 лютого 2015 р.: Тези доп.* – К., 2015. – С. 70-75.
112. Корченко А.Г. Метод инкрементирования эталонов параметров для систем анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, Б.С. Ахметов, С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // *Стан та удосконалення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (SITS`2015): 7-та Всеук. наук.-практ. конф., 09-12 червня 2015 р.: Тези доп.* – с. Коблево Миколаївської обл., 2015. – С. 65-68.
113. Корченко А.Г. Методы анализа и оценки рисков потерь государственных информационных ресурсов / А.Г. Корченко, В.П. Щербина, С.В. Казмирчук // *Защита информации* – 2012. – №1. – С. 126-139.
114. Казмирчук С.В. Интегрированный метод анализа и оценивания рисков информационной безопасности / С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов // *Захист інформації*. – 2014. – Т.16. – №3, липень-вересень. – С. 252-261.

115. Корченко А.Г. Бистабильная кортежная модель характеристик риска / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, Ю.А. Дрейс, А.Ю. Гололобов // *Захист інформації* – 2016. – №4. – С. 230 – 238.
116. Корченко А.Г. Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков / А.Г. Корченко, С.В. Казмирчук, Б.С. Ахметов, М.Н. Жекамбаева // *Безпека інформації*. – 2015. – Т.21. –№2. – С. 191-200.
117. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements: ISO/IEC 27001:2013, International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Commission (IEC), 2013, 34 p.
118. Казмирчук С.В. Синтез систем оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем / С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов, А.Арджомандифард // *Вісник Інженерної академії наук*. – 2016. – №3. – С. 78-81.
119. Казмірчук С.В. Програмна система підтримки побудови моделі загроз / С.В. Казмірчук, А.Ю. Гололобов, К.В.Нікітіна // *АВІА-2013: XI Міжнар. наук.-техн. конф., 21-23 травня 2013 р. : Тези доп.* – К., 2013. – С. 2.9–2.12.
120. Корченко О.Г. Система оцінювання ризиків інформаційної безпеки / О.Г.Корченко, С.В. Казмірчук, А.Ю. Гололобов // *Стан та удосконалення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (SITS`2014): 6-та Всеукраїнська наук.-практ. конф., 09-12 вересня 2014 р.: Тези доп.* – с. Коблево Миколаївської обл., 2014. – С. 44-48.
121. Казмирчук С.В. Интегрированная адаптивная систем оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем / С.В. Казмирчук, А.Ю. Гололобов, М.С. Мовчан, Л.П. Рыбалко // *Безпека інформації*. – 2016. – Т.22. – №3. – С. 217-223.

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ**  
**«БЕЗПЕКА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ «ДЕЛЬТА»**  
код ЄДРПОУ 32820525  
03194, м. Київ, бульвар Кольцова, буд. 18а, кв. 48  
Р/р 26006132899, Банк ПАТ «АБ «Експрес-Банк», МФО 322959

---

**АКТ**

**впровадження результатів дисертаційної роботи Гололобова Андрія Юрійовича «Методи та моделі адаптивних систем оцінки ризиків» на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук та Казмірчук Світлани Володимирівни «Методологія оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем» у діяльності ТОВ «Безпека інформаційних систем «ДЕЛЬТА»**

Даний акт складено про те, що результати дисертаційних робіт Гололобова Андрія Юрійовича «Методи та моделі адаптивних систем оцінки ризиків» та Казмірчук Світлани Володимирівни «Методологія оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем» впроваджено та використовуються у діяльності компанії ТОВ «Безпека інформаційних систем «ДЕЛЬТА».

У процесі написання дисертацій авторами були розроблені програмні засоби «Інтегрованої адаптивної системи оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем», «Система оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем на основі відкритих баз даних» та «Поліфункціональна система оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем», які призначені для оцінювання ризиків безпеки інформаційних ресурсів при різних вихідних величинах, що враховують не тільки можливості експерта чітко детермінувати оціночні параметри, але і його невпевненість у своїх судженнях, а також дозволяє автоматизувати та реалізувати в реальному часі процес оцінювання ризиків без залучення експертів відповідної предметної області. Враховуючи особливості розроблених методів, на яких вони засновані, дані програмні засоби дають змогу забезпечити можливість їх функціонування в нечітких умовах, коли експерт має чіткі (бінарні) переваги щодо значень базових характеристик і, коли експерт не може однозначно визначити переваги щодо базових характеристик.

Таким чином, результати, отримані Гололобовим А.Ю. та Казмірчук С.В. при написанні дисертації, дозволили використовувати системи оцінювання ризиків безпеки інформаційних ресурсів в умовах нечіткості та підвищити ефективність і рівень автоматизації процесів управління ризиками при побудові комплексних систем захисту інформації та систем менеджменту інформаційної безпеки.

Генеральний директор  
ТОВ «БІС «Дельта»»



І. Решетник

УТВЕРЖДАЮ

Директор института

*Исц*

«05» 01



**АКТ**

внедрение в учебный процесс Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева диссертационной работы Гололобова Андрея Юрьевича «Методы и модели адаптивных систем оценки рисков» на соискание степени кандидата технических наук и Казмирчук Светланы Владимировны «Методология оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем» по специальности «Системы защиты информации» (Национального авиационного университета (Украина, Киев)).

Комиссия в составе: председатель – заведующий кафедрой информационной безопасности (ИБ) Сейлова Н.А., члены комиссии – д.т.н., ассоциированный профессор кафедры ИБ Джурунтаев Д.З. и к.т.н., ассоциированный профессор кафедры ИБ Тынымбаев С.Т., составили настоящий акт о том, что результаты диссертационных работ Гололобова Андрея Юрьевича «Методы и модели адаптивных систем оценки рисков» и Казмирчук Светланы Владимировны «Методология оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем» внедрены в учебный процесс и используются на кафедре ИБ при преподавании следующих дисциплин (гостевые лекции): «Кибербезопасность и управление информационной безопасностью», «Социотехническая безопасность и управление рисками информационной безопасностью» и «Современные методы и средства оценивания рисков информационной безопасности». Данные дисциплины преподаются для бакалавров, магистрантов, докторантов и преподавателей Института информационных и телекоммуникационных технологий КазНИТУ имени К.И. Сатпаева.

Председатель комиссии,  
заведующий кафедрой  
информационной безопасности

Н. Сейлова

Члены комиссии:  
Д.т.н., ассоциированный профессор кафедры  
информационной безопасности

Д. Джурунтаев

к.т.н., ассоциированный профессор кафедры  
информационной безопасности

С. Тынымбаев

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з навчальної та виховної  
роботи Національного авіаційного  
університету

Т. Іванова

« 02 » 03 2017 г.

## АКТ

впровадження у навчальний процес Національного авіаційного університету результатів дисертаційної роботи Гололобова Андрія Юрійовича «МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ОЦІНКИ РИЗИКІВ» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук та дисертаційної роботи Казмірчук Світлани Володимирівни «МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ БЕЗПЕКИ РЕСУРСІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ» на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Комісія у складі: голова – заступник завідувача кафедри безпеки інформаційних технологій (БІТ) Іванченко Є.В., члени комісії – доцент кафедри БІТ Жмурко Т.О. та доцент кафедри БІТ Гізун А.І., склали цей акт про те, що результати дисертаційних робіт Гололобова Андрія Юрійовича «Методи та моделі адаптивних систем оцінки ризиків» та Казмірчук Світлани Володимирівни «Методологія оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем» впроваджені у навчальний процес і використовуються на кафедрі БІТ при викладанні наступних дисциплін: «Теорія ризику», «Менеджмент інформаційної безпеки», «Комплексні системи захисту інформації» та «Управління інформаційною безпекою». Дані дисципліни викладаються при підготовці бакалаврів за напрямом 6.170103 «Управління інформаційною безпекою» та 6.170102 «Системи захисту інформації».

№ з/п	Назва роботи, що впроваджується	Форма впровадження	Ефективність від впровадження
	1	2	3
1.	Бістабільна інтегрована кортежна модель характеристик ризику (аналітико-синтетична модель характеристик ризику)	Лекція	Ознайомлення студентів з аналітико-синтетичною моделлю характеристик ризику, яка використовується для спрощення аналізу існуючих засобів оцінювання ризиків за допомогою аналітичного кортежу та побудови ефективних відповідних систем, шляхом використання синтетичного кортежу.
2.	Методи оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем	Лекція	Ознайомлення студентів з методами оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем.
3.	Методологія процесу синтезу систем оцінювання ризиків	Практичні заняття	Ознайомлення студентів з методологією процесу синтезу систем оцінювання ризиків безпеки ресурсів інформаційних систем та використання програмних комплексів розроблених на основі цієї методології для оцінювання ризиків.

Голова комісії,  
заступник завідувача кафедри безпеки  
інформаційних технологій

Є.Іванченко

Члени комісії:

доцент кафедри безпеки  
інформаційних технологій

Т.Жмурко

доцент кафедри безпеки  
інформаційних технологій

А.Гізун