

**Министерство образования и науки Республики Казахстан
Каспийский государственный университет технологий и
инжиниринга имени Ш.Есенова**

Ахметов Б.Б., Корченко А.Г., Архипов А.Е., Казмирчук С.В.

**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ
РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.
ТЕОРИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ
(КНИГА 2)**

Рекомендовано Ученым советом университета

Актау, 2018

УДК 004.056(02)
ББК 32.973.26-018.я73
П 63

Рецензенты:

Муратбеков М.М. – к.ф.-м.н., PhD, директор Центра информационных технологий Казахского университета экономики, финансов и международной торговли.

Жумабаева Л.О. – доцент кафедры «Компьютерный инжиниринг» Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова.

Рекомендовано к печати Ученым советом Каспийского государственного университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова.

П 63 Б.Б. Ахметов, А.Г. Корченко, А.Е. Архипов, С.В. Казмирчук. Построение систем анализа и оценивания рисков информационной безопасности. Теория и практические решения. Монография. В 2-кн. Кн. 2, Актау: редакционно-издательский отдел КГУТИ им.Ш.Есенова, 2018 – 346 с., 29 пл.

ISBN 978-601-308-081-9

Монография посвящена теоретико-методологическим и практическим аспектам оценивания рисков информационной безопасности. Рассмотрены базовые понятия и модели рисков, международные и национальные нормативные документы в сфере оценивания и управления рисками. Значительное внимание уделено оцениванию потерь, обусловленных реализацией угроз информации (модели потерь, шкалы и структуры ценности информационных ресурсов, нонусная и сценарная методики определения потерь), и вероятностных параметров рисков. Уделено внимание разработке методов модификации порядка лингвистической переменной при переопределении эталонов параметров, а также оцениванию рисков безопасности ресурсов информационных систем в реальном времени с использованием CVSS метрик, которые содержатся в открытых базах данных уязвимостей. Подробно рассмотрены вопросы практического оценивания рисков без привлечения экспертов соответствующей предметной области при нечетких и детерминированных условиях оценивания с использованием параметров, которые могут быть представлены как в числовой, так и лингвистической форме с учетом периода времени, отрасли промышленности, экономической и управленческой специфики предприятия.

Книга предназначена для научных работников, инженеров, аспирантов и студентов высших учебных заведений соответствующего профиля.

ISBN 978-601-308-081-9

УДК 004.056(02)
ББК 32.973.26-018.я73

© Б.Б. Ахметов, 2018
© А.Г. Корченко, 2018
© А.Е. Архипов, 2018
© С.В. Казмирчук, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ	6
Глава 1. БАЗОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И МОДЕЛИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	8
1.1. Интегрированная модель представления параметров риска.....	9
1.2. Аналитико-синтетическая кортежная модель ха- рактеристик риска.....	17
1.3. Характеристики риска, используемые в средствах анализа и оценивания рисков.....	30
1.4. Метод формирования кортежей для аналитико- синтетической кортежной модели.....	44
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1	53
Глава 2. БАЗОВЫЕ МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПО- РЯДКА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕН- НЫХ ДЛЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВА- НИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗ- ОПАСНОСТИ	57
2.1. Метод декрементирования числа термов лингви- стических переменных на трапециевидных нечетких числах.....	58
2.2. Метод декрементирования числа термов лингви- стических переменных на треугольных нечетких числах.....	72
2.3. Метод n -кратного декрементирования порядка лингвистических переменных на трапециевидных нечетких числах.....	84
2.4. Метод n -кратного декрементирования порядка лингвистических переменных на треугольных нечетких числах.....	99
2.5. Метод инкрементирования числа термов лингви- стических переменных на трапециевидных нечетких числах.....	111
2.6. Метод инкрементирования числа термов лингви- стических переменных на треугольных нечетких числах.....	129

2.7. Метод n-кратного инкрементирования порядка лингвистических переменных на трапецевидных нечетких числах.....	143
2.8. Метод n-кратного инкрементирования порядка лингвистических переменных на треугольных нечетких числах.....	165
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2.....	184
Глава 3. МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ.....	186
3.1. Аналитические выражения верификации лингвистических переменных для систем оценивания рисков информационной безопасности.....	186
3.2. Метод преобразования интервалов в трапецевидные нечеткие числа.....	196
3.3. Метод преобразования интервалов в треугольные нечеткие числа.....	207
3.4. Детерминированный метод анализа и оценивания рисков потери информационных ресурсов.....	217
3.5. Метод анализа и оценивания рисков в нечеткой среде.....	229
3.6. Интегрированный метод анализа и оценивания рисков информационной безопасности.....	239
3.7. Качественно-количественный метод оценивания рисков.....	248
3.8. Метод оценивания рисков информационной безопасности на основе открытых баз данных уязвимостей.....	276
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3.....	299
Глава 4. СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	300
4.1. Методология синтеза адаптивных систем оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем.....	301
1. Определение базовых параметров.....	302
2. Выбор метода оценивания рисков.....	302
3. Выбор баз данных ресурсов информационных систем и угроз/уязвимостей.....	304

4. Идентификация ресурсов информационных систем и угроз/уязвимостей.....	304
5. Формирование множества параметров оценивания рисков.....	305
6. Формирование эталонов.....	305
7. Выбор метода трансформирования термов.....	306
8. Верификация лингвистических переменных.....	306
9. Определение оценочных параметров (фаззификация).....	307
10. Оценивание и интерпретация степени риска (дефаззификация).....	307
4.2. Детерминированная система анализа и оценивания рисков.....	309
4.3. Система анализа и оценивания рисков в нечеткой среде.....	314
4.4. Программная система анализа и оценивания рисков.....	316
4.5. Интегрированная адаптивная система оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем.....	319
4.6. Система оценивания рисков информационной безопасности – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР».....	326
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 4.....	341
ВЫВОДЫ.....	342

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АК	аналитический кортеж
АОР	анализ и оценивание рисков
АСМ	аналитико-синтетическая кортежная модель характеристик риска
БД	базы данных
БДИР	базы данных информационных ресурсов
БДПП	базы данных проектов пользователей
БДУ	базы данных угроз
ЗИ	защита информации
ИА	информационные активы
ИАСОР	интегрированная адаптированная система оценивания рисков
ИБ	информационная безопасность
ИД	исходные данные
ИКС	информационно-коммуникационные системы
ИП	идентифицирующие параметры
ИППР	интегрированное представление параметров риска
ИР	информационные ресурсы
ИС	информационная система
ИТС	информационно-телекоммуникационная система
ИТТ	информационно-телекоммуникационные технологии
КЛ	количественная
КСЗИ	комплексная система защиты информации
КЧ	качественная
ЛП	лингвистическая переменная
МБС	метод на основе байесовских сетей
МГ	метрическая группа
МГО	модуль генерации отчетов
МИИК	модуль инициализации идентифицирующих компонент
МКТЗ	модуль классификации текущих значений
МЛР	модуль лингвистического распознавания
МНСИ	материальный носитель секретной информации
МОК	модуль оценки значений оценочных компонент
МПВ	модуль процесса выборки
МР	мера риска
МСР	модуль оценивания значения степени рисков

МФКД	модуль формирования ключевых данных
МФСР	модуль формирования структурированного параметра риска
МФЭЗ	модуль формирования эталонных значений
НМД	несанкционированная модификация данных
НСД	несанкционированный доступ
НСМ	несанкционированная модификация
НЧ	нечеткое число
ОР	оценка рисков
ОП	оценочные параметры
ОУ	оценка угрозы
ПВР	показатель вероятности риска
ПК	персональный компьютер
ПО	программное обеспечение
ПП	проекты пользователей
ПС	программное средство
ПСОПП	подсистема обработки первичных параметров
ПСФД	подсистема формирования данных
ПСФНД	подсистема формирования нечетких данных
РИС	ресурсы информационной системы
РП	рискообразующий потенциал
СВР	степень возможности реализации угроз
СЗИ	средства защиты информации
СК	синтетический кортеж
СМИБ	система менеджмента информационной безопасности
СОР	средства оценивания риска
СР	степень риска
СУБД	система управления базами данных
ТП	технологические процессы
УОК	уровень оценочного компонента
УР	уровень риска
ФП	функция принадлежности
DetM	детерминированный метод
Det-AOP	детерминированная система анализа и оценивания рисков
FuzM	нечеткий метод
Fuz-AOP	система анализа и оценивания рисков в нечеткой среде

Глава 1. БАЗОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И МОДЕЛИ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В книге 1 проведен анализ толкований риска во многих отраслях человеческой деятельности с целью его отображения на сферу информационной безопасности (ИБ), а также выделены базовые характеристики риска, которые можно интерпретировать, как его параметры.

Для исследуемого множества толкований риска можно выделить его базовые характеристики:

- риск рассматривается как измеряемая или рассчитываемая вероятность;
- риск связан с наступлением определенного события (как правило, не благоприятного);
- понятие риска раскрывается через деятельность субъекта;
- риск раскрывается через независящее от субъекта деятельности событие;
- акцент делается на количественную и качественную оценку риска – «меру риска»;
- понятие риска раскрывается через неопределенность;
- риск отображается ситуацией выбора из двух или из n вариантов действия;
- риск воспринимается как опасность, частота, затраты и потери, характеристика ситуации, суммарная величина.

Все вышеперечисленные определения (см. книгу 1) в различной мере раскрывают понятие риска и характеризуют его с разных сторон.

После проведенного анализа этого понятия в различных сферах жизнедеятельности человека, можно выделить одну его характеристику, которая встречается во всех определениях и объединяет их – это событие, которое должно произойти, которое авторы связывают с вероятностью, действием или деятельностью, мерой, частотой, выбором определенных решений и т.д.

В аспекте ИБ риск можно связать с событием реализации угрозы ресурсам информационных систем (ИС), вследствие которого произошло нарушение одной или более их базовых характеристик безопасности – конфиденциальности, целостности, доступности. Также его, можно описать как: вероятность события, которое при-

вело 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 ИБ принимаются в условиях неопределенности [1].

Проведенный анализ показывает, что различные трактования риска имеют общее множество характеристик, например, связь риска с вероятностью и наступлением определенного события и др. Для интерпретации этого понятия в области ИБ необходимо выделить множество его базовых характеристик присущих для этой сферы.

Существующие методики оценки и анализа риска (АОР) ИБ за основу берут только несколько параметров, например, вероятность, опасность и частоту. Часто при построении систем менеджмента ИБ или при проведении ее аудита, возникают случаи, при которых необходимо отразить риск через другие параметры, например, таких как, затраты и потери, неопределённость, характеристика ситуации и т.д.

1.1. Интегрированная модель представления параметров риска

Предлагается для интегрированного представления параметров риска с отображением на сферу ИБ, представить его в виде десяти-компонентного 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 символической переменной, прини-

мающей 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 информационных систем (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 . С точки зрения ИБ 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.

Прежде чем раскрыть компонент **меру риска** (M), отметим, что одной из базовых процедур, производимых над риском, является его измерение (оценка) [2]. В [3], по способу получения значения измеряемой величины, определены (как основные) прямые и косвенные измерения. При прямом измерении, искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных (т.е. измеряемая величина непосредственно сравнивается с мерой), а при косвенном – на основании известной зависимости этой величины и величин, получаемых прямыми измерениями.

В ряде случаев, когда нет прямых шкал, используют либо прямые шкалы других свойств (связанных с интересующими нас) либо

определяют новые [4]. Примером является шкала для измерения субъективного свойства «ценность ИР». Она может измеряться в производных шкалах, например, таких как стоимость или время восстановления ресурса и др. [5].

Альтернативный вариант – определить шкалу для получения экспертной оценки [6], например, имеющую три значения: малоценный ИР (от него не зависят критически важные задачи и его восстановление связано с небольшими затратами времени и денег); ресурс средней ценности (от него зависит ряд важных задач, но в случае его утраты возможно восстановление за некритически допустимое время, а стоимость восстановления высокая); ценный ресурс (от него зависят критически важные задачи и в случае его утраты время восстановления превышает критически допустимое, либо стоимость чрезвычайно высока) [7].

Для измерения рисков пока не существует естественной – простой шкалы и поэтому их оценивают по объективным либо субъективным критериям [4]. Примером объективного критерия является вероятность выхода из строя какого-либо оборудования, например, персональный компьютер (ПК) за определенный промежуток времени, а субъективного – оценка (владельцем информационных ресурсов (ИР)) риска выхода из строя ПК. Для этого обычно разрабатывается качественная шкала с несколькими градациями, например: низкий, средний и высокий уровни [4].

Для измерения риска в сфере ИБ обычно используются качественные и количественные шкалы: вероятностные, денежные [8], лингвистические [9], бинарные [9, 10], а также возможны измерения с помощью коэффициентов. В этой связи, компонент M , с учетом характера измерений в области ИБ, можно отобразить трехкомпонентным множеством

$$M \in \{M_{кл}, M_{кч}, M_{и}\},$$

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

В [11] понятие риска, во множестве его толкований, раскрывается так же через неопределённость. С точки зрения ИБ базовый признак риска **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.

Четвертый компонент кортежа **вероятность** (P) появления события E (например, с идентификатором E_3). Вероятность часто разделяют на «объективную» (иногда называемую физической) и «субъективную» [12]. 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 [6, 12].

Следует отметить, что когда возникают сложности с получением статистических данных, а также для простоты интерпретации величин, эксперты используя логико-лингвистический подход отображают этот компонент через лингвистическую переменную (ЛП) [11] «ВЕРОЯТНОСТЬ» с базовым терм-множеством

$$P = \bigcup_{i=1}^p P_i$$

(p – количество термов), для членов которого справедливо отношение порядка $P_1 < P_2 < \dots < P_p$. Например, при $p=3$ для указанной ЛП

можно сформировать множество термов [13] $P = \bigcup_{i=1}^3 P_i = \{\text{«низкая (Н)»}, \text{«средняя (С)»}, \text{«высокая (В)»}\}$, отображаемых нечеткими числами, для которых (используя известные методы [11]) опреде-

ляются соответствующие функции принадлежности (ФП). 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 E . 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

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

позволяющего интерпретировать выбор посредством s вариантов. Например, при $s=2$ для указанной ЛП 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 $\underline{M}P, \underline{B}P$ или $\underline{M}N, \underline{B}N$ [11, 14].

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

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

Например, при $d=3$ можем определить

$$D = \bigcup_{i=1}^3 D_i = \{\text{«низкая (Н)»}, \text{«средняя (С)»}, \text{«высокая (В)»}\},$$

а **мере** будет соответствовать $M_{кч}$.

Следующий компонент кортежа **частота (F)**, который в области ИБ можно связать с частотой реализации «угрозы», приведшей к событию E . Такой компонент можно отображать численно или через ЛП – «ЧАСТОТА»:

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

например, при $f=3$ –

$$F = \bigcup_{i=1}^3 F_i = \{\text{«низкая (Н)»}, \text{«средняя (С)»}, \text{«высокая (В)»}\}.$$

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»:

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

например, при $l=5$ –

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

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) [15], при этом **мера** будет отображаться параметром $M_{и}$.

Отклонение от цели (нормы) (V) – этот компонент, как и **P** может отображаться числоно (например, как стандартное (квадратичное), вероятное или допускаемое отклонение [16]), так и посредством применения логико-лингвистического подхода с помощью ЛП «ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ»:

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

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

$$V = \bigcup_{i=1}^3 V_v = \{\text{«маленькое (M)»}, \text{«среднее (C)»}, \text{«большое (B)»}\},$$

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

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

Идентифицирующие компоненты выступают в качестве интегрированного идентификатора риска и могут, отображаются с помощью оценочных компонент 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 =«НЦД», а действие, которое привело к нему, например, A_3 =«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).

Рассмотрим пример с параметрами P , D , F и L , показывающий взаимосвязь (на уровне лингвистического вывода) оценочных компонентов D , P и F , посредством зависимости параметров для D и L , заданных в табл. 1.1 и табл. 1.2.

Таблица 1.1. Зависимость параметров P и F для D

Вероятность (P)	Частота (F)		
	«Высокая (В)»	«Средняя (С)»	«Низкая (Н)»
«Высокая (В)»	«В»	«С»	«Н»
«Средняя (С)»	«С»	«С»	«Н»
«Низкая (Н)»	«Н»	«Н»	«Н»

Пусть по отношению к ИС произошло действие $A_3 =$ «Сбой программного обеспечения» и определены (для D) соответствующие зависимости параметров P и F (см. табл. 1.1).

Тогда на основе этих зависимостей можно отобразить D посредством следующих правил:

1) ЕСЛИ Вероятность (P) A_3 «Высокая» И Частота (F) реализации такого A_3 «Высокая» ТОГДА Опасность (D) при A_3 для ИС = Высокая;

2) ЕСЛИ $P (A_3)$ «В» И $F (A_3)$ «С» ТОГДА $D (A_3) =$ «С»;

3) ЕСЛИ $P (A_3)$ «В» И $F (A_3)$ «Н» ТОГДА $D (A_3) =$ «Н»;

4) ЕСЛИ $P (A_3)$ «С» И $F (A_3)$ «В» ТОГДА $D (A_3) =$ «С»;

5) ЕСЛИ $P (A_3)$ «С» И $F (A_3)$ «С» ТОГДА $D (A_3) =$ «С»;

6) ЕСЛИ $P (A_3)$ «С» И $F (A_3)$ «Н» ТОГДА $D (A_3) =$ «Н»;

7) ЕСЛИ $P (A_3)$ «Н» И $F (A_3)$ «В» ТОГДА $D (A_3) =$ «Н»;

8) ЕСЛИ $P (A_3)$ «Н» И $F (A_3)$ «С» ТОГДА $D (A_3) =$ «Н»;

9) ЕСЛИ $P (A_3)$ «Н» И $F (A_3)$ «Н» ТОГДА $D (A_3) =$ «Н».

Аналогично можем определить зависимости (см. табл. 1.2) и построить возможные взаимосвязи для компонентов D , F и L .

Таблица 1.2. Зависимость параметров D и F для L

Опасность (D)	Частота (F)		
	«Высокая (В)»	«Средняя (С)»	«Низкая (Н)»
«Высокая (В)»	«В»	«ВС»	«НС»
«Средняя (С)»	«ВС»	«С»	«НС»
«Низкая (Н)»	«НС»	«НС»	«Н»

- 1) ЕСЛИ Опасность (D) A_3 «Высокая» И Частота (F) A_3 «Высокая» ТОГДА Расходы (L) A_3 = Высокие (В);
- 2) ЕСЛИ $D (A_3)$ «В» И $F (A_3)$ «С» ТОГДА $L (A_3)$ = «ВС»;
- 3) ЕСЛИ $D (A_3)$ «В» И $F (A_3)$ «Н» ТОГДА $L (A_3)$ = «НС»;
- 4) ЕСЛИ $D (A_3)$ «С» И $F (A_3)$ «В» ТОГДА $L (A_3)$ = «ВС»;
- 5) ЕСЛИ $D (A_3)$ «С» И $F (A_3)$ «С» ТОГДА $L (A_3)$ = «С»;
- 6) ЕСЛИ $D (A_3)$ «С» И $F (A_3)$ «Н» ТОГДА $L (A_3)$ = «НС»;
- 7) ЕСЛИ $D (A_3)$ «Н» И $F (A_3)$ «В» ТОГДА $L (A_3)$ = «НС»;
- 8) ЕСЛИ $D (A_3)$ «Н» И $F (A_3)$ «С» ТОГДА $L (A_3)$ = «НС»;
- 9) ЕСЛИ $D (A_3)$ «Н» И $F (A_3)$ «Н» ТОГДА $L (A_3)$ = «Н».

Следует отметить, что многие известные методики для управления, анализа и оценки риска в сфере ИБ, (например, Cobra, NIST 800-30, CRAMM и т.д.) используют в качестве исходящих параметров P и L , но как видно из [14, 17] часто требуются альтернативные варианты. Если необходимо отобразить риск через другие параметры, то нужно расширить известные методики за счет дополнительных модулей, устанавливающих соответствующие взаимосвязи между заданными величинами (характеризующими риск) и искомыми. Это позволит повысить гибкость существующих методик оценки и анализа риска и расширит возможности их использования.

1.2. Аналитико-синтетическая кортежная модель характеристик риска

Развитие IT-инфраструктуры предприятий влечет за собой стремительный неконтролируемый рост количества уязвимостей РИС [23, 24]. Для обеспечения необходимого уровня безопасности РИС обычно на предприятиях внедряют соответствующие системы защиты информации (ЗИ) [23-25]. Одним из основных этапов построения таких систем является реализация процесса анализа и оценивания рисков ИБ. На сегодняшний день существует множество инструментальных средств [25], 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 п. 1.1 была разработана интегрированная модель представления параметров риска на основе десятикомпонентного кортежа, с помощью которой осуществлялся анализ подобных средств. При практическом использовании представленной в п. 1.1 модели появилась необходимость в разделении входящих в нее параметров на те, посредством которых проводился бы анализ существующих средств оценивания и те, с помощью которых в перспективе в определенных условиях реализовывался процесс оценивания, например, в реальном времени или в условиях, позволяющих адаптировать нечеткие шкалы и др. 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 необходимого уровня ЗИ, осуществления его поддержки и разработки стратегии развития ИС [23-25] с учетом постоянного роста количества уязвимостей ее ресурсов.

С целью формализации процесса формирования необходимых характеристик предлагается соответствующая аналитико-синтетическая кортежная модель характеристик риска (АСМ) (см. рис. 1.1), в которой осуществляется генерирование требуемого аналитического и синтетического кортежей. В модели вводится множество всех возможных характеристик риска:

$$BC = \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} BC_i \right\} = \{BC_1, BC_2, \dots, BC_{bc}\}, \quad (1.1)$$

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

$$BC_i = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_i} BC_{i,bo} \right\} = \{BC_{i,1}, BC_{i,2}, \dots, BC_{i,n_i}\} \quad (1.2)$$

Таким образом, (1.1) с учетом (1.2) можем записать как:

$$\left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} BC_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_i} BC_{i,bo} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{bc} \{BC_{i,1}, BC_{i,2}, \dots, BC_{i,n_i}\} \right\} = \quad (1.3)$$

$$\{ \{ BC_{1,1}, BC_{1,2}, \dots, BC_{1,n_1} \}, \{ BC_{2,1}, BC_{2,2}, \dots, BC_{2,n_2} \}, \dots, \\ \{ BC_{bc,1}, BC_{bc,2}, \dots, BC_{bc,n_{bc}} \} \},$$

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

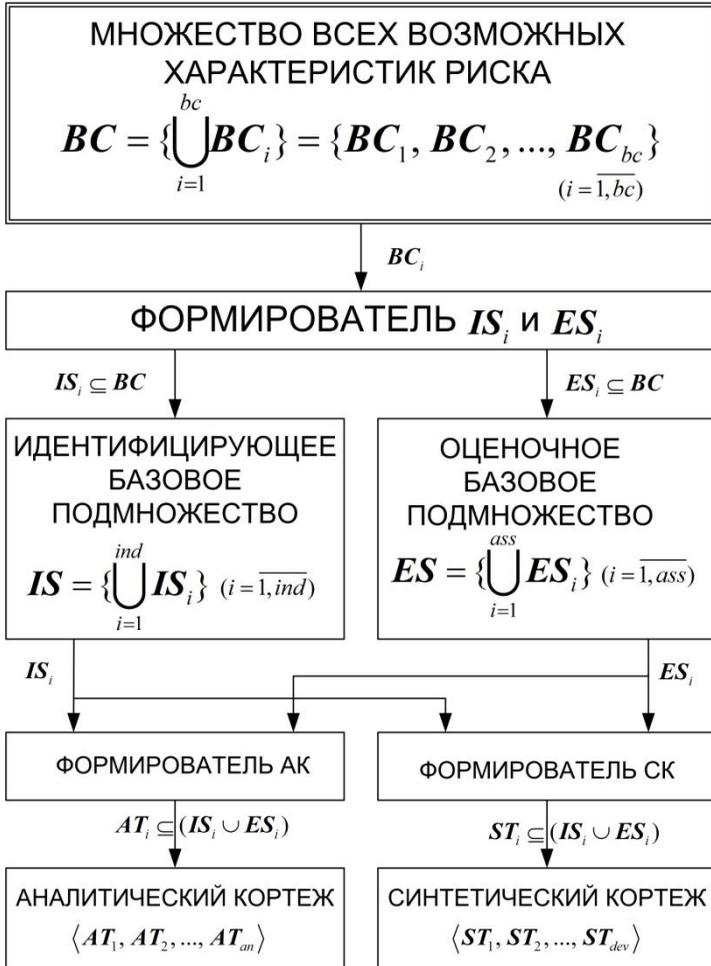


Рис. 1.1. Структурно-аналитическое отображение АСМ

Например, с учетом (1.1)-(1.3) 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 [26-34]:

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

Здесь в составе множества **BC** есть:

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

$$BC_1 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_1} BC_{1,bo} \right\} = AES = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{aes} AES_{bo} \right\} \quad (BC_1 \subseteq BC, bo = \overline{1, aes}),$$

где $n_1 = aes$ – количество вариантов адаптируемости нечетких шкал оценивания, например, при $aes = 2$

$$BC_1 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_1} BC_{1,bo} \right\} = \{BC_{1,1}, BC_{1,2}\} = AES = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 AES_{bo} \right\} =$$

$$\{AES_1, AES_2\} = \{ \text{«декрементирование»}, \text{«инкрементирование»} \},$$

($BC_{1,1} = AES_1$, $BC_{1,2} = AES_2$ – варианты адаптируемости нечетких шкал оценивания для параметрических нечетких чисел (НЧ), например, трапецевидных 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

$$BC_2 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_2} BC_{2,bo} \right\} = CA = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{ca} CA_{bo} \right\} \quad (BC_2 \subseteq BC, bo = \overline{1, ca}),$$

где $n_2 = ca$ – количество вариантов калькулятора, например, при $ca=2$

$$BC_2 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_2} BC_{2,bo} \right\} = \{BC_{2,1}, BC_{2,2}\} = CA = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 CA_{bo} \right\} =$$

$$\{CA_1, CA_2\} = \{\text{«CVSS-калькулятор»}, \text{«Риск-калькулятор»}\},$$

($BC_{2,1} = CA_1$, $BC_{2,2} = CA_2$ – 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

$$BC_3 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_3} BC_{3,bo} \right\} = CS = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{cs} CS_{bo} \right\} \quad (BC_3 \subseteq BC, bo = \overline{1, cs}),$$

где $n_3 = cs$ – количество идентификаторов характеристики ситуации. Например, при $cs=2$ подмножество BC_3 может представляться как:

$$BC_3 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 BC_{3,bo} \right\} = \{BC_{3,1}, BC_{3,2}\} =$$

$$CS = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 CS_{bo} \right\} = \{CS_1, CS_2\} = \{\text{«Определённая»}, \text{«Нечеткая»}\},$$

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 ЛП [25]

$$BC_4 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_4} BC_{4,bo} \right\} = D = \left\{ \bigcup_{bo=1}^d D_{bo} \right\} \quad (BC_4 \subseteq BC, bo = \overline{1, d}),$$

где $n_4 = d$ – количество термов ЛП «ОПАСНОСТЬ». Например, при $d=3$ подмножество BC_4 может представляться как:

$$BC_4 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_4} BC_{4,bo} \right\} = \{BC_{4,1}, BC_{4,2}, BC_{4,3}\} =$$

$$D = \left\{ \bigcup_{bo=1}^3 \underline{D}_{bo} \right\} = \{\underline{D}_1, \underline{D}_2, \underline{D}_3\} = \{\underline{H}, \underline{C}, \underline{B}\},$$

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

терм-множества 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 допустимое отклонение [14, 25]) или посредством применения логико-лингвистического подхода с помощью ЛП «ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ», т.е.

$$BC_5 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_5} BC_{5,bo} \right\} = DT = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{dt} \underline{DT}_{bo} \right\}$$

$$(BC_5 \subseteq BC, \text{ а } \underline{DT}_1 < \underline{DT}_2 < \dots < \underline{DT}_{dt}, bo = \overline{1, dt}),$$

где $n_5 = dt$ – количество термов ЛП «ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЦЕЛИ».

Например, при $dt=3$ можно сформировать следующее множество термов:

$$BC_5 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_5} BC_{5,bo} \right\} = \{BC_{5,1}, BC_{5,2}, BC_{5,3}\} = DT =$$

$$\left\{ \bigcup_{bo=1}^3 \underline{DT}_{bo} \right\} = \{\underline{DT}_1, \underline{DT}_2, \underline{DT}_3\} = \{\text{«Маленькое (М)», «Среднее (С)», «Большое (Б)»\},$$

где $BC_{5,1} = DT_1$, $BC_{5,2} = DT_2$ и $BC_{5,3} = DT_3$ – 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

$$BC_6 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_6} BC_{6,bo} \right\} = E = \left\{ \bigcup_{bo=1}^e E_{bo} \right\} \quad (BC_6 \subseteq BC, bo = \overline{1, e}),$$

где $n_6 = e$ – количество идентификаторов нарушения ИБ РИС. Например, при $e=7$ подмножество BC_6 может представляться как:

$$BC_6 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^7 BC_{6,bo} \right\} = \{BC_{6,1}, BC_{6,2}, \dots, BC_{6,7}\} = E = \left\{ \bigcup_{bo=1}^7 E_{bo} \right\} =$$

$\{E_1, E_2, \dots, E_7\} = \{$ «Нарушение конфиденциальности (НК)»,
«Нарушение целостности (НЦ)», «Нарушение доступности (НД)»,
«Нарушение целостности и конфиденциальности (НЦК)»,
«Нарушение целостности и доступности (НЦД)»,
«Нарушение конфиденциальности и доступности (НКД)»,
«Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности (НКЦД)» $\}$,

где $BC_{6,1} = E_1$, $BC_{6,2} = E_2$, ..., $BC_{6,7} = E_7$ – 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:

$$BC_7 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_7} BC_{7,bo} \right\} = \{BC_{7,1}, BC_{7,2}, BC_{7,3}\} = F = \left\{ \bigcup_{bo=1}^f \underline{F}_{bo} \right\} =$$

$$\left\{ \bigcup_{bo=1}^3 \underline{F}_{bo} \right\} = \{\underline{F}_1, \underline{F}_2, \underline{F}_3\} \quad (BC_7 \subseteq BC, bo = \overline{1, f}),$$

где $n_7 = f$ – количество термов ЛП «ЧАСТОТА» ($BC_{7,1} = \underline{F}_1$, $BC_{7,2} = \underline{F}_2$, $BC_{7,3} = \underline{F}_3$ – элементы базового терм-множества F , отображающие частоту в виде нечетких значений);

– элемент L – «Расходы» ($BC_8 = L$), который может быть представлен числоно, 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,

$$BC_8 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_8} BC_{8,bo} \right\} = L = \left\{ \bigcup_{bo=1}^l \underline{L}_{bo} \right\}, (BC_8 \subseteq BC, bo = \overline{1, l}),$$

где $n_8 = l$ – количество термов ЛП «РАСХОДЫ». При $l=5$ ЛП принимает вид:

$$BC_8 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_8} BC_{8,bo} \right\} = \{BC_{8,1}, BC_{8,2}, BC_{8,3}, BC_{8,4}, BC_{8,5}\} =$$

$$L = \left\{ \bigcup_{bo=1}^5 \underline{L}_{bo} \right\} = \{\underline{L}_1, \underline{L}_2, \underline{L}_3, \underline{L}_4, \underline{L}_5\} = \{ \underline{H}, \underline{HC}, \underline{C}, \underline{BC}, \underline{B} \},$$

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) [14, 25];

– элемент M – «**Мера риска**» ($BC_9 = M$), который можно представить подмножеством

$$BC_9 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_9} BC_{9,bo} \right\} = M = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{me} M_{bo} \right\} \quad (BC_9 \subseteq BC, bo = \overline{1, me}),$$

где $n_9 = me$ – количество возможных идентификаторов меры риска. Например, при $me = 3$ подмножество BC_9 может иметь вид:

$$BC_9 = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_9} BC_{9,bo} \right\} = \{BC_{9,1}, BC_{9,2}, BC_{9,3}\} = M = \left\{ \bigcup_{bo=1}^3 M_{bo} \right\} =$$

$\{M_1, M_2, M_3\} = \{\text{«Количественная (например, характеризуемая численно)», «Качественная (например, характеризуемая лингвистически)», «Интегрированная (например, характеризуемая численно и лингвистически)»}\},$

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 получением статистических данных или для простоты интерпретации величин, эксперты часто используют логико-лингвистический подход. С его помощью осуществляется отображение соответствующей характеристики посредством ЛП [25] «Вероятность». Она определяется базовым терм-множеством, например,

$$BC_{10} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{10}} BC_{10,bo} \right\} = P = \left\{ \bigcup_{bo=1}^p \underline{P}_{bo} \right\} \quad (BC_{10} \subseteq BC, bo = \overline{1, p}),$$

где $n_{10} = p$ – количество термов ЛП «Вероятность», для членов которого справедливо отношение порядка $\underline{P}_1 < \underline{P}_2 < \dots < \underline{P}_p$.

Например, при $p=3$ подмножество BC_{10} может представляться как:

$$BC_{10} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{10}} BC_{10,bo} \right\} = \{BC_{10,1}, BC_{10,2}, BC_{10,3}\} =$$

$$P = \left\{ \bigcup_{bo=1}^3 P_{\sim bo} \right\} = \{P_1, P_2, P_3\} = \{\underline{H}, \underline{C}, \underline{B}\}$$

и отображаться НЧ \underline{H} , \underline{C} и \underline{B} , имеющими лингвистический эквивалент «низкая» (Н), «средняя» (С) и «высокая» (В) соответственно. Здесь $BC_{10,1} = P_1$, $BC_{10,2} = P_2$ и $BC_{10,3} = P_3$ – элементы ба-

зового терм-множества P отображающие значения вероятности в лингвистической форме. Как правило, для указанных НЧ на основе известных методов [11, 25] формируются необходимые 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 множеством 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

$$BC_{11} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{11}} BC_{11,bo} \right\} = SC = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{sc} \underline{SC}_{bo} \right\} \quad (BC_{11} \subseteq BC, bo = \overline{1, sc}),$$

где $n_{11} = sc$ – 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

$$BC_{11} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{11}} BC_{11,bo} \right\} = \{BC_{11,1}, BC_{11,2}\} = SC = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 \underline{SC}_{bo} \right\} =$$

$\{\underline{SC}_1, \underline{SC}_2\} = \{\text{«Менее привлекательная (МП)», «Более привлекательная (БП)»}\}$ или

$$SC = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 \underline{SC}_{bo} \right\} = \{ \text{«Менее надежная (МН)»}, \text{«Более надежная (БН)»} \},$$

которые соответственно отображаются НЧ $\underline{МП}$, $\underline{БП}$ или $\underline{МН}$, $\underline{БН}$,

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

$$BC_{12} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{12}} BC_{12,bo} \right\} = V = \left\{ \bigcup_{bo=1}^n V_{bo} \right\} \quad (BC_{12} \subseteq BC, bo = \overline{1, n}),$$

где $n_{12} = n$ – количество возможных уязвимостей (и соответственно их идентификаторов) РИС. Например, при $n=3$ подмножество

$$BC_{12} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^3 BC_{12,bo} \right\} = \{ BC_{12,1}, BC_{12,2}, BC_{12,3} \} = V$$

может иметь следующий вид

$$V = \left\{ \bigcup_{bo=1}^3 V_{bo} \right\} = \{ V_1, V_2, V_3 \} = \{ \text{«Нулевого дня»}, \text{«Переполнение буфера»}, \text{«SQL-инъекция»} \},$$

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

$$BC_{13} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{13}} BC_{13,bo} \right\} = VA = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{va} VA_{bo} \right\} \quad (BC_{13} \subseteq BC, bo = \overline{1, va}),$$

где $n_{13} = va$ – количество идентификаторов версии CVSS, например, при $va=2$

$$BC_{13} = \left\{ \bigcup_{bo=1}^{n_{13}} BC_{13,bo} \right\} = \{ BC_{13,1}, BC_{13,2} \} =$$

$$VA = \left\{ \bigcup_{bo=1}^2 VA_{bo} \right\} = \{VA_1, VA_2\} = \{\langle\langle CVSS v02 \rangle\rangle, \langle\langle CVSS v03 \rangle\rangle\},$$

($BC_{13,1} = VA_1$, $BC_{13,2} = VA_2$ – идентификаторы версии CVSS). Этот элемент отражает наличие в системе информации об используемой версии CVSS оценки.

На основе множества BC , а также с учетом анализа проведенного в [14, 25, 28, 35], предлагается формировать два базовых подмножества:

– идентифицирующее –

$$IS = \left\{ \bigcup_{i=1}^{ind} IS_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{ind} \left\{ \bigcup_{bo=1}^{is_i} IS_{i,bo} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{ind} \{IS_{i,1}, IS_{i,2}, \dots, IS_{i,is_i}\} \right\} =$$

$$\left\{ \{IS_{1,1}, IS_{1,2}, \dots, IS_{1,is_1}\}, \{IS_{2,1}, IS_{2,2}, \dots, IS_{2,is_2}\}, \dots, \right.$$

$$\left. \{IS_{ind,1}, IS_{ind,2}, \dots, IS_{ind,is_{ind}}\} \right\} (IS_i \subseteq BC, i = \overline{1, ind}, bo = \overline{1, is_i});$$

– оценочное –

$$ES = \left\{ \bigcup_{i=1}^{ass} ES_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{ass} \left\{ \bigcup_{bo=1}^{es_i} ES_{i,bo} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^{ass} \{ES_{i,1}, ES_{i,2}, \dots, ES_{i,es_i}\} \right\}$$

$$= \left\{ \{ES_{1,1}, ES_{1,2}, \dots, ES_{1,es_1}\}, \{ES_{2,1}, ES_{2,2}, \dots, ES_{2,es_2}\}, \dots, \right.$$

$$\left. \{ES_{ass,1}, ES_{ass,2}, \dots, ES_{ass,es_{ass}}\} \right\} (ES_i \subseteq BC, i = \overline{1, ass}, bo = \overline{1, es_i}),$$

где ind и ass – соответственно количество идентифицирующих и оценочных характеристик риска ИБ.

Так, например, при $ind = 9$ с учетом [36] $is_1 = aes = is_2 = ca = is_3 = cs = is_7 = sc = is_9 = va = 2$, $is_4 = dt = is_6 = me = is_8 = n = 3$ и $is_5 = e = 7$, можно составить следующее идентифицирующее базовое подмножество характеристик риска:

$$IS = \left\{ \bigcup_{i=1}^9 IS_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^9 \left\{ \bigcup_{bo=1}^{is_i} IS_{i,bo} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^9 \{IS_{i,1}, IS_{i,2}, \dots, IS_{i,is_i}\} \right\} =$$

$$\left\{ \{IS_{1,1}, IS_{1,2}\}, \{IS_{2,1}, IS_{2,2}\}, \{IS_{3,1}, IS_{3,2}\}, \{IS_{4,1}, IS_{4,2}, IS_{4,3}\}, \right.$$

$$\left. \{IS_{5,1}, IS_{5,2}, \dots, IS_{5,7}\}, \{IS_{6,1}, IS_{6,2}, IS_{6,3}\}, \{IS_{7,1}, IS_{7,2}\}, \{IS_{8,1}, \right.$$

$$\left. IS_{8,2}, IS_{8,3}\}, \{IS_{9,1}, IS_{9,2}\} \right\} = \{AES_1, AES_2\}, \{CA_1, CA_2\}, \{CS_1,$$

$CS_2\}, \{DT_1, DT_2, DT_3\}, \{E_1, E_2, \dots, E_7\}, \{M_1, M_2, M_3\},$

$\{SC_1, SC_2\}, \{V_1, V_2, V_3\}, \{VA_1, VA_2\}\},$

где $IS_{1,1} = AES_1, IS_{1,2} = AES_2, IS_{2,1} = CA_1, IS_{2,2} = CA_2, IS_{3,1} = CS_1, IS_{3,2}$
 $= CS_2, IS_{4,1} = DT_1, IS_{4,2} = DT_2, IS_{4,3} = DT_3, IS_{5,1} = E_1, IS_{5,2} = E_2, \dots,$

$IS_{5,7} = E_7, IS_{6,1} = M_1, IS_{6,2} = M_2, IS_{6,3} = M_3, IS_{7,1} = SC_1, IS_{7,2} = SC_2,$

$IS_{8,1} = V_1, IS_{8,2} = V_2, IS_{8,3} = V_3, VA_1, IS_{9,2} = VA_2,$

а при $ass = 4, es_1 = d = es_2 = f = es_4 = p = 3, es_3 = l = 5$ – оценочное базовое подмножество характеристик риска:

$$ES = \left\{ \bigcup_{i=1}^4 ES_i \right\} = IS_{9,1} \left\{ \bigcup_{i=1}^4 \left\{ \bigcup_{bo=1}^{es_i} ES_{i,bo} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^4 \{ES_{i,1}, ES_{i,2}, \dots, ES_{i,es_i}\} \right\} = \left\{ \{ES_{1,1}, ES_{1,2}, ES_{1,3}\}, \{ES_{2,1}, ES_{2,2}, ES_{2,3}\}, \{ES_{3,1}, ES_{3,2}, ES_{3,3}, ES_{3,4}, ES_{3,5}\}, \{ES_{4,1}, ES_{4,2}, ES_{4,3}\} \right\} =$$

$$\left\{ \{D_1, D_2, D_3\}, \{F_1, F_2, F_3\},$$

$$\{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5\}, \{P_1, P_2, P_3\} \right\},$$

где $ES_{1,1} = D_1, ES_{1,2} = D_2, ES_{1,3} = D_3, ES_{2,1} = F_1, ES_{2,2} = F_2,$

$ES_{2,3} = F_3, ES_{4,1} = L_1, ES_{4,2} = L_2, ES_{4,3} = L_3, ES_{4,4} = L_4, ES_{4,5} = L_5,$

$ES_{5,1} = P_1, ES_{5,2} = P_2, ES_{5,3} = P_3.$

Представленные выше базовые подмножества [36] отображаются посредством двух кортежей (см. рис. 1.1):

– первый – аналитический (АК), используемый для анализа средств ОР с целью последующего их выбора;

– второй – синтетический (СК), используемый для помощи разработчикам, синтезирующих соответствующие средства оценивания. С помощью этих кортежей можно упростить принятие решения при выборе необходимого средства оценивания и набора параметров для эффективной эксплуатации известных и создания новых систем ОР.

Как видно из структурно-аналитического представления АСМ (см. рис. 1.1) основу указанных кортежей составляют подмножества IS_i , ES_i идентифицирующих и оценочных компонент соответственно, отображаемых посредством двух фиксированных кортежей – аналитическим (который используется для исследования широкого спектра существующих средств АОР с позиций формирования необходимых для их функционирования исходных данных) и синтетическим (который используется для помощи разработчикам, синтезирующих соответствующие средства оценивания). Это позволит упростить принятие решения о выборе необходимого средства оценивания и выбор необходимого набора параметров для создания систем оценивания рисков (ОР).

1.3. Характеристики риска, используемые в средствах анализа и оценивания рисков

Одним из главных этапов комплексного подхода к построению систем ЗИ РИС является ОР. Сегодня существует достаточно широкое множество средств оценивания рисков (СОР) ИБ, при выборе которых перед специалистами возникает ряд вопросов связанных, например, с использованием и инициализацией входных величин, задействованным математическим аппаратом, условиях в которых реализуется оценивание и т.д. В п. 1.2 была предложена АСМ, основанная на двух кортежах – АК и СК, которые позволяют упростить принятие решения при выборе и разработке систем ОР.

В качестве исходного материала исследования, использовано наиболее известные и используемые на практике средства – COBRA, CRAMM, RiskWatch, RA2 art of risk (RA Software Tool), КЭС управления ИБ «АванГард» («РискМенеджер»), Risk Advisor, vsRisk, OCTAVE, Callio Secura 17799, Гриф 2006, @RISK, RiskPAC и Microsoft Security Assessment Tool и т.д.

Методика COBRA. Относительно характеристик риска (п. 1.2) для методики COBRA можно сформировать отображения его иден-

тифицирующих составляющих: E , $V(A)$, M и CS . Так, компоненту $V(A)$, например, для запроса – «Сколько инцидентов воровства произошло за последние 2 года?», соответствует значение A_1 =«Кража». Это действие приводит к нарушению определённых характеристик безопасности атакованных ресурсов и может быть связано со значением E_7 =«НКЦД». Инициализация данных осуществляется в числовой форме, что отображается количественной мерой посредством идентифицирующего параметра M_1 . Очевидно, что определение CS в этом запросе можно осуществить через параметр CS_1 поскольку задается точное количество инцидентов. С учетом п. 1.2, здесь анализ (идентификация) риска осуществляется посредством идентифицирующих параметров во время обработки запросов, а оценка – посредством результатов анализа с использованием оценочных компонентов.

Все рассматриваемые угрозы $V(A)$, которые отображаются в запросах, собраны в категории риска, например, угрозы, рассмотренное в примере запроса A_1 входит в категорию риска «Непредвиденная ситуация в бизнесе (НСБ)», следовательно, идентифицирующий параметр в данной категории риска можно представить, как

$$A_{НСБ} \in \{A_{НСБ1}, A_{НСБ2}, \dots, A_{НСБа}\},$$

где $A_{НСБ1}$ = «Кража» (a – количество идентификаторов угроз для категории НСБ).

Анализ показал, что прямого использования параметров CS и E в системе нет, но прослеживается логическая связь с ними, поэтому эти величины являются косвенными. Здесь и далее для обозначения косвенных характеристик в кортеже будет использоваться символ *, например, CS^* .

После проведенного анализа с учетом ACM АК для этой методики можем представить в виде $\langle CS^*, E^*, M, P, V(A) \rangle$, а, например, относительно запроса про инциденты воровства его идентифицирующие параметры принимают конкретные значения – E_7 , $A_{НСБ1}$, CS_1 , M_1 .

Метод CRAMM. В процессе анализа предлагается проставить коэффициенты для каждого ресурса с точки зрения частоты возникновения угрозы и вероятности реализации угрозы, в связи с этим с учетом п. 1.2 можно выделить оценочные компоненты F и P .

Относительно ACM для CRAMM (аналогично методике COBRA) можно определить значения: E , $V(A)$, CS , M . Рассмотрим пример запроса для «оценки угрозы»: «Сколько раз за последние три года сотрудники организации пытались получить несанкционированный доступ к хранящейся в ИС информации с использованием прав других пользователей?». Здесь компонент $V(A)$ отображается действием, которое привело к нарушению характеристик ИБ, а именно A_2 =«Несанкционированный доступ» может привести к E_1 =«Нарушение конфиденциальности (НК)». Характеристика ситуации в приведенных запросах соответствует CS_1 , а для инициализации данных используется качественная и количественная шкалы, что в свою очередь соответствует идентифицирующему параметру M_1 и M_2 .

После проведенного анализа с учетом п. 1.2 составим АК для данного метода: $\langle CS^*, E^*, F, L^*, M, P, V(A) \rangle$, а, например, относительно запроса с A_2 =«Несанкционированный доступ» его идентифицирующие параметры принимают конкретные значения: E_1 , A_2 , CS_2 , M_1 .

Система RiskWatch. Относительно ACM с учетом п. 1.2 для RiskWatch определим АК. Так, характеристики $V(A)$ (исходя из примера категорий потерь: задержка и отказ в обслуживании, раскрытие информации, прямые потери (например, от уничтожения оборудования при пожаре), косвенные потери (например, затраты на восстановление), жизнь и здоровье (персонала, заказчиков и т.д.), изменение данных, репутация [20] и т.д.) соответствуют, например, значения A_1 =«Задержка и отказ в обслуживании», A_2 =«Раскрытие информации», A_3 =«Уничтожение оборудования» и т.д. Эти угрозы приводят к нарушению определенных характеристик ИБ атакованных ресурсов и соответственно связываются со значениями E_3 =«НД», E_1 =«НК», E_5 =«НЦД». Анализ показал, что прямого использования параметра E в системе нет, но прослеживается логическая связь с ним, поэтому считаем его присутствие косвенным (E^*).

При оценивании риска, возможны случаи, когда респондент не осведомлен о ситуации, которая идентифицируется в запросе, тогда он использует вариант «не знаю», что характеризует ситуацию как неопределенную, т.е. CS соответствует значение CS_2 , иначе, как определённую CS_1 . Инициализация данных производится в число-

вой и лингвистической формах, что в свою очередь, можно отобразить компонентом M (M_1 и M_2). Анализ риска происходит во время обработки данных инициируемых через ТВ, который используется при прохождении фазы 1. Для определения ALE используется оценочный компонент F , а риском являются ожидаемые потери за год, которые также можно интерпретировать как расходы L . С учетом АСМ АК для этой методики можно представить в виде $\langle CS^*, E^*, F, L, M, V(A) \rangle$, а, например, относительно запроса о разграничении доступа его идентифицирующие параметры (ИП) принимают конкретные значения – E_1, A_2, CS_1, M_1 .

Инструментарий RA2 art of risk. Относительно АСМ определим значения $CS, E, V(A)$ и M . Все уязвимости/угрозы $V(A)$, отображаемые запросами, представлены в виде требований стандарта, например, «Была ли проведена оценка для выявления рисков, связанных с доступом третьих лиц (ДТЛ)?», «Была ли одобрена политика ИБ с руководством?» и т.д., в этой связи параметр $V(A)$ можно отразить комплексно – $A_i, i = \overline{1, a}$ (где a – количество идентификаторов уязвимостей/угроз). Так, например, в запросе о ДТЛ при невыполнении данной оценки, могут возникнуть действия, приводящие к нарушению базовых характеристик ИБ, тогда $V(A)$ можно представить множеством $A_{дтл} \in \{A_{дтл_i}\}, i = \overline{1, a}$, где, например, $A_{дтл_1} =$ «Кража». Относительно компонента E , следует отметить, что рассмотренные действия (исходя из примера запросов) приводят к нарушению определенных характеристик ИБ и это может быть косвенно связано со значением $E_7 =$ «НКЦД». Анализ показал, что параметр E в ПО присутствует косвенно. Для инициализации данных, используются числовые и лингвистические значения (M_1 , и M_2), а характеристика ситуации всегда определена (CS_1) поскольку четко фиксируется выполнение или невыполнение требования стандарта. В методике присутствуют оценочные параметры (ОП) D (уровни опасности) и P (вероятность риска), следовательно, риск отображается как опасность (D) для организации (при наступлении рискованной ситуации). С учетом АСМ АК для этой методики можем представить в виде: $\langle CS^*, D, E^*, M, P, V(A) \rangle$, а, например, относительно запроса ДТЛ, его ИП принимают конкретные значения – $E_7, A_{дтл}, CS_1, M_2$.

Система КЭС управления ИБ «АванГард». Отметим, что относительно АСМ в КЭС рассматривается событие риска, отображаемое как угрозы $V(A)$, которое приводит к нарушению ИБ, например, A_1 = «Отказ обслуживания веб-сервера из-за атаки хакера», A_2 = «Падение криптосервера из-за перегрузки», A_3 = «Перехват пользовательских паролей» и т.д. В описании действий (наименований риска) используются статистические данные, собранные иностранными компаниями, и которые не всегда могут быть использованы для различных регионов (например, в Украине) из-за влияния на природу возникновения инцидентов ИБ многих специфических факторов, таких как, например, уровень жизни, образованности населения, его менталитет и т.д. Рассмотренные в примере угрозы ($V(A)$) могут быть связаны с событиями (E) нарушения базовых характеристик ИБ, например, A_1 с E_3 =«НД», A_2 с E_7 =«НКЦД», а A_3 с E_1 =«НК» и т.д., следовательно, параметр E в системе присутствует косвенно. Входные данные основываются на качественных и количественных шкалах (M_1 и M_2).

Касательно ОП, которые используются в процессе анализа риска, присутствуют степень опасности D и вероятность события риска P . Так же используется показатель ущерба, который отображается посредством L . Определение уровня риска (УР) по объектам, подсистемам (процессам), локальным средам, регионам и для модели в целом, производится путем суммирования показателей значимостей угроз (относимых в рамках структурной иерархической модели к соответствующим структурам). То есть рискообразующий потенциал (РП) объекта, будет равен сумме РП угроз с ним связанных, а РП подсистемы (процесса) будет равен сумме РП включенных в нее объектов.

Результат вычислений представляется в виде диаграммы. Оценкой ущерба, по аналогии с RiskWatch (фаза 3 книга 1), соответствует произведению цены риска и вероятности его события. В отчете отображается общий риск организации в денежном эквиваленте.

Отметим, что он представляется как общий ущерб от всех событий риска и может отображаться ОП L , который в системе присутствует косвенно, а при оценке риска используется количественная шкала (M_1). После проведенного анализа с учетом АСМ АК для КЭС будет $\langle CS^*, D, E^*, L^*, M, P, V(A) \rangle$.

Система Enterprise Risk Assesso. Относительно АСМ для данного ПО, также можно получить отображение ИП $CS, E, M, V(A)$ и ОП – P, L, D . В Enterprise Risk Assessor в качестве риска рассматриваются угрозы, которые могут привести к нарушению ИБ, например, A_1 = «Кража документов» может находиться в логической связи с E_1 =«НК» и поэтому параметр E в ПО присутствует косвенно, что можно сказать и относительно характеристики ситуации (см. рис. 1.21 книга 1), где CS соответствует CS_j . Также из рис. 1.20 и рис. 1.21 книги 1 видно, что для отображения M используются качественные (M_1) и количественные (M_2) шкалы. В процессе анализа риска можно дополнительно идентифицировать оценочные компоненты в явном виде – P и косвенном – L (consequence – следствие, которое можно представить в виде L), а во время его оценки – устанавливается коэффициент значимости и уровень опасности D , следовательно, АК имеет вид: $\langle CS^*, D, E^*, L^*, M, P, V(A) \rangle$.

Система vsRisk, Risk Assessment Tool. В качестве ИП на этапе анализа риска служит $V(A)$ и, например, согласно рис. 1.22 а, в книге 1, он может принимать значение A_3 = «Отказ в обслуживании», что приводит к E_3 =«НД» (рис. 1.22 б, книга 1). Система предоставляет средства для оценки всех факторов рисков, включая угрозы, уязвимости, активы и механизмы контроля и не содержит средств для количественной оценки величины риска, ограничиваясь только качественными шкалами (M_j). Для таких оценок характеристика ситуации отображается через CS_j . Отметим, что для оценки задаются масштабы вероятности P и воздействия рассматриваемых угроз, которое можно косвенно, отобразить через уровни D . Отметим, что с учетом АСМ АК для этого ПО следующий: $\langle CS^*, D^*, E, M, P, V(A) \rangle$.

Система OSTATE. Рассмотрим пример сценария угрозы (условие) – неправильная политика разграничения доступа позволяет сотруднику случайно получить доступ к медицинским записям другого сотрудника; воздействие (следствие) – медицинские записи сотрудника раскрываются, в результате поданного им иска, организация обязана выплатить штраф в размере 50 000\$. Эта угроза оказывает прямое воздействие на репутацию предприятия, что может повлечь за собой потенциальные денежные потери (судебные иски, возможные штрафы, пеня др.). В этом примере угрозу можно представить как параметр A_1 =«Несанкционированный до-

ступ к медицинским записям», который может логически привести к $E_1 = \text{«НК»}$.

Для оценивания в OCTAVE используются качественные (M_1) и количественные (M_2) шкалы, а CS соответствует CS_1 . Риск рассматривается как «Опасность», например, потеря репутации и т.д., что связывается с ОП D . Как видно общая запись АК для OCTAVE: $\langle CS^*, D, E^*, M, V(A) \rangle$ а, например, относительно рассмотренного сценария угрозы его ИП принимают частные значения – E_1, A_1, CS_1, M_2 .

Инструментарий Callio Secura 17799. Рассмотрим пример запроса в ТВ: «Существуют ли документированные (утвержденные) политики, которые опубликованы и доведены до сведения всех сотрудников?». Относительно АСМ компонент $V(A)$ исходя из примера запроса, по антологии с RA2 art of risk, можно рассматривать как комплексный $A_i, i = \overline{1, a}$ (a – количество идентификаторов угроз). Так, например, в запросе относительно политики безопасности, при ее отсутствии, могут возникнуть действия, которые приведут к нарушению базовых характеристик ИБ. В этом случае параметр $V(A)$ можно представить, как: $A_{\text{ИБ}i} \in \{A_{\text{ИБ}i}\}, i = \overline{1, a}$, где, например, $A_{\text{ИБ}1} = \text{«Потеря конфиденциальной информации»}$. В свою очередь комплекс этих действий, вероятно, приведет к нарушению базовых характеристик ИБ и может связываться со значением $E_7 = \text{«НКЦД»}$. Для оценивания используется количественная (M_1) и качественная (M_2) меры (рис. 1.24, книга 1).

Относительно оценочных компонент, можно отметить присутствие P (вероятность угрозы) и L (ценность активов – ущерб для организации, логически определяемый, как затраты или потери). Таким образом, отобразим кортеж: $\langle CS^*, E, L^*, M, P, V(A) \rangle$, а, например, относительно вышеуказанного запроса его ИП соответствует значения – $E_7, A_{\text{ИБ}}, CS_1, M_2$.

Система Гриф 2006. В системе запросы ТВ (например: «Может ли раскрытие какой-либо информации принести существенную выгоду посторонним лицам, заинтересованным организациям и т.п.?)») инициализируются одним из двух фиксированных вариантов – «да» или «нет». Здесь компоненту $V(A)$ соответствует значение $A_1 = \text{«Раскрытие информации»}$. Эта угроза приводит к нарушению конфиденциальности и связывается со значением $E_1 = \text{«НК»}$.

Характеристика ситуации (как видно из примера запроса) определена (CS_1), а для отображения результатов используются M_1 и M_2 .

Оценивание риска осуществляется с помощью компонентов: P – вероятность реализации угроз, L – ущерб от ее реализации и D – уровень угрозы по уязвимости. Для указанного ПО составим АК: $\langle CS^*, D^*, E, L^*, M, P, V(A) \rangle$, а относительно, например, запроса, тогда его ИП принимают конкретные значения – E_1, A_1, CS_1, M_2 .

Система @RISK. Относительно АСМ и характеристики риска которые используются в данной системе, отметим присутствие ИП $E, V(A), CS$ и M . Параметр E представлен косвенно, его можно логически определить, как событие нарушения характеристики ИБ к которому приводит действие $V(A)$, например, A_3 =«Мошенничество» может привести к E_7 =«НКЦД». При оценке риска для отображения результатов используется M_1 (табл. 1.30), а также задаются вероятности P и рассчитывается воздействие, что можно представить, как L – потери. Как видно АК для этой системы будет иметь вид: $\langle CS^*, E^*, L^*, M, P, V(A) \rangle$.

Система RiskPAC. Каждый запрос в системе отображает определенное действие ($V(A)$), приводящее к нарушению ИБ. Приведем пример запроса: «Какие будут суточные финансовые потери при нарушении целостности клиентской базы?» (A_1 =«Нарушение целостности клиентской базы»). Рассматривая данное ПО относительно АСМ, отметим, что характеристики $V(A)$ (что видно из примера запроса) соответствует, например, значение A_1 . Эта угроза приводит к нарушению определенных характеристик ИБ атакованных ресурсов и может быть связано со значением E_5 =«НЦД», а параметр CS отображается CS_1 , поскольку подсчитывается точные финансовые потери. Инициализация данных осуществляется в числовой и лингвистической формах, что отображается M_1 и M_2 .

При оценке риска определяется вероятность угроз P – воздействие, которое можно интерпретировать как уровень опасности D и потери L . Проведенный анализ показал, что АК для этой системы имеет вид: $\langle CS^*, D^*, E^*, L, M, P, V(A) \rangle$, а относительно, например, запроса, его ИП принимают конкретные значения – E_6, A_1, CS_1, M_1 .

Система Microsoft Security Assessment Tool. Параметры относительно АСМ в ПО отображены $E, V(A), CS, M$. В пример запроса – «Повлияет ли на доходность события, которые нанесут вред при-

ложениям или инфраструктуре клиента, например, «бездействие узла, отказ оборудования или сбой в приложении?» события можно представить как характеристики A_1 =«Бездействие узла», A_2 = «Отказ оборудования» и A_3 = «Сбой в приложении», которые могут привести к E_3 =«НД». При оценивании риска, возможны варианты, когда респондент недостаточно осведомлен о ситуации, которая идентифицируется в запросе, при этом инициируется вариант «не знаю», что соответствует значению CS_2 , в противном случае – CS_1 .

В системе для оценки используются качественная (M_2) и количественная (M_1) шкалы, а риск рассматривается как опасность D . Отметим, что АК для MSAT следующий: $\langle CS^*, D, E^*, M, V(A) \rangle$.

Метод на основе байесовских сетей (МБС). Относительно АСМ для МБС с учетом п. 1.2 определим АК. Как видно из примера (п. 1.6 в книге 1), компоненту $V(A)$ может соответствовать A_1 =«Хакерская атака», это действие приводит к нарушению базовых характеристик ИБ (рассматриваются как категории последствий) и может быть связано со значением E_7 =«НКЦД». Относительно компонента CS , можно отметить, что для определения точных характеристик каждому действию (см. табл. 1.28 в книге 1) необходимо иметь достаточно определенную ситуацию, следовательно, это отображается значением CS_1 . Параметры, которые обрабатываются в данном методе, носят качественный (КЧ) и количественный (КЛ) характер, что соответствует M_1 и M_2 . Для АОР также используются оценочные компоненты: P (вероятность исхода событий и абсолютная вероятность), L (величина расходов), D (ущерб).

Отметим, что параметр D непосредственно в системе не используется, но прослеживается с ним логическая связь (является косвенным). После проведенного анализа с учетом АСМ составим АК для данного метода: $\langle CS^*, D^*, E^*, L, M, V(A) \rangle$.

Стандарт NIST 800-30. Относительно АСМ определим АК для этой методологии. Компонент $V(A)$ отображается «Действием угрозы» (см. табл. 1.5 в книге 1), которое может привести к нарушению характеристик ИБ, так например A_1 =«Проникновение в ИС на основе личных данных» может привести к E_1 =«НК». Характеристика ситуации в приведенных примерах идентификации угроз соответствует CS_1 , а при инициализации данных используются M_2 и M_1 . Для оценки УР в методологии используются ОП P и косвенно

D , который отображает значение параметра «Воздействие» (см. табл. 1.7 в книге 1). Следовательно, АК для методологии имеет вид: $\langle CS^*, D^*, E^*, M, P, V(A) \rangle$.

Метод VAR (Value at Risk). Относительно АСМ для VAR можно определить значения идентифицирующих и оценочных компонент. Так $V(A)$ отображается угрозой, которая может привести к нарушению характеристик ИБ, что видно из примера запроса, а именно $A_1 =$ «Нарушение правил ИБ» может привести к $E_7 =$ «НКЦД». Характеристика ситуации для проведения соответственных расчетов должна быть определена (CS_1), а для инициализации результатов оценки используется КЛ шкала (M_1). Также в процессе АОР применяют ОП P , D и L . С учетом АСМ АК для данного метода имеет вид: $\langle CS^*, D, E^*, L, M, P, V(A) \rangle$.

Методика TRA. Отметим, что с учетом АСМ в TRA компонент $V(A)$ отображается угрозой, например, $A_1 =$ «Шпионаж» (как видно из табл. 1.39 в книге 1), которое может привести к $E_1 =$ «НК». Характеристика ситуации в приведенном примере оценки соответствует CS_1 . Для инициализации данных используется КЧ и КЛ шкалы (M_2 и M_1), а оценивание основывается на компонентах P и D . Анализ показал, что АК для данной методики следующий: $\langle CS^*, D^*, E, M, P, V(A) \rangle$.

Методика FRAP. Рассмотрим данную методику относительно АСМ. Так, компоненту $V(A)$ соответствуют множество угроз (например, составленных экспертами), которые могут привести к нарушению базовых характеристик ИБ. В методике нет прямого использования параметра E и CS , но прослеживается логическая связь с ними, поэтому считаем их присутствие косвенным. Инициализация данных осуществляется в лингвистической форме, что отображается M_2 , а ОР основана на вероятности угроз (P) и ущербе (L). Анализ показал, что АК для этой методики имеет вид: $\langle CS^*, E^*, L, M, P, V(A) \rangle$.

Методика BSI-Standard 100-3. Относительно АСМ отметим, что все множество действий ($V(A)$), представлено как угрозы, приводящие к нарушению ИБ, например, $A_1 =$ «Отказ IT-системы», $A_2 =$ «Неумышленное уничтожение актива», $A_3 =$ «Потеря Ц информации» и т.д. Относительно компонента E , следует отметить, что рассмотренные угрозы (исходя из указанного примера в табл. 1.9 в книге 1) приводят к нарушению определенных характеристик ИБ и

может быть косвенно связано со значением E_7 =«НКЦД». Для инициализации данных, используются лингвистические значения (M_2), а характеристика ситуации всегда определена (CS_1), поскольку четко фиксируется выполнение или невыполнение требований. С учетом АСМ АК для этой методики можем представить в виде: $\langle CS^*, E, M, V(A) \rangle$.

Методика РС БР ИББС-2.2-2009. Отметим, что в данном стандарте АОР угрозы отображаются как ($V(A)$) приводящие к нарушению ИБ, например (угрозы из рекомендуемого перечня в методике – Приложение 1 [22]), A_1 = »Сбои и отказы ПС», A_2 = »Ошибки в обеспечении безопасности ИС на стадиях жизненного цикла», A_3 = « Хищение» и т.д. Рассмотренные в примере угрозы ($V(A)$) могут быть связаны с событиями (E) нарушения базовых характеристик ИБ, например, A_1 с E_3 =«НД», A_2 с E_7 =«НКЦД», а A_3 с E_1 =«НК» и т.д., следовательно, параметр E в методике присутствует косвенно. Относительно компонента CS , следует отметить, что при использовании статистических данных характеристика ситуации всегда CS_1 .

Входные данные основываются на КЧ и КЛ шкалах (M_1 и M_2). Касательно оценочных компонент, то при анализе риска используется степень потенциального ущерба, которую можно в КЧ шкалах косвенно отобразить посредством D (при переводе в КЛ шкалы – L), а также вероятность (P) и статистические данные о частоте реализации угрозы (F). После проведенного анализа с учетом АСМ АК для этой методики следующий: $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, F, L, M, P, V(A) \rangle$.

Стандарт ISO/IEC 27005:2008. Отметим, что в ISO/IEC 27005:2008 в качестве риска рассматриваются угрозы, которые могут привести к нарушению ИБ, например, A_1 = «Воровство носителей или документов» может находиться в логической связи с E_1 =«НК» и поэтому параметр E в стандарте присутствует косвенно, что можно сказать и относительно характеристики ситуации, где CS соответствует CS_1 .

Исходя из табл. 1.18 ÷ 1.20 в книге 1 видно, что для отображения M используются КЧ (M_2) и КЛ (M_1) шкалы или их комбинация (M_3). В процессе анализа и оценки риска можно дополнительно идентифицировать компонент P и косвенно – D (величина потенциальных последствий), следовательно, АК имеет вид: $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, M, P, V(A) \rangle$.

Методика Risk Matrix. Рассмотрим наличие компонент относительно АСМ, на примере матрицы риска (см. рис. 1.27 п. 1.6 в книге 1). Здесь $V(A)$ можно отобразить через параметр A_1 =«Не обновляется ПС», которое имеет логическую связь с E_7 =«НКЦД». В процессе АОР используются качественная (M_2) и количественная (M_1) шкалы, CS соответствует CS_1 , а ОР основывается на F , P и косвенно – D (представлен как воздействие). Общая запись АК для Risk Matrix имеет следующий вид: $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, F, M, P, V(A) \rangle$.

Стандарт AS/NZS 4360:2004. В стандарте компоненту $V(A)$ соответствует угрозы которые могут привести к риску (что видно из табл. 1.21 п. 1.6 в книге 1). Следовательно их можно представить как, например, A_1 = «Отказ системы» (пример взят исходя из описанных последствий в табл. 1.22 в книге 1), что может привести к нарушению характеристик ИБ атакованных ресурсов и может быть связано со значением E_5 =«НЦД», а параметр CS отображается CS_1 (из-за наличия статистической информации). Инициализация данных осуществляется в числовой (M_1) и лингвистической формах (M_2). При оценке риска определяется вероятность угроз P и воздействие, которое можно интерпретировать как уровень опасности D . Проведенный анализ показал, что АК для этого стандарта имеет вид: $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, M, P, V(A) \rangle$.

Методология Mehari. Относительно АСМ в методологии отображены идентифицирующие и оценочные параметры. В рассмотренном примере запроса «Существует ли система регулирования электропитания...» угрозы, например, можно представить как параметры A_1 = «Отказ оборудования», A_2 = «Сбой приложений» и т.д., которые могут привести к E_3 =«НД». Для оценки используются качественная (M_2) и количественная (M_1) шкалы, а характеристика ситуации всегда определена (CS_1), поскольку четко фиксируется выполнение или невыполнение требований стандарта. Риск рассматривается как воздействие, которое можно интерпретировать уровнем опасности D . Отметим, что АК для Mehari следующий: $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, M, V(A) \rangle$.

Стандарт ISO/FDIS 31000. Относительно АСМ в стандарте рассматривается событие риска, которые можно отобразить как угрозу $V(A)$, приводящее к нарушению ИБ, например, A_1 = «Отказ в обслуживании веб-сервера из-за атаки хакера», A_2 = «Падение крип-

тосервера из-за перегрузки», $A_3 =$ «Перехват пользовательских паролей» и т.д. Эти действия могут быть соответственно связаны с событиями (E) нарушения базовых характеристик ИБ $E_3 =$ «НД», $E_7 =$ «НКЦД», $E_1 =$ «НК» и т.д., следовательно параметры $V(A)$ и E в стандарте присутствуют косвенно.

Входные данные основываются на КЧ и КЛ шкалах (M_1 и M_2), а ОП, используемые в процессе анализа риска, представляются воздействием, которое можно отобразить через D и вероятностью риска P . После проведенного анализа с учетом АСМ АК для стандарта будет $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, M^*, P, V(A) \rangle$.

Методика MAGERIT. Относительно АСМ отметим, что в рассмотренном примере (см. табл. 1.41 в книге 1) угрозы можно интерпретировать как параметр $V(A)$, например, $A_1 =$ «Несанкционированный доступ». Это действие может привести к событию $E_1 =$ «НК». Для оценивания используются количественные (M_1) шкалы, а касательно характеристики ситуации (CS) то ей соответствует значение CS_1 (поскольку применяются статистические данные для определения P). В процессе оценки используются ОП F , L , D и P . Следовательно, общая запись АК для MAGERIT: $\langle CS^*, D^*, DT^*, E^*, F, L, M, P, V(A) \rangle$.

Методика Information Security RA. Рассмотрим данную методику относительно АСМ. Так, компоненту $V(A)$ соответствует все угрозы, которые определяются на фазе 2. Они могут привести к нарушению базовых характеристик ИБ и, следовательно, может быть связано со значениями компонента E . Анализ показал, что прямого использования его в методике нет, но прослеживается с ним логическая связь, следовательно, присутствует косвенно. Инициализация данных осуществляется в лингвистической форме (M_2). При ОП определяется вероятность угроз P и воздействие, которое можно отобразить параметром D . Исследования показали, что АК для этой системы имеет вид: $\langle CS^*, D^*, E^*, M, P, V(A) \rangle$.

Метод Coras. Относительно характеристик риска в п. 1.2 для метода Coras можно получить отображение компонент P , D и $V(A)$. Элемент P , исходя из указанного примера (см. табл. 1.29-1.31 в книге 1), отображается вероятностью реализации угрозы $V(A)$, а последствия можно косвенно представить в виде элемента D . Также из табл. 1.31 в книге 1 видно, что все угрозы приводят к нарушению различных характеристик безопасности и могут быть связа-

ны со значением $E_7 = \text{«НКЦД»}$. Все расчеты отображаются в КЧ и КЛ шкалах, что можно отразить через элемент M_3 .

Анализ показал, что прямого использования компонентов D , E и M в системе нет, но прослеживается с ними логическая связь, поэтому эти величины являются косвенными. После проведенного анализа с учетом АСМ п. 1.2 АК, отображающий этот метод можно представить в виде $\langle CS^*, D^*, E^*, M^*, P, V(A) \rangle$.

Метод EBIOS. Относительно АСМ с учетом п. 1.2 для EBIOS определим АК. Так компонентам D и P (исходя из указанного примера шкалы для опасности и вероятности) соответствуют, например, значения для $D_1 = \text{«Незначительная»}$, $D_2 = \text{«Средняя»}$, $D_3 = \text{«Высокая»}$, а для $P_1 = \text{«Минимальная»}$, $P_2 = \text{«Средняя»}$, $P_3 = \text{«Высокая»}$ и т.д.

Также рассматриваются уязвимости и угрозы $V(A)$, которые приводят к нарушению определенных характеристик ИБ атакованных РИС и соответственно связываются со значениями $E_3 = \text{«НД»}$, $E_1 = \text{«НК»}$, $E_2 = \text{«НЦ»}$. Анализ показывает, что M принимает значение M_1 , а с учетом АСМ, АК для этого метода можно представить в виде $\langle CS^*, D, E, M^*, P, V(A) \rangle$.

Метод ISAMM. Относительно АК отметим, что все угрозы $V(A)$ приводят к нарушению ИБ E (см. табл. 1.35 в книге 1). Относительно оценивания риска в методе используют элементы L и P , которые отображаются ежегодными ожидаемыми убытками и вероятностью реализации угроз, а воздействие можно косвенно отобразить как D . Относительно элемента M следует отметить, что метод использует КЛ шкалы, то соответствует M_2 . С учетом этого АК для этого метода можем представить в виде: $\langle CS^*, D^*, E, L, M^*, P, V(A) \rangle$.

Методология IRAM₂. Отметим, что в данном СОР идентифицируются как угрозы, так и уязвимости $V(A)$, которые могут быть связаны с событиями (E) нарушения базовых характеристик ИБ. Исходя из этого, характеристика E в методологии присутствует косвенно. Касательно других элементов, то при ОР используется вероятность P и воздействие, которое можно косвенно отобразить посредством D . После проведенного анализа АК для этой методологии имеет следующий вид: $\langle CS^*, D^*, E^*, M^*, P, V(A) \rangle$.

Инструментарий РТА. Относительно АК определим кортеж для этого инструментария. Элемент $V(A)$ отображается уязвимостями и

угрозами (см. рис. 1.14 и 1.15 в книге 1), которые могут привести к нарушению характеристик ИБ, так, например, $V_1 =$ «Серверы приложений уязвимы для эксплойтов через Интернет» может привести к $E_1 =$ «НК». Для оценки риска в инструментарии используются элементы P , L и косвенно D , который отображает значение параметра «Повреждения» (см. рис. 1.15 в книге 1). Следовательно, АК для РТА имеет вид: $\langle CS^*, D^*, E^*, L, M^*, P, V(A) \rangle$.

Det-AOP и Fuz-AOP системы [25]. Основываются на детерминированном (DetM) (основанный на бинарных оценках) и нечетком (FuzM) методах оценивания. В системах OP DetM и FuzM оценивания реализуется посредством девяти шагов, связанных с определением множеств, описанием оценочных компонент, оценкой уровня значимости оценочных компонент, определением эталонных значений степени риска, определением эталонных значений оценочных компонент, оценкой текущих значений компонент, классификацией текущих значений, оценкой степени риска, лингвистическим распознавание. Относительно провиденных исследований (см. [8, 25]) определено, что в системах непосредственно для OP используются ОП P , F , L и D . Так, для таких систем можно составить следующий кортеж: $\langle CS^*, D, DT^*, E, F, L, M, P, SC^*, V(A) \rangle$.

1.4. Метод формирования кортежей для аналитико-синтетической кортежной модели

В зависимости от поставленных целей, с помощью ACM, можно сформировать требуемый кортеж. Построение кортежей осуществляется с помощью формирателей АК и СК посредством метода, который основывается на двух базовых принципах:

- первый – АК формируется по результатам анализа существующих средств анализа и OP (табл. 1.3);
- второй – СК формируется по приоритетам экспертов относительно характеристик риска, которые, по их мнению, должны использоваться в разрабатываемой системе OP.

Раскроем суть первого принципа, который ориентирован на формирование АК –

$$\langle AT_1, AT_2, \dots, AT_{an} \rangle$$

(см. рис. 1.1), где AT_i – компонент АК ($i = \overline{1, an}$), а an – количество его членов. Указанный принцип реализуется посредством 3-х этапов.

Формирование АК – Этап 1 (Разделение параметров). Поскольку в средствах ОР используется два вида параметров (идентифицирующие и оценочные), то АК формируется в виде двух частей.

Первая часть кортежа представляется как $AT_i^{(IS)}$ ($i = \overline{1, ind}$), а вторая – $AT_i^{(ES)}$ ($i = \overline{ind+1, an}$), где $an = ind + ass$. В этом случае АК имеет вид –

$$\langle AT_1^{(IS)}, \dots, AT_{ind}^{(IS)}, AT_{ind+1}^{(ES)}, \dots, AT_{an}^{(ES)} \rangle.$$

Формирование АК – Этап 2 (Определение весовых коэффициентов). Введем величину W_i ($i = \overline{1, an}$) – весовой коэффициент i -й характеристики риска (an – количество всех используемых характеристик риска, совпадающее с количеством членов АК), значение которого определяется по выражению $W_i = \sum_{j=1}^{to} W_{ij}$, где величина W_{ij} ($i = \overline{1, an}, j = \overline{1, to}$) характеризует уровень использования конкретной характеристики (AT_i) в определенном средстве ОР (RAT_j) и определяется по выражению:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } AT_i \text{ непосредственно используется в } RAT_j; \\ 0,5, & \text{если } AT_i \text{ косвенно используется в } RAT_j; \\ 0, & \text{если } AT_i \text{ не используется в } RAT_j, \end{cases} \quad \text{а}$$

RAT_j ($j = \overline{1, to}$) – j -е средство анализа и оценивания риска (to – количество соответствующих средств). Все значения W_i , W_{ij} , RAT_j и AT_i отображаются в обобщенной таблице со сводными данными соответствующего анализа (см. табл. 1.3). При этом в качестве содержимого таблицы можно использовать результаты исследований, проведенных в п. 1.3.

Таблица 1.3. Сводные данные анализа RAT_j

$\overline{AT_i}$ ($i = \overline{1, an}$)	Средства ОП – RAT_j ($j = \overline{1, to}$)					$\overline{W_i}$ ($i = \overline{1, an}$)
	RAT_1	RAT_2	RAT_3	...	RAT_{to}	
AT_1	W_{11}	W_{12}	W_{13}	...	W_{1to}	W_1
...
$AT_{ind}^{(IS)}$	W_{ind1}	W_{ind2}	W_{ind3}	...	W_{indto}	W_{ind}
$AT_{ind+1}^{(ES)}$	$W_{(ind+1)1}$	$W_{(ind+1)2}$	$W_{(ind+1)3}$	...	$W_{(ind+1)to}$	W_{ind+1}
...
$AT_{an}^{(ES)}$	W_{an1}	W_{an2}	W_{an3}	...	W_{anto}	W_{an}

Формирование АК – Этап 3 (Формирование последовательности параметров). На основе вычисленных коэффициентов W_i (с учетом того, что $W_1 \geq W_2 \geq \dots \geq W_{ind}$ и $W_{ind+1} \geq W_{ind+2} \geq \dots \geq W_{an}$) формируется последовательность AT_i для кортежа $\langle AT_1, AT_2, \dots, AT_{an} \rangle$. В результате получим AT_i , которые упорядочены по убыванию их W_i и алфавиту. Таким образом, согласно W_i каждое AT_i в результате их перенумерации получает новый индекс. Для удобства сформированный таким образом упорядоченный список AT_i представляется в виде обобщенной таблицы (см. табл. 1.4).

Таблица 1.4. Упорядоченные AT_i для формирования АК

i	1	...	ind	$ind+1$	...	an
$\overline{W_i}$ ($i = \overline{1, an}$)	W_1	...	W_{ind}	W_{ind+1}	...	W_{an}
$\overline{AT_i}$ ($i = \overline{1, an}$)	AT_1	...	$AT_{ind}^{(IS)}$	$AT_{ind+1}^{(ES)}$	...	$AT_{an}^{(ES)}$

Рассмотрим процесс формирования АК на конкретном примере.

Пример 1. Формирование АК – Этап 1 (Разделение параметров). Согласно этого этапа относительно конкретных базовых характеристик риска непосредственно осуществим разделение параметров. Так, на основе подмножеств IS , ES и положений в п. 1.2

при $ind=9$, $ass=4$ и $an=13$ (т.е. $an=ind+ass=9+4=13$) АК соответственно будет иметь следующий вид: $\langle AT_1, AT_2, AT_3, AT_4, AT_5, AT_6, AT_7, AT_8, AT_9, AT_{10}, AT_{11}, AT_{12}, AT_{13} \rangle = \langle AES, CA, CS, DT, E, M, SC, VA, V(A), D, F, L, P \rangle$, где $AT_1 = AES$, $AT_2 = CA$, $AT_3 = CS$, $AT_4 = DT$, $AT_5 = E$, $AT_6 = M$, $AT_7 = SC$, $AT_8 = VA$, $AT_9 = V(A)$ определяются с помощью подмножества IS , а $AT_{10} = D$, $AT_{11} = F$, $AT_{12} = L$, $AT_{13} = P$ – с помощью подмножества ES .

Пример 1. Формирование АК – Этап 2 (Определение весовых коэффициентов). На этом этапе осуществим определение W_i для каждого AT_i . Пусть при $to=33$ и $an=13$ известен анализ соответствующего количества RAT_j относительно определенных характеристик риска. В этом случае обобщенная табл. 1.3 для данного примера будет отображаться в виде табл. 1.5, где с учетом п. 1.3 [37] приведены конкретные данные о характеристиках риска, используемых в соответствующих анализируемых средствах.

Таблица 1.5. Сводные данные анализа RAT_j (пример)

AT _i	Средства ОП – RAT _j (j = 1, 33, i = 1, 13)																											W _i							
	COBRA	GRAMM	RiskWatch	RA2 art of risk	K3C	Risk Advisor vsRisk	OCTAVE	Callio Secura	Грэф 2006	@RISK	RiskPAC	MSAT	MEC	NIST 800-30	VAR	TRA	FRAP	BSI-Standard 100-3	ИББС-2-2009	ISO/IEC 27005	Risk Matrix	AS/NZS 4360:2004	Mehant	ISO/FDIS 31000	MAGERIT Information SRA	Conas	Ebrios		ISAMM	IRAM ₂	PfA	Det-AOP	Fuz-AOP		
AES	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
CS	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	17
DT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,5	0,5	4,5
E	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	0,5	1	1	22
M	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	31
SC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0,5	1	
VA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
V(A)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33
D	0	0	0	1	1	1	0,5	1	0	0,5	0	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	1	18
F	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	7
L	0	0,5	1	0	0,5	0,5	0	0	0,5	0,5	0,5	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	14
P	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	29

Пример 1. Формирование АК – Этап 3 (Формирование последовательности параметров). Здесь создается последовательность параметров, которая составляет основу для построения АК. С учетом результатов, полученных на этапах 1 и 2 последовательность AT_i упорядочивается по убыванию их W_i и алфавиту (см. табл. 1.6).

Поскольку $W_1 \geq W_2 \geq \dots \geq W_9$ и $W_{10} \geq W_{11} \geq \dots \geq W_{13}$ т.е. $33 \geq 31 \geq \dots \geq 0$ и $29 \geq 17 \geq \dots \geq 7$, то АК будет иметь следующий вид: $\langle AT_1, AT_2, AT_3, AT_4, AT_5, AT_6, AT_7, AT_8, AT_9, AT_{10}, AT_{11}, AT_{12}, AT_{13} \rangle = \langle V(A), M, E, CS, DT, SC, AES, CA, VA, P, D, L, F \rangle$.

Таблица 1.6. Упорядоченные AT_i для формирования АК (пример)

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
W_i	33	31	22	17	4,5	1	0	0	0	29	18	14	7
AT_i	$V(A)$	M	E	CS	DT	SC	AES	CA	VA	P	D	L	F

Рассмотрим суть второго принципа, ориентированного на формирование СК – $\langle ST_1, ST_2, \dots, ST_{dev} \rangle$ (см. рис. 1.1), где ST_i – компонент СК ($i = \overline{1, dev}$), а dev – количество его членов. По аналогии с первым принципом формирование СК осуществляется посредством 3-х этапов.

Формирование СК – Этап 1. (Разделение параметров). С учетом того, что в средствах ОР используется два вида параметров, то первая часть кортежа представляется как $ST_i^{(IS)}$ ($i = \overline{1, sin}$, $sin \leq ind$), а вторая – $ST_i^{(ES)}$ ($i = \overline{1, sas}$, $sas \leq ass$), где $dev = sin + sas$, sin и sas – соответственно количество идентифицирующих и оценочных характеристик риска ИБ в СК. С учетом этого СК будет иметь вид:

$$\langle ST_1^{(IS)}, \dots, ST_{sin}^{(IS)}, ST_{sin+1}^{(ES)}, \dots, ST_{dev}^{(ES)} \rangle.$$

Здесь эксперт определяет наборы параметров с подмножеств IS и ES для формирования СК.

Формирование СК – Этап 2. (Определение весовых коэффициентов). Выбор ST_i и присвоение им весовых коэффициентов в этом случае реализуется экспертным путем, например, посредством методов ранжирования [38] с учетом результатов анализа,

представленного в табл. 1.5 (по аналогии с АК). В этом случае для каждого ST_i реализуется попарное сравнение с выставлением оценочных коэффициентов от 0 до 1. Таким образом, формируются значения W_{ij} и далее определяется весовой коэффициент W_i для $ST_i^{(IS)}$ по выражению

$$W_i = \sum_{i=1}^{sin} \sum_{j=1}^{sin} W_{ij},$$

где величина W_{ij} ($i, j = \overline{1, sin}$), а для $ST_i^{(ES)}$ –

$$W_i = \sum_{i=1}^{sas} \sum_{j=1}^{sas} W_{ij}, \quad (i, j = \overline{1, sas}).$$

Таким образом, в общем виде результаты ранжирования можно представить табл. 1.7 и 1.8. Величины W_{ij} и W_i несут смысловую нагрузку аналогичную той, которая определена первым принципом.

Таблица 1.7. Результаты ранжирования для $ST_i^{(IS)}$

$ST_i^{(IS)}$	$ST_1^{(IS)}$	...	$ST_{sin}^{(IS)}$	W_i
$ST_1^{(IS)}$	1	...	W_{1sin}	W_1
...
$ST_{sin}^{(IS)}$	W_{sin1}	...	1	W_{sin}

Таблица 1.8. Результаты ранжирования для $ST_i^{(ES)}$

$ST_i^{(ES)}$	$ST_1^{(ES)}$	...	$ST_{sas}^{(ES)}$	W_i
$ST_1^{(ES)}$	1	...	W_{1sas}	W_1
...
$ST_{sas}^{(ES)}$	W_{sas1}	...	1	W_{sas}

Формирование СК – Этап 3. (Формирование последовательности параметров). На основе вычисленных коэффициентов W_i (с учетом того, что $W_1 \geq W_2 \geq \dots \geq W_{sin}$ и $W_{sin+1} \geq W_{sin+2} \geq \dots \geq W_{dev}$) формируется последовательность ST_i для кортежа $\langle ST_1, ST_2, \dots, ST_{dev} \rangle$. В результате получим ST_i , которые упорядочены по убыванию их

W_i и алфавиту. Таким образом, согласно W_i каждое ST_i получает в результате их перенумерации новый индекс. Для удобства сформированный таким образом упорядоченный список ST_i представляется в виде обобщенной таблицы (см. табл. 1.9).

Таблица 1.9. Упорядоченные ST_i для формирования СК

i	1	...	sin	$sin+1$	...	dev
$\overline{W_i}$ ($i = \overline{1, dev}$)	W_1	...	W_{sin}	W_{sin+1}	...	W_{dev}
$\overline{ST_i}$ ($i = \overline{1, dev}$)	ST_1	...	$ST_{sin}^{(IS)}$	$ST_{sin+1}^{(ES)}$	...	$ST_{dev}^{(ES)}$

Рассмотрим пример формирования СК. В качестве непосредственного инструментального средства для получения $ST_i^{(IS)}$ ($i = \overline{1, sin}$) и $ST_i^{(ES)}$ ($i = \overline{1, sas}$) используем метод попарных сравнений [11, 38] (см. табл. 1.7 и 1.8).

Пример 2. Формирование СК – Этап 1. (Разделение параметров). Разделяем параметры с целью последующего упорядочения величин для СК, который с учетом подмножеств IS , ES при $dev=8$ и $dev = sin + sas = 4+4=8$ может иметь следующий вид: $\langle ST_1, ST_2, ST_3, ST_4, ST_5, ST_6, ST_7, ST_8 \rangle = \langle AES, CA, E, V(A), D, F, L, P \rangle$, где ST_1, ST_2, ST_3, ST_4 определяются с помощью подмножества IS , а ST_5, ST_6, ST_7, ST_8 – с помощью подмножества ES .

Пример 2. Формирование СК – Этап 2. (Определение весовых коэффициентов). При $dev=8$ посредством ранжирования с помощью метода попарных сравнений [11, 38] определим W_i для каждого ST_i . Таким образом табл. 1.7 и 1.8 для данного примера отображаются табл. 1.10 и 1.11, где с учетом [11, 38] приведены соответствующие результаты ранжирования.

Таблица 1.10. Результаты ранжирования для $ST_i^{(IS)}$ (пример)

ST_i	<i>AES</i>	<i>CA</i>	<i>E</i>	<i>V(A)</i>	W_i
<i>AES</i>	1	0	0	0	3
<i>CA</i>	1	1	0,5	0,5	6,5
<i>E</i>	1	0,5	1	0,5	5
<i>V(A)</i>	1	0,5	0,5	1	6,5

Таблица 1.11. Результаты ранжирования для $ST_i^{(ES)}$ (пример)

ST_i	<i>D</i>	<i>F</i>	<i>L</i>	<i>P</i>	W_i
<i>D</i>	1	0,5	0,5	0	3
<i>F</i>	0,5	1	0,5	0	2
<i>L</i>	0,5	0,5	1	0	3
<i>P</i>	1	1	1	1	7

Пример 2. Формирование СК – Этап 3. (Формирование последовательности параметров). Здесь, согласно полученных W_i , формируется последовательность параметров, составляющих основу СК. С учетом результатов полученных на этапах 1 и 2 последовательность ST_i упорядочивается по убыванию их W_i и алфавиту (см. табл. 1.12). Поскольку $W_1 \geq W_2 \geq \dots \geq W_4$ и $W_5 \geq W_6 \geq \dots \geq W_8$ т.е. $6,5 \geq 6,5 \geq \dots \geq 3$, и $7 \geq 3 \geq \dots \geq 2$, то СК будет иметь следующий вид:

$$\langle ST_1, ST_2, ST_3, ST_4, ST_5, ST_6, ST_7, ST_8 \rangle = \langle CA, V(A), E, AES, P, D, L, F \rangle.$$

Разработчик, учитывая оценки экспертов, может при построении систем АОР исключить из кортежа не критическую часть параметров, т.е. ту, которая не существенно влияет на эффективность решения задач, возлагаемых на разрабатываемую систему, например, *L* и *F*.

Таблица 1.12. Упорядоченные ST_i для формирования СК (пример)

<i>i</i>	1	2	3	4	5	6	7	8
W_i	6,5	6,5	5	3	7	3	3	2
ST_i	<i>CA</i>	<i>V(A)</i>	<i>E</i>	<i>AES</i>	<i>P</i>	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>F</i>

Таким образом, в работе впервые разработан метод формирования АК и СК, который за счет процедур разделения исходных ха-

рактических на идентифицирующие и оценочные компоненты, определения весовых коэффициентов и формирования последовательности базовых параметров, позволяет реализовать соответствующие формирователи в АСМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 1

1. Suominen, Arto, «Mercurius», Turku, № 5, P. 14–17, 1994.
2. «Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements», *ISO/IEC 27001:2005*, International Organization for Standardization (ISO) and the International Electrotechnical Commission (IEC), 2005, p. 34.
3. Л. Любимов, И. Формсилова, Е. Шапиро, *Поверка средств электрических измерений: справ. Книга*, Л.: Энергоатомиздат, 1987, с. 296.
4. С. Петренко, С. Симонов, *Управление информационными рисками. Экономически оправданная безопасность*, М.: Компания АйТи, ДМК Пресс, 2004, с. 384.
5. Б. Кормич, *Інформаційна безпека: організаційно-правові основи. Навч. посібник*, К.: Кондор, 2004, с. 384.
6. С. Гладыш, «Организационные и методические аспекты экспертной оценки информационной безопасности информационно-телекоммуникационных систем», *Правове нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*, № 1(12), С. 178–188, 2006.
7. С. Князев, «Іноземний досвід захисту важливих інформаційних ресурсів», *Бизнес и безопасность*, № 3, С. 27–29, 2009.
8. М. Луцкий, А. Корченко, Е. Иванченко, С. Казмирчук, «Исследование программных средств анализа и оценки риска информационной безопасности», *Захист інформації*, №3, С. 97–108, 2011.
9. «Risk Management Guide for Information Technology Systems. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology [Gary Stoneburner, Alice Goguen, Alexis Feringa]», *National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-30*, Falls Church: Natl. Inst. Stand. Technol, 2002, p. 54.
10. Руководство по управлению рисками безопасности» [Электронный ресурс], *Группа разработки решений Майкрософт по безопасности и соответствию, регулятивным нормам; Центр Microsoft security center of excellence, TechNet*, Редмонд, США: Корпорация Майкрософт, 2006, [Online]. Режим доступа:

<http://technet.microsoft.com/ru-ru/library/cc163143.aspx>. –

[просмотрено 29 декабря 2011].

11. А. Корченко, *Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения*, К.: МК-Пресс, 2006, с.320.

12. С. Симонов, «Технологии и инструментарий для управления рисками», *Информационный бюллетень Jet Info*, № 2 (117), С. 3–32, 2003.

13. П. Бергер, Т. Лукман, «Социальное конструирование реальности. Трактат по социологии знания», М.: «Медиум», 1995, с. 323.

14. А. Корченко, Е. Иванченко, С. Казмирчук «Интегрированное представление параметров риска», *Захист інформації*, №1, С. 96–101, 2011.

15. А. Алексеев «Управление рисками. Метод CRAMM», IT Expert, М.: ЗАО «ИТ Эксперт», 2010. [Online]. Режим доступа: http://www.itexpert.ru/rus/ITEMS/ITEMS_CRAMM.pdf. [просмотрено 19 декабря 2010].

16. К. Широков, *Большой советской энциклопедии*, М.: Печь, Польшин, 1955, с. 669.

17. М. Луцкий, Е. Иванченко, С. Казмирчук, «Базовые понятия управления риском в сфере информационной безопасности», *Захист інформації*, № 2, С. 86–94, 2011.

18. Д. Костров, «Анализ рисков и управление ими», *Вестник России*, №10 (62), С. 15–20, 2003.

19. С. Симонов, «Анализ рисков в информационных системах. Практические аспекты. Защита информации», *Конфидент. Безопасность компьютерных систем*, №2, С. 48-53, 2001.

20. И. Медведовский, «Современные методы и средства анализа и контроля рисков информационных систем компаний CRAMM, RiskWatch и ГРИФ» [Электронный ресурс], *SecurityLab*, Мн.: SecurityLab, 2004, [Online]. Режим доступа: <http://www.ixbt.com/cm/informationssystem-risks012004.shtml>. [просмотрено 18 декабря 2011].

21. W. Rowe, *An anatomy of risk*, NY: John Wiley, 1997, p. 488.

22. «Рекомендации в области стандартизации банка России. Обеспечение информационной безопасности организаций банковской системы Российской Федерации. Методика оценки

рисков нарушения информационной безопасности», [Электронный ресурс], *РС БР ИББС-2.2-2009*, Введ. 2010.01.01, Банк России: Официальный сайт, М.: Банк России. [Online]. Режим доступа: http://www.cbr.ru/credit/gubzi_docs/st22_09.pdf. [просмотрено 29 декабря 2011].

23. С. Гнатюк, «Кібертероризм: історія розвитку, сучасні тенденції та контрзаходи», *Безпека інформації*, №2, С. 118-129, 2013.

24. О. Шаховал, І. Лозова, С. Гнатюк, «Рекомендації щодо розробки стратегії забезпечення кібербезпеки України», *Защита информации*, №1, С. 57-65, 2016.

25. А. Корченко, А. Архипов, С. Казмирчук, *Анализ и оценивание рисков информационной безопасности. Монография*, Киев: ООО «Лазурит-Полиграф», 2013, с. 275.

26. Б. Ахметов, С. Казмирчук, А. Гололобов, С. Гнатюк, Н. Сейлова, «Метод n-кратного понижения порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы», *Безпека інформації*, Т.20, №3., С. 306-311, 2014.

27. С. Казмирчук, «Метод трансформирования термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков информационной безопасности», *Захист інформації*, Т.15, №3, липень-вересень, С. 268-276, 2013.

28. А. Корченко, С. Казмирчук, «Качественно-количественный метод оценивания рисков информационной безопасности», *Захист інформації*, №2, С. 157-170, 2016.

29. А. Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, М. Жекамбаева, «Метод n-кратного инкрементирования порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы», *Захист інформації*, №3, С. 231-239, 2015.

30. А. Корченко, С. Казмирчук, Б. Ахметов, М. Жекамбаева, «Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков», *Безпека інформації*, Т.21, №2, С. 191-200, 2015.

31. А. Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, А. Гололобов, Н. Сейлова, «Метод n-кратного понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков», *Захист інформації*, Т.16, №4, жовтень-грудень, С. 284-291, 2014.

32. А. Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, М. Жекамбаева, «Метод n-кратного инкрементирования порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы», *Захист інформації*, №3, С. 231-239, 2015.

33. А. Корченко, С. Казмирчук, Б. Ахметов, М. Жекамбаева, «Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков», *Безпека інформації*, Т.21, №2, С. 191-200, 2015.

34. А. Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, А. Гололобов, Н. Сейлова, «Метод n-кратного понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков», *Захист інформації*, Т.16, №4, жовтень-грудень, С. 284-291, 2014.

35. А. Корченко, С. «Казмирчук Метод оценивания рисков информационной безопасности на основе открытых баз данных уязвимостей», *Безпека інформації*, №2, С. 216-226, 2016.

36. А. Корченко, С. Казмирчук, Ю. Дрейс, А. Гололобов, «Бистабильная интегрированная кортежная модель характеристик риска», *Захист інформації*, Т. 18, №. 4, С. 314-323, 2016.

37. Ф. Приставка, П. Павленко, С. Казмирчук, М. Коломиец, «Исследование средств оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем», *Захист інформації*, №1, С. 47-56, 2017.

38. Д. Горницька, В. Волянська, А. Корченко «Визначення коефіцієнтів важливості для експертного оцінювання у галузі інформаційної безпеки», *Захист інформації*, №1, С. 108-121, 2012.

Глава 2. БАЗОВЫЕ МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ПОРЯДКА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Для реализации процесса АОР, как одного из этапов при построении комплексной системы защиты информации (КСЗИ) и системы менеджмента информационной безопасности (СМИБ), предлагается использовать новые программные решения соответствующих систем оценивания [1-3], которые основаны на логико-лингвистическом подходе [4, 5], известных методах [3], методологии синтеза систем АОР потерь информационных ресурсов [3] и модели интегрированного представления параметров риска (п. 1.1).

Указанные программные решения дают возможность на практике осуществлять оценивание при различных исходных величинах, а также учитывать возможность четкого детерминирования экспертом оцениваемых параметров и условия, когда эксперт сомневается в однозначности своих приоритетов [4, 5].

В соответствующих системах, при оценивании в нечетких условиях для интерпретации описаний естественного языка используют ЛП, например, DR = «СТЕПЕНЬ РИСКА», с определенным количеством термов, которые отображаются НЧ относительно интервалов значений, количество которых зависит от числа используемых термов. В практическом использовании указанных систем возникают ситуации, при которых удобно для АОР применять эталоны с другим количеством термов.

При этом следует осуществить их переопределение, для чего необходимо привлекать экспертов соответствующей предметной области, что в реальных условиях есть достаточно проблематичным. В связи с этим, актуальной является задача эквивалентного преобразования ЛП посредством создания эталонов параметров с возможностью варьирования числом термов.

Решать поставленную задачу предлагается с помощью метода, в основе которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять трансформирование значений термов ЛП, посредством соответствующего эквивалентного преобразования.

2.1. Метод декрементирования числа термов лингвистических переменных на трапециевидных нечетких числах

Как уже было отмечено в работах [1-3] для интерпретации нечетких описаний можно использовать ЛП $DR = \langle \text{СТЕПЕНЬ РИСКА} \rangle$

($DR \in \{DR_j\}$), которая определяется кортежем [3-5] $\langle DR, \underline{T}_{DR},$

$\overline{X}_{DR} \rangle$. Здесь базовые терм-множества задаются m термами:

$$\underline{T}_{DR}^{(m)} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{DR_j} = \{ \underline{T}_{DR_1}, \dots, \underline{T}_{DR_j}, \dots, \underline{T}_{DR_m} \},$$

где (m) – идентификатор, указывающий на общее количество термов в DR . Из этого следует, что соответствующая ЛП DR отображается m термами $\underline{T}_{DR}^{(m)}$, обозначается $DR^{(m)}$ и является m -мерной.

Так, например, зададим 5-мерную ($m=5$) ЛП $DR^{(5)}$ термами:

$$\underline{T}_{DR}^{(5)} = \bigcup_{j=1}^5 \underline{T}_{DR_j} = \{ \langle \text{Незначительный риск нарушения информационной}$$

безопасности (ИБ) \rangle (НР), \langle \text{Степень риска нарушения ИБ низкая} \rangle (РН), \langle \text{Степень риска нарушения ИБ средняя} \rangle (РС), \langle \text{Степень риска нарушения ИБ высокая} \rangle (РВ), \langle \text{Предельный риск нарушения ИБ} \rangle (ПР) \}, \tag{2.1}

которые представим трапециевидными НЧ с ФП соответственно $\mu_1(dr), \dots, \mu_j(dr), \dots, \mu_m(dr)$, вычисляемые по следующему выражению [4]:

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

где $a_j \leq b_{1j} \leq b_{2j} \leq c_j$, при $j = \overline{1, m}$, $\{a_1, c_m\} = \{\emptyset\}$, а $L(dr)$, $R(dr)$ – функции (невозрастающие на множестве не положительных чисел), которые удовлетворяют свойствам:

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

Для целей компактного представления трапецевидные ФП $\mu(dr)$ удобно описывать НЧ в виде:

$$\underline{X}_{DR} = (a, b_1, b_2, c)_{LR},$$

где a и c – абсциссы нижнего основания, а b_1 и b_2 – абсциссы верхнего основания трапеции (например, см. рис. 2.1, а), задающей $\mu(dr)$ в области с ненулевой принадлежностью носителя dr соответствующему нечеткому подмножеству [5]. Для каждого из термов

$\underline{T}_{DR_1}, \dots, \underline{T}_{DR_j}, \dots, \underline{T}_{DR_m}$ задается свой интервал значений $[dr_{min};$

$dr_1], \dots, [dr_j; dr_{j+1}], \dots, [dr_m; dr_{max}]$ ($j = \overline{1, m}$), а каждый терм ЛП отображается посредством НЧ, пример которых приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Пример эталонных трапецевидных НЧ при $m=5$

Тип 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>Равномерное</i>	(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}
<i>Неравномерное</i>	(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}
<i>Возрастающее</i>	(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}
<i>Убывающее</i>	(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}

Для эквивалентного преобразования m -мерных термов НЧ ЛП $DR^{(m)}$ в $DR^{(m-1)}$ предлагается метод трансформирования термов, который реализуется в 2 этапа.

Этап 1 – Формирование базы.

Пусть исходная ЛП имеет вид:

$$DR^{(m)} \{ \underline{T}_{DR_1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, \}$$

$$\tilde{T}_{DR_j}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots,$$

$$\tilde{T}_{DR_m}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR}\},$$

а преобразованная –

$$DR^{(m-1)} \{ \tilde{T}_{DR_1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_{11}^{(m-1)}; b_{21}^{(m-1)}; c^{(m-1)})_{LR}, \dots,$$

$$\tilde{T}_{DR_j}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \dots,$$

$$\tilde{T}_{DR_{m-1}}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR}\}$$

($j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, 2}$), тогда функцию трансформирования ЛП на минус один порядок обозначим через FT^{-1} (**ЛП**). Тогда, например, понижение $DR^{(m)}$ на один порядок можно представить как:

$$DR^{(m-1)} = FT^{-1}(DR^{(m)}). \quad (2.2)$$

Этап 2 – Расширение базы.

Заданная функция реализуется посредством следующих аналитических преобразований:

для $\tilde{T}_{DR_1}^{(m-1)}$ –

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

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

$$b_{11}^{(m-1)} = k_2^{(m-1)}(b_{11}^{(m)} + b_{12}^{(m)} - B^{(m)}) / 2; \quad (2.3)$$

...

для $\tilde{T}_{DR_j}^{(m-1)}$ –

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

$$c_j^{(m-1)} = k_1^{(m-1)}(c_j^{(m)} + c_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \quad (2.4)$$

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

...

для $\underline{T}_{DR_{m-1}}^{(m-1)}$ –

$$\begin{aligned} a_{m-1}^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)} (a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \\ c_{m-1}^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)} (c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \\ b_{im-1}^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)} (b_{im-1}^{(m)} + b_{im}^{(m)} - B^{(m-1)}) / 2, \end{aligned} \quad (2.5)$$

где $k_1^{(m-1)} = 2c_{dr} / (c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)})$;

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

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

С помощью этого метода после осуществления процесса трансформирования, посредством функции FT^{-1} (ЛП), получаем эквивалентную ЛП, отличающуюся от исходной количеством и значениями термов, но при этом сохраняется ее смысловое содержание, отражающее исходные суждения экспертов.

Покажем работу предложенного метода на конкретных примерах с различным типом распределения НЧ по оси dr .

Пример 1. Воспользуемся равномерно распределенными по оси dr НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности:

$$\Omega_p = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} = b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} = b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (2.6)$$

где Ω_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 « \Leftrightarrow » 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 отражают одинаковое предпочтение эксперта относительно ОП п. 1.2.

Например, пусть для данной ЛП при $m=5$ НЧ принимают следующие значения: $\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 11,11; 22,2)_{LR}$; $\underline{T}_{DR_2} = (11,11; 22,2; 33,33; 44,44)_{LR}$ и т.д. (все числовые данные для равномерно распре-

деленных НЧ приведены в таблице 2.1). Проверим условие равномерности:

$$\Omega_p = (b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} = b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} = b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} = b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} = b_{14} - b_{23}) \wedge (b_{14} - b_{23} = b_{15} - b_{24}) = (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) \wedge (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) \wedge (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) \wedge (77,77 - 66,66 = 99,99 - 88,88) \wedge (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) \wedge (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) \wedge (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим условие равномерности истинно, значит НЧ ЛПИ $DR^{(5)}$ соответствует равномерному распределению.

Далее выполним, в соответствие с выражениями (2.3)-(2.5), преобразование (2.2) т.е. $DR^{(4)} = FT^{-1}(DR^{(5)})$. В результате трансформирования термов ЛПИ, получим, например, для $DR^{(4)}$ следующие значения:

$$\begin{aligned} \tilde{T}_{DR}^{(4)} = \bigcup_{j=1}^4 T_{DR_j} = \{ & \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),} \\ & \text{«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),} \\ & \text{«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ),} \\ & \text{«Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)} \}, \end{aligned} \quad (2.7)$$

числовые эквиваленты, которых интерпретируются как:

для \tilde{T}_{DR_1} –

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

$$k_1^{(4)} = 2 * 100 / (c_4^{(5)} + c_5^{(5)} - A^{(4)}) = 200 / (88,88 + 100 - 11,11) = 1,125;$$

$$a_1^{(4)} = k_1^{(4)} (a_1^{(5)} + a_2^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,125 (0 + 11,11 - 11,11) / 2 = 0;$$

$$c_1^{(4)} = k_1^{(4)} (c_1^{(5)} + c_2^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,125 (22,2 + 44,44 - 11,11) / 2 = 31,24;$$

$$B^{(4)} = b_{11}^{(5)} + b_{12}^{(5)} = 0 + 22,2 = 22,2;$$

$$k_2^{(4)} = 2b_{dr} / (b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)} - B^{(4)}) = 2 * 100 / (177,77 - 22,2) = 1,29;$$

$$b_{11}^{(4)} = k_2^{(4)} (b_{11}^{(5)} + b_{12}^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,29 (0 + 22,2 - 22,2) / 2 = 0;$$

$$b_{21}^{(4)} = k_2^{(4)} (b_{21}^{(5)} + b_{22}^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,29 (11,11 + 33,33 - 22,2) / 2 = 14,29;$$

для \tilde{T}_{DR_2} -

$$a_2^{(4)} = k_1^{(4)} (a_2^{(5)} + a_3^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,125 (11,11 + 33,33 - 11,11) / 2 = 18,75;$$

$$c_2^{(4)} = k_1^{(4)} (c_2^{(5)} + c_3^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,125 (44,44 + 66,66 - 11,11) / 2 = 56,25;$$

$$b_{12}^{(4)} = k_2^{(4)} (b_{12}^{(5)} + b_{13}^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,29 (22,2 + 44,44 - 22,2) / 2 = 28,57;$$

$$b_{22}^{(4)} = k_2^{(4)} (b_{22}^{(5)} + b_{23}^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,29 (33,33 + 55,55 - 22,2) / 2 = 42,86,$$

а для \tilde{T}_{DR_3} и \tilde{T}_{DR_4} числовые эквиваленты приведены в табл. 2.2.

Таким образом, для всех $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ получим значения

$$\tilde{T}_{DR_1} = \langle \text{HP} \rangle = (a_1, b_{11}, b_{12}, c_1)_{LR} = (0; 0; 14,3; 31,24)_{LR}; \dots; \tilde{T}_{DR_4} =$$

$\langle \text{ПР} \rangle = (a_4, b_{41}, b_{42}, c_4)_{LR} = (68,75; 85,71; 100; 100)_{LR}$ (см. табл. 2.2), соответствующая графическая интерпретация которых представлена на рис. 2.1, б.

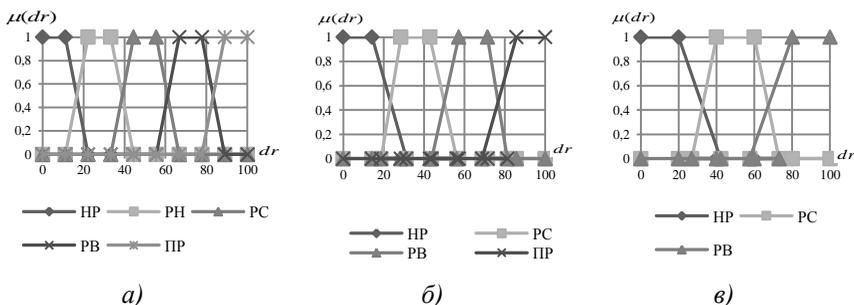


Рис. 2.1. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для

ЛП DR: а) $\tilde{T}_{DR}^{(5)}$; б) $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$; в) $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$

Таблица 2.2. Пример эталонных трапецевидных НЧ при $m=4$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j=\overline{1,4})$			
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{T}_{DR_3}	\underline{T}_{DR_4}
Равномерное	$(0; 0; 14,29; 31,24)_{LR}$	$(18,75; 28,57; 42,86; 56,25)_{LR}$	$(43,75; 57,14; 71,43; 81,25)_{LR}$	$(68,75; 85,71; 100; 100)_{LR}$
Неравномерное	$(0; 0; 12,9; 25,81)_{LR}$	$(38,71; 38,71; 54,84; 54,84)_{LR}$	$(67,74; 67,74; 77,42; 77,42)_{LR}$	$(90,32; 91,61; 100; 100)_{LR}$
Возрастающее	$(0; 0; 6,45; 16,38)_{LR}$	$(8,47; 15,48; 27,1; 38,98)_{LR}$	$(26,55; 41,29; 58,06; 70,62)_{LR}$	$(53,67; 77,42; 100; 100)_{LR}$
Убывающее	$(0; 0; 22,58; 46,33)_{LR}$	$(29,38; 41,94; 58,71; 73,45)_{LR}$	$(61,02; 72,9; 84,52; 91,53)_{LR}$	$(83,62; 93,55; 100; 100)_{LR}$

Теперь вычислим условие равномерности для $\underline{T}_{DR}^{(4)} (m=4)$:

$$\Omega_p = (14,29 - 0 = 42,86 - 28,57) \wedge (42,86 - 28,57 = 71,43 - 57,14) \wedge (71,43 - 57,14 = 100 - 85,71) \wedge (28,57 - 14,29 = 57,14 - 42,86) \wedge (57,14 - 42,86 = 85,71 - 71,43) = 1.$$

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

Далее, аналогичным образом по выражениям (2.3)-(2.5) осуществим преобразование (2.2) при $m=4$ т.е. $DR^{(3)} = FT^{-1}(DR^{(4)})$ с использованием исходных значений НЧ из табл. 2.2.

В процессе трансформирования термов получаем следующие значения:

$$\underline{T}_{DR}^{(3)} = \bigcup_{j=1}^3 \underline{T}_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР)},$$

«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),

«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ) \}, \quad (2.8)

числовые эквиваленты, которых занесены в табл. 2.3, а пример

вычислений \underline{T}_{DR_1} и \underline{T}_{DR_2} представим ниже.

Для \underline{T}_{DR_1} :

$$A^{(3)} = a_1^{(4)} + a_2^{(4)} = 18,75;$$

$$k_1^{(3)} = 2 * 100 / (c_3^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}) = 1,23;$$

$$a_1^{(3)} = k_1^{(3)} (a_1^{(4)} + a_2^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 0;$$

$$c_1^{(3)} = k_1^{(3)} (c_1^{(4)} + c_2^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 42,30;$$

$$B^{(3)} = b_{11}^{(4)} + b_{12}^{(4)} = 28,57;$$

$$k_2^{(3)} = 2b_{dr} / (b_{23}^{(4)} + b_{24}^{(4)} - B^{(3)}) = 1,4;$$

$$b_{11}^{(3)} = k_2^{(4)} (b_{11}^{(4)} + b_{12}^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 0;$$

$$b_{21}^{(3)} = k_2^{(3)} (b_{21}^{(4)} + b_{22}^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 20.$$

Для \underline{T}_{DR_2} :

$$a_2^{(3)} = k_1^{(3)} (a_2^{(4)} + a_3^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 26,92;$$

$$c_2^{(3)} = k_1^{(3)} (c_2^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 73,08;$$

$$b_{12}^{(3)} = k_2^{(3)} (b_{12}^{(4)} + b_{13}^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 40;$$

$$b_{22}^{(3)} = k_2^{(3)} (b_{22}^{(4)} + b_{23}^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 60.$$

Таблица 2.3. Пример эталонных трапецевидных НЧ при $m=3$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,3})$		
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{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	$(0; 0; 27,6; 55,75)_{LR}$	$(37,63; 51,13; 71,04; 83,62)_{LR}$	$(71,08; 87,33; 100; 100)_{LR}$

Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 2.1, в, а условие равномерности (2.2) 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 Ω_p является истинным, что говорит об адекватности эквивалентных преобразований ЛП реализуемых предложенным методом (см. рис. 2.1, а-в).

Пример 2. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ, т.е. для которых будет истинным условие

$$\Omega_n = \bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} \neq b_{2j+1} - b_{1j+1}) + \bigvee_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} \neq b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (2.9)$$

где Ω_n – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_n=1$ – условие истинно, в противном случае $\Omega_n=0$ – ложно (см. табл. 2.1-2.3 и рис. 2.2, а-в)).

Неравномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП в которых хотя бы один терм отражает не одинаковое предпочтение эксперта относительно любого другого термина конкретного оценочного параметра.

Например, пусть для ЛП $DR^{(m)}$ (2.1) при $m=5$ НЧ принимают значения из табл. 2.1 для неравномерно распределенных чисел.

Проверим условие неравномерности:

$$\begin{aligned} \Omega_n = & (b_{21} - b_{11} \neq b_{22} - b_{12}) \vee (b_{22} - b_{12} \neq b_{23} - b_{13}) \vee (b_{23} - b_{13} \neq b_{24} - b_{14}) \vee \\ & (b_{24} - b_{14} \neq b_{25} - b_{15}) + (b_{12} - b_{21} \neq b_{13} - b_{22}) \vee (b_{13} - b_{22} \neq b_{14} - b_{23}) \vee \\ & (b_{14} - b_{23} \neq b_{15} - b_{24}) = (0 - 0 \neq 50 - 30) \vee (50 - 30 \neq 65 - 60) \vee \\ & (65 - 60 \neq 85 - 75) \vee (85 - 75 \neq 100 - 97) + (30 - 0 \neq 60 - 50) \vee \\ & (60 - 50 = 75 - 65) \vee (75 - 65 \neq 97 - 85) = 1 \vee 1 \vee 1 \vee 1 + 1 \vee 0 \vee 1 = 1. \end{aligned}$$

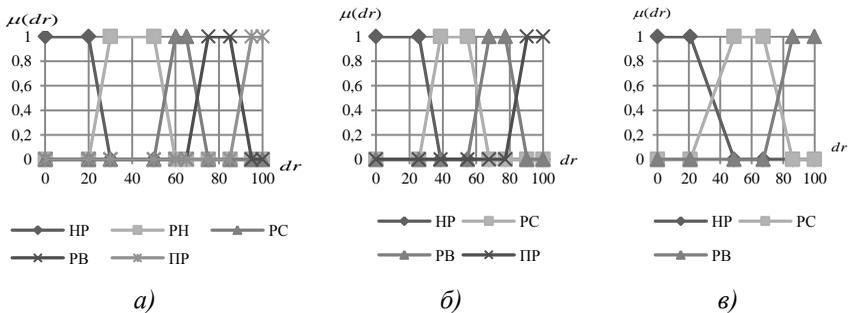


Рис. 2.2. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(5)}$; б) $T_{DR}^{(4)}$; в) $T_{DR}^{(3)}$

Как видим условие неравномерности истинно, это говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(5)}$ такому типу распределения, как неравномерное.

Далее выполним, в соответствии с выражениями (2.3)-(2.5), преобразование (2.2) при $m=4$, с исходными значениями из табл. 2.1 для неравномерно распределенных НЧ. В результате трансформи-

рования для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ (см. (2.7)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

$$\text{для } \tilde{T}_{DR_1} - A^{(4)} = 30; k_1^{(4)} = 1,29; a_1^{(4)} = 0; c_1^{(4)} = 25,8; B^{(4)} = 30; k_2^{(4)} = 1,29; b_{11}^{(4)} = 0; b_{21}^{(4)} = 12,9;$$

$$\text{для } \tilde{T}_{DR_2} - a_2^{(4)} = 38,71; c_2^{(4)} = 54,84; b_{12}^{(4)} = 38,71; b_{22}^{(4)} = 54,84.$$

Для \tilde{T}_{DR_3} и \tilde{T}_{DR_4} числовые эквиваленты приведены в табл. 2.2.

После проведенных преобразований по выражению (2.9) вычислим Ω_n для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_n = (12,9 - 0 \neq 54,84 - 38,71) \vee (54,84 - 38,71 \neq 77,42 - 67,74) \vee (77,42 - 67,74 \neq 100 - 91,61) + \vee (38,71 - 12,9 \neq 67,74 - 54,84) \vee (67,74 - 54,84 \neq 91,61 - 77,42) = 1.$$

Условие неравномерности, также, как и при $m=5$, является истинно, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

По аналогии согласно (2.2) осуществим преобразование неравномерно распределенных НЧ для $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$ ($m=3$) (см. (2.8)) с исходными данными из табл. 2.2.

В результате получим значения термов, числовые эквиваленты которые занесем в табл. 2.3. Пример вычислений \tilde{T}_{DR_1} и \tilde{T}_{DR_2} представим ниже:

$$\tilde{T}_{DR_1} - A^{(3)} = 38,71; k_1^{(3)} = 1,44; a_1^{(3)} = 0; c_1^{(3)} = 30,23;$$

$$B^{(3)} = 38,71; k_2^{(3)} = 1,44; b_{11}^{(3)} = 0; b_{21}^{(3)} = 20,93;$$

$$\tilde{T}_{DR_2} - a_2^{(3)} = 48,84; c_2^{(3)} = 67,44; b_{12}^{(3)} = 48,84; b_{22}^{(3)} = 67,44.$$

Графический вид эталонных НЧ представлен на рис. 2.2, в, а условие неравномерности (2.9) при $m=3$ истинно, т.е. $\Omega_n = 1$.

При трансформировании ЛП $DR^{(m)}$ с неравномерно распределенными эталонными НЧ, на всех этапах, прослеживается выполнение условия (2.9), что подтверждает адекватность эквивалентных преобразований ЛП, реализуемых предложенным методом (см. рис. 2.2, а-в).

Пример 3. Покажем работу представленного метода для НЧ, которые имеют возрастающий тип распределения по оси dr , т.е. для которого истинным является условие:

$$\Omega_6 = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} < b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} < b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (2.10)$$

где Ω_6 – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_6 = 1$ – условие истинно, в противном случае $\Omega_6 = 0$ – ложно).

Пусть для ЛП $DR^{(m)}$ при $m=5$ НЧ принимают значения из табл. 2.1 и имеют с возрастающий тип распределения чисел, что подтверждается вычислениями для проверки условия (2.10):

$$\begin{aligned} \Omega_6 &= (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14}) \\ &\wedge (b_{24} - b_{14} < b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23}) \wedge \\ &(b_{14} - b_{23} < b_{15} - b_{24}) = (3 - 0 < 15 - 8) \wedge (15 - 8 < 35 - 24) \wedge (35 - 24 \\ &< 63 - 48) \wedge (63 - 48 < 100 - 80) \wedge (8 - 3 < 24 - 15) \wedge (24 - 15 < 48 \\ &- 35) \wedge (48 - 35 < 80 - 63) = 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видно, условие (2.10) истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с выражениями (2.3)-(2.5), преобразования (2.2) при $m=4$ и $m=3$. Для этого воспользуемся исходными значениями НЧ с возрастающим типом распределения из табл. 2.1.

В результате чего для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ и $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$ (см. (2.7) и (2.8)) получим значе-

ния термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2.2 и 2.3 (см. рис. 2.3, а-в) и интерпретируются для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ как:

$$\tilde{T}_{DR_1} - A^{(4)} = 3; k_1^{(4)} = 1,13; a_1^{(4)} = 0; c_1^{(4)} = 16,38;$$

$$B^{(4)} = 8; k_2^{(4)} = 1,29; b_{11}^{(4)} = 0; b_{21}^{(4)} = 6,45;$$

$$\underline{T}_{DR_2} - a_2^{(4)} = 8,45; c_2^{(4)} = 38,98; b_{12}^{(4)} = 15,48; b_{22}^{(4)} = 27,1,$$

а для $\underline{T}_{DR}^{(3)}$ как:

$$\underline{T}_{DR_1} - A^{(3)} = 8,47; k_1^{(3)} = 1,23; a_1^{(3)} = 0; c_1^{(3)} = 28,92;$$

$$B^{(3)} = 15,71; k_2^{(3)} = 1,4; b_{11}^{(3)} = 0;$$

$$\underline{T}_{DR_2} - a_2^{(3)} = 16,38; c_2^{(3)} = 62,37; b_{21}^{(3)} = 12,67; b_{12}^{(3)} = 28,96; b_{22}^{(3)} = 48,87.$$

Далее проверим условие возрастания (2.10) для $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_g = (6,45 - 0 < 27,1 - 15,48) \wedge (27,1 - 15,48 < 58,06 - 41,29) \wedge (58,06 - 41,29 < 100 - 77,42) \wedge (15,48 - 6,45 < 41,29 - 27,1) \wedge (41,29 - 27,1 < 77,42 - 58,06) = 1 \text{ и для } \underline{T}_{DR}^{(3)} \text{ } (m=3) - \Omega_g = 1.$$

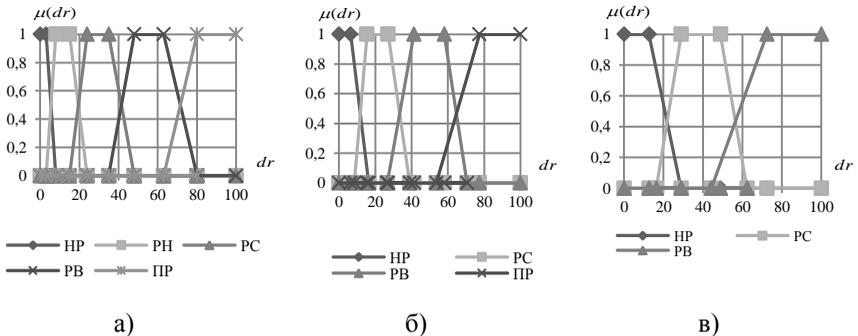


Рис. 2.3. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП DR : а) $\underline{T}_{DR}^{(5)}$; б) $\underline{T}_{DR}^{(4)}$; в) $\underline{T}_{DR}^{(3)}$

Как видим, значения Ω_g является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4. Реализуем трансформирование НЧ, которые имеют убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие:

$$\Omega_y = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} > b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} > b_{1j+2} - b_{2j+1}), \quad (2.11)$$

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

Например, пусть для данной ЛП (2.1) при $m=5$ НЧ принимают значения из табл. 2.1 и имеют убывающий тип распределения. Произведем для них проверку условия (2.11):

$$\begin{aligned} \Omega_y &= (b_{21} - b_{11} > b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} > b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} > b_{24} - b_{14}) \\ &\wedge (b_{24} - b_{14} > b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} > b_{14} - b_{23}) \wedge \\ &(b_{14} - b_{23} > b_{15} - b_{24}) = (20 - 0 > 52 - 37) \wedge (52 - 37 > 76 - 65) \wedge (76 - \\ &65 > 92 - 85) \wedge (92 - 85 > 100 - 97) \wedge (37 - 20 > 65 - 52) \wedge (65 - 52 \\ &> 85 - 76) \wedge (85 - 76 > 97 - 92) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видим условие (2.11) истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(5)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствии с выражениями (2.3)-(2.5) преобразование (2.2) при $m=4$ и $m=3$ с исходными значениями для НЧ с убывающим типом распределения из табл. 2.1, 2.2 (см. рис. 2.4, а-в). В процессе трансформирования термов получим значения для $T_{DR}^{(4)}$ и

$T_{DR}^{(3)}$ (см. (2.7) и (2.8)), числовые эквиваленты которых представле-

ны в табл. 2.2 и 2.3 соответственно и интерпретируются для $T_{DR}^{(4)}$

как:

$$T_{DR_1} - A^{(4)} = 20; k_1^{(4)} = 1,13; a_1^{(4)} = 0; c_1^{(4)} = 46,33;$$

$$B^{(4)} = 37; k_2^{(4)} = 1,29; b_{11}^{(4)} = 0; b_{21}^{(4)} = 22,58,$$

$$T_{DR_2} - a_2^{(4)} = 29,38; c_2^{(4)} = 73,45; b_{12}^{(4)} = 41,94; b_{22}^{(4)} = 58,71,$$

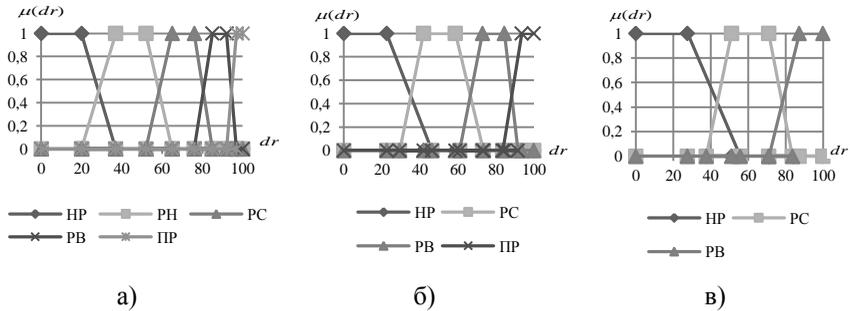


Рис. 2.4. Эталоны значений для ЛП DR с убывающим распределением:
 а) $T_{DR}^{(5)}$; б) $T_{DR}^{(4)}$; в) $T_{DR}^{(3)}$

а для $T_{DR}^{(3)}$ как:

$$T_{DR_1} - A^{(3)} = 29,38; k_1^{(3)} = 1,23; a_1^{(3)} = 0; c_1^{(3)} = 55,75;$$

$$B^{(3)} = 41,94; k_2^{(3)} = 1,4; b_{11}^{(3)} = 0; b_{21}^{(3)} = 27,6;$$

$$T_{DR_2} - a_2^{(3)} = 37,63; c_2^{(3)} = 83,62; b_{12}^{(3)} = 51,13; b_{22}^{(3)} = 71,04.$$

Проверим условие убывания (2.11) для $T_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_y = (22,58 - 0 > 58,71 - 41,94) \wedge (58,71 - 41,94 > 72,9 - 84,52) \wedge (72,9 - 84,52 > 84,52 - 72,9) \wedge (84,52 - 72,9 > 93,55 - 100) \wedge (41,94 - 22,58 > 72,9 - 58,71) \wedge (72,9 - 58,71 > 100 - 93,55) = 1 \text{ и для } T_{DR}^{(3)}$$

($m=3$) – $\Omega_y=1$. Как видно значения Ω_y является истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Представленный метод позволяет осуществлять эквивалентное преобразование ЛП посредством создания эталонов параметров с возможностью варьирования числом термов трапециевидных НЧ и позволяет повысить гибкость разрабатываемых средств оценивания, которые основываются на логико-лингвистическом подходе. Для обработки других типов функции принадлежности НЧ, напри-

мер, треугольных, необходимо провести соответствующие исследования.

2.2. Метод декрементирования числа термов лингвистических переменных на треугольных нечетких числах

Для реализации процесса анализа и оценивания информационных рисков, основанного на суждениях экспертов, как правило, требуется привлечение методов и средств, позволяющих обрабатывать нечеткие исходные данные [2, 4, 6], например, представленные в лингвистической форме. Известна система [2], в которой оценивание реализовано на основе ЛП, базирующихся на эталонных параметрических трапециевидных НЧ с различным количеством определяющих термов [4, 6].

Эффективность практического использования указанной системы зависит от ее возможностей обрабатывать другие типы НЧ, на основе которых осуществляется определения ЛП и переопределение числа их термов. Исходя из этого, необходимо эквивалентное преобразование ЛП посредством создания эталонов параметров треугольных НЧ с возможностью варьирования числом термов.

Расширить возможности указанной системы [2] можно путем использования дополнительного типа параметрических НЧ – треугольных.

В связи с этим, осуществим разработку метода преобразования эталонов параметров для систем АОР ИБ. Это будет способствовать дальнейшему развитию методов трансформирования термов и расширит их возможности по использованию треугольных НЧ.

В работе [6] и п. 2.1 НЧ описываются (для целей компактного представления трапециевидных ФП $\mu(dr)$) 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 приравняем $b_{1j} = b_{2j}$, то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные.

Исходя из сказанного, исходную ЛП представим в виде:

$$DR^{(m)} \{ \underline{T}_{DR_1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_1^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, \}$$

$$\tilde{T}_{DR_j}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_j^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots, \tilde{T}_{DR_m}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_m^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR}, \quad (2.12)$$

а преобразованную –

$$DR^{(m-1)} \{ \tilde{T}_{DR_1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_1^{(m-1)}; c_1^{(m-1)})_{LR}, \dots,$$

$$\tilde{T}_{DR_j}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_j^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \dots,$$

$$\tilde{T}_{DR_{m-1}}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{m-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR} \} (j = \overline{1, m}).$$

Тогда функцию трансформирования ЛП на минус один порядок обозначим через FT^{-1} (ЛП) [6], например, понижение $DR^{(m)}$ на один порядок можно представить как:

$$DR^{(m-1)} = FT^{-1}(DR^{(m)}). \quad (2.13)$$

Заданная функция реализуется посредством следующих аналитических преобразований:

для $\tilde{T}_{DR_1}^{(m-1)}$ –

$$\begin{aligned} a_1^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_1^{(m)} + a_2^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \\ c_1^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_1^{(m)} + c_2^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \\ b_1^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_1^{(m)} + b_2^{(m)} - B^{(m-1)}) / 2; \end{aligned} \quad (2.14)$$

...

для $\tilde{T}_{DR_j}^{(m-1)}$ –

$$\begin{aligned} a_j^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(a_j^{(m)} + a_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \\ c_j^{(m-1)} &= k_1^{(m-1)}(c_j^{(m)} + c_{j+1}^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \\ b_j^{(m-1)} &= k_2^{(m-1)}(b_j^{(m)} + b_{j+1}^{(m)} - B^{(m-1)}) / 2; \end{aligned} \quad (2.15)$$

...

для $\tilde{T}_{DR_{m-1}}^{(m-1)}$ –

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

$$c_{m-1}^{(m-1)} = k_1^{(m-1)} (c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)} - A^{(m-1)}) / 2; \quad (2.16)$$

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

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); $k_2^{(m-1)} = 2b_{dr} / (b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)} - B^{(m-1)})$; $B^{(m-1)} = b_1^{(m)} + b_2^{(m)}$ ($b_{dr} = dr_{\max}$; b – абсцисса вершины треугольника, а $j = \overline{1, m}$, m – количество термов). С учетом п. 2.1 для треугольных НЧ введем условия определения различных типов распределения НЧ по оси dr , а именно:

– равномерный тип распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности

$$\Omega_p = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j = b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (2.17)$$

где Ω_p – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_p = 1$ – условие истинно, в противном случае $\Omega_p = 0$ – ложно (см. рис. 2.5, a - $в$ и табл. 2.4-2.6)), а выражение со знаком « \Rightarrow » используется для выполнения проверки на равенство или приближительное равенство двух разностей и 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 [2, 6];

– неравномерный тип распределения по оси dr НЧ, т.е. для которых будет истинным условие

$$\Omega_n = \bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j \neq b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (2.18)$$

где Ω_n – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_n = 1$ – условие истинно, иначе $\Omega_n = 0$ – ложно (см. табл. 2.4-2.6 и рис. 2.6, a - $в$)). Неравномерное распределение НЧ характерно для эталонных значений ЛП в которых хотя бы один терм отражает не одинаковое предпочтение эксперта относительно любого другого терма на оси dr относительно конкретного оценочного параметра;

– возрастающий тип распределения по оси dr , т.е. для которого истинным является условие

$$\Omega_{\epsilon} = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j < b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (2.19)$$

где Ω_{ϵ} – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_{\epsilon} = 1$ – условие истинно, в противном случае $\Omega_{\epsilon} = 0$ – ложно);

– убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие

$$\Omega_y = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j > b_{j+2} - b_{j+1}), \quad (2.20)$$

где Ω_y – бинарная функция, принимающая значения 0 или 1 (при $\Omega_y = 1$ – условие истинно, иначе $\Omega_y = 0$ – ложно). Рассмотрим свойства предложенного метода на конкретных примерах.

Пример 1 – равномерный тип распределения. Продемонстрируем работу метода, реализующего функцию (2.13), посредством аналитических выражений (2.14)-(2.16) при условии (2.17). Определим вышеуказанную ЛП (2.12) при $m=5$ со следующими значениями равномерно распределенных НЧ:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 22,22)_{LR}; \quad \underline{T}_{DR_2} = (11,11; 25; 44,44)_{LR} \text{ и т.д.}$$

(все числовые данные для различных типов распределения треугольных исходных НЧ приведены в табл. 2.4). Проверим условие равномерности (3.17):

$$\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 = b_4 - b_3) \wedge (b_4 - b_3 = b_5 - b_4) = (25 - 0 = 50 - 25) \wedge (50 - 25 = 75 - 50) \wedge (75 - 50 = 100 - 75) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим его значение истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(5)}$ соответствует равномерному распределению.

Далее выполним, в соответствие с выражениями (2.14)-(2.16), преобразование (2.13) т.е. $DR^{(4)} = FT^{-1}(DR^{(5)})$. В результате трансформирования термов ЛП, получим, например, для $DR^{(4)}$ следующие значения:

$$\begin{aligned} \underline{T}_{DR}^{(4)} = \bigcup_{j=1}^4 \underline{T}_{DR_j} = \{ & \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),} \\ & \text{«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),} \\ & \text{«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ),} \\ & \text{«Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)} \}, \end{aligned} \quad (2.21)$$

числовые эквиваленты, которых интерпретируются как:

$$\text{для } \underline{T}_{DR_1} - A^{(4)} = a_1^{(5)} + a_2^{(5)} = 0 + 11,11 = 11,11;$$

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

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

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

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

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

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

$$\text{для } \underline{T}_{DR_2} - a_2^{(4)} = k_1^{(4)} (a_2^{(5)} + a_3^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,13 (11,11 + 33,33 -$$

$$11,11) / 2 = 18,75; c_2^{(4)} = k_1^{(4)} (c_2^{(5)} + c_3^{(5)} - A^{(4)}) / 2 = 1,13 (44,44 + 66,66$$

$$- 11,11) / 2 = 56,25; b_2^{(4)} = k_2^{(4)} (b_2^{(5)} + b_3^{(5)} - B^{(4)}) / 2 = 1,33 (25 + 75 - 25)$$

= 33,33, а для \underline{T}_{DR_3} и \underline{T}_{DR_4} числовые эквиваленты приведены в

табл. 2.5.

Таблица 2.4. Пример эталонных треугольных НЧ при $m = 5$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{T}_{DR_3}	\underline{T}_{DR_4}	\underline{T}_{DR_5}
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	$(0; 0; 30)_{LR}$	$(30; 40; 55)_{LR}$	$(55; 70; 75)_{LR}$	$(75; 90; 90)_{LR}$	$(90; 100; 100)_{LR}$

Таким образом, для всех $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ получим значения $\underline{T}_{DR_1} = \langle \text{НР} \rangle =$

$$(a_1, b_1, c_1)_{LR} = (0; 0; 31,25)_{LR}; \dots; \underline{T}_{DR_4} = \langle \text{ПР} \rangle = (a_4, b_4, c_4)_{LR} = (68,75;$$

$100; 100)_{LR}$ (см. табл. 2.5), соответствующая графическая интерпретация которых представлена на рис. 2.5, б.

Теперь вычислим условие равномерности (2.17) для $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_p = (33,33 - 0 = 66,66 - 33,33) \wedge (66,66 - 33,33 = 99,99 - 66,66) = 1.$$

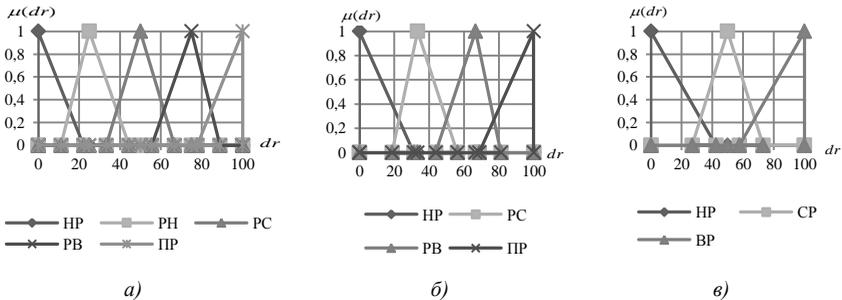


Рис. 2.5. Термы эталонных значений равномерно распределенных треугольных НЧ для ЛП DR :

$$a) \underline{T}_{DR}^{(5)} ; б) \underline{T}_{DR}^{(4)} ; в) \underline{T}_{DR}^{(3)}.$$

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

Таблица 2.5. Пример эталонных треугольных НЧ 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}
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	$(0; 0; 34,38)_{LR}$	$(34,38; 46,67; 62,5)_{LR}$	$(62,5; 80; 84,38)_{LR}$	$(84,38; 100; 100)_{LR}$

Далее аналогичным образом, по выражениям (2.14)-(2.16) осуществим преобразование (2.13) при $m=4$ т.е. $DR^{(3)} = FT^{-1}(DR^{(4)})$ с использованием исходных значений НЧ из табл. 2.5. В процессе трансформирования термов получаем следующие значения:

$$\underline{T}_{DR}^{(3)} = \bigcup_{j=1}^3 \underline{T}_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),} \\ \text{«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),}$$

«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ)}, (2.22)
числовые эквиваленты, которых занесены в табл. 2.6, а пример

вычислений \underline{T}_{DR_1} и \underline{T}_{DR_2} представим ниже.

Для \underline{T}_{DR_1} :

$$\begin{aligned} A^{(3)} &= a_1^{(4)} + a_2^{(4)} = 18,75; \\ k_1^{(3)} &= 2*100 / (c_3^{(4)} + c_4^{(4)} - A^{(3)}) = 1,23; \\ a_1^{(3)} &= k_1^{(3)} (a_1^{(4)} + a_2^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 0; \\ c_1^{(3)} &= k_1^{(3)} (c_1^{(4)} + c_2^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 42,31; \\ B^{(3)} &= b_1^{(4)} + b_2^{(4)} = 33,33; \\ k_2^{(3)} &= 2b_{dr} / (b_3^{(4)} + b_4^{(4)} - B^{(3)}) = 1,5; \\ b_1^{(3)} &= k_2^{(3)} (b_1^{(4)} + b_2^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 0. \end{aligned}$$

Для \underline{T}_{DR_2} :

$$\begin{aligned} a_2^{(3)} &= k_1^{(3)} (a_2^{(4)} + a_3^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 26,92; \\ c_2^{(3)} &= k_1^{(3)} (c_2^{(4)} + c_3^{(4)} - A^{(3)}) / 2 = 73,08; \\ b_2^{(3)} &= k_2^{(3)} (b_2^{(4)} + b_3^{(4)} - B^{(3)}) / 2 = 50. \end{aligned}$$

Таблица 2.6. Пример эталонных треугольных НЧ при $m = 3$

Тип распределения НЧ ЛПDR	НЧ $\underline{T}_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,3})$		
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{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	$(0; 0; 41,67)_{LR}$	$(41,67; 60; 75)_{LR}$	$(75; 100; 100)_{LR}$

Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 2.5, в, а условие равномерности (2.17) 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 Ω_p является истинным, что говорит об адекватности эквивалентных преобразований ЛП реализуемых предложенным методом (см. рис. 2.5, а-в).

Пример 2 – неравномерный тип распределения. В качестве примера рассмотрим работу метода, реализующего функцию (2.13) с помощью аналитических выражений (2.14)-(2.16) при условии (2.18). Для определения ЛП (2.12) при значении $m=5$ воспользуемся неравномерно распределенными исходными НЧ из табл. 2.4. Проверим условие неравномерности (2.18):

$$\begin{aligned} \Omega_n &= (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) \vee (b_3 - b_2 \neq b_4 - b_3) \vee (b_4 - b_3 \neq b_5 - b_4) = \\ &= (27 - 0 \neq 50 - 27) \vee (52 - 27 \neq 74 - 52) \vee (74 - 52 \neq 100 - 74) = \\ &= 1 \vee 1 \vee 1 = 1. \end{aligned}$$

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

Далее выполним, в соответствие с выражениями (2.14)-(2.16), преобразование (2.13) при $m=4$ с исходными значениями из табл. 2.4 для неравномерно распределенных НЧ. В результате преобразования для $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ (см. (2.21)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

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

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

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

для \underline{T}_{DR_3} и \underline{T}_{DR_4} числовые эквиваленты приведены в табл. 2.5, соответствующая графическая интерпретация которых представлена на рис. 2.6, б.

После проведенных преобразований по выражению (2.18) вычислим Ω_n для $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_n = (35,37 - 0 \neq 67,35 - 35,37) \vee (67,35 - 35,37 \neq 100 - 67,35) = 1.$$

Условие неравномерности, также, как и при $m=5$, является истинно, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

По аналогии согласно (2.13) осуществим преобразование неравномерно распределенных НЧ для $\underline{T}_{DR}^{(3)}$ ($m=3$) (см. (2.22)) с исходными данными из табл. 2.5. В результате получим значения термов, числовые эквиваленты которые занесем в табл. 2.6.

Пример вычислений \underline{T}_{DR_1} и \underline{T}_{DR_2} представим ниже:

$$\underline{T}_{DR_1} - A^{(3)} = 28,35; k_1^{(3)} = 1,27; a_1^{(3)} = 0; c_1^{(3)} = 39,46;$$

$$B^{(3)} = 51,03; k_2^{(3)} = 1,52; b_1^{(3)} = 0;$$

$$\underline{T}_{DR_2} - a_2^{(3)} = 28,35; c_2^{(3)} = 69,35; b_2^{(3)} = 51,03.$$

Графический вид эталонных НЧ представлен на рис. 2.6, а, а условие неравномерности (2.18) при $m=3$ истинно, т.е. $\Omega_n = 1$.

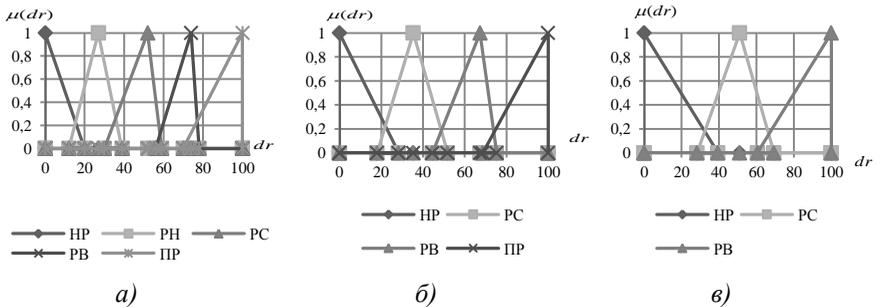


Рис. 2.6. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $\underline{T}_{DR}^{(5)}$; б) $\underline{T}_{DR}^{(4)}$; в) $\underline{T}_{DR}^{(3)}$

При трансформировании ЛП $DR^{(m)}$ с неравномерно распределенными эталонными НЧ, на всех этапах, прослеживается выполнение условия (2.18), что подтверждает адекватность эквивалентных преобразований ЛП, реализуемых предложенным методом (см. рис. 2.6, а-в).

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Для ЛП $DR^{(m)}$ (2.12) продемонстрируем работу метода, реализующего функцию (2.13) с помощью аналитических выражений (2.14)-(2.16) при условии (2.19) и $m=5$. С этой целью воспользуемся возрастающим типом распределения НЧ из табл. 2.4, что подтверждается вычислениями для проверки условия (2.19):

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

Как видно условие (2.19) истинно, что подтверждает соответствие НЧ ЛП возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером, для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с выражениями (2.14)-(2.16), преобразования (2.13) при $m=4$ и $m=3$. Для этого воспользуемся исходными значениями НЧ с возрастающим типом распределения из табл. 2.4. В результате чего для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ и $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$ (см. (2.21) и (2.22)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2.5, 2.6 (см. рис. 2.7, *a-в*) и интерпретируются для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ как:

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

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

$$\tilde{T}_{DR_2} - a_2^{(4)} = 12,12; c_2^{(4)} = 39,39; b_2^{(4)} = 20,$$

а для $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$ как:

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

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

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

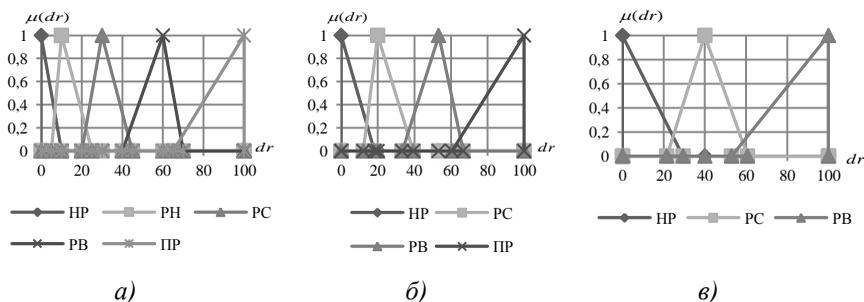


Рис. 2.7. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП DR : а) $\mathcal{L}_{DR}^{(5)}$; б) $\mathcal{L}_{DR}^{(4)}$; в) $\mathcal{L}_{DR}^{(3)}$

Далее проверим условие возрастания (2.19) для $\mathcal{L}_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_g = (20 - 0 > 53,33 - 20) \wedge (53,33 - 20 > 100 - 53,33) = 1$$

и для $\mathcal{L}_{DR}^{(3)}$ ($m=3$) – $\Omega_g = 1$. Как видим, значения Ω_g является истин-

ным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Рассмотрим пример работы метода, реализующего функцию (2.13) посредством аналитических выражений (2.14)-(2.16) при условии (2.20). Для определения ЛП (2.12) при $m=5$ воспользуемся конкретными НЧ из табл. 2.4 с убывающим типом распределения. Произведем для них проверку условия (2.20):

$$\begin{aligned} \Omega_y &= (b_2 - b_1 > b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 > b_4 - b_3) \wedge (b_4 - b_3 > b_5 - b_4) = \\ &= (40 - 0 > 70 - 40) \wedge (70 - 40 > 90 - 70) \wedge (90 - 70 > 100 - 90) = \\ &= 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видим условие (2.20) истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(5)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем, в соответствии с выражениями (2.14)-(2.16), преобразование (2.13) при $m=4$ и $m=3$ с исходными значениями для НЧ с убывающим типом распределения из табл. 2.4, 2.5 (см. рис. 2.8, а-в). В процессе трансформирования термов получим значения для $\mathcal{L}_{DR}^{(4)}$ и $\mathcal{L}_{DR}^{(3)}$ (см. (2.21) и (2.22)), числовые эквиваленты которых

представлены в табл. 2.5 и 2.6 соответственно и интерпретируются для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ как:

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

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

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

а для $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$ как: $-A^{(3)} = 41,67; k_1^{(3)} \tilde{T}_{DR_1} = 1,33; a_1^{(3)} = 0; c_1^{(3)} = 41,67;$

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

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

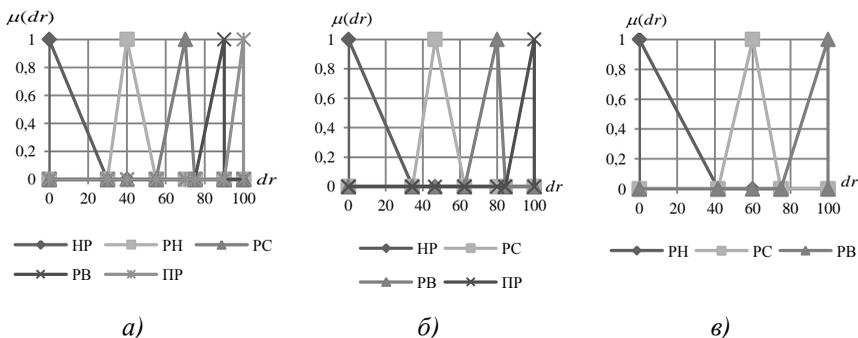


Рис. 2.8. Термы эталонных значений с убывающим распределением НЧ для ЛП DR : а) $\tilde{T}_{DR}^{(5)}$; б) $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$; в) $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$

Проверим условие убывания (2.20) для $\tilde{T}_{DR}^{(4)}$ ($m=4$):

$$\Omega_y = (46,67 - 0 > 80 - 46,67) \wedge (80 - 46,67 > 100 - 80) = 1$$

и для $\tilde{T}_{DR}^{(3)}$ ($m=3$) – $\Omega_y = 1$. Как видно значения Ω_y является истин-

ным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований. Представленный метод позволяет осуществлять эквивалент-

ное преобразование ЛП посредством создания эталонов параметров с возможностью варьирования числом термов треугольных НЧ [5]. Такое решение позволит повысить гибкость разрабатываемых средств АОР ИБ, которые основываются на логико-лингвистическом подходе и используют для описания ЛП треугольные НЧ.

2.3. Метод n-кратного декрементирования числа термов лингвистических переменных на трапецевидных нечетких числах

На сегодняшний день известны методы, которые позволяют реализовывать анализ, оценивание и управления рисками ИБ при нечетких условиях в слабоформализованной среде окружения [3]. Для реализации такого процесса используют систему [2] в которой оценивание осуществляется на основе ЛП, базирующихся на эталонных параметрических трапецевидных 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 оперативном варьировании количеством термов, например, для их приведения к одному порядку. В п. 2.1 был разработан метод, который позволяет уменьшить порядок ЛП только на единицу, что создает определенные сложности в эффективном использовании существующих систем. В связи с этим, повышение эффективности работы системы АОР [2] может быть решено посредством метода, который позволяет эквивалентно переопределять порядок (число термов) ЛП на число – n . Разработаем метод n -кратного понижения числа термов ЛП, который состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы.

Этап 1 – Формирование базы. Используем метод переопределения числа термов ЛП на основе функции ее трансформирования на минус один порядок п. 2.1, которая обозначается как $FT^{-1}(ЛП)$, а в качестве ЛП воспользуемся DR – «СТЕПЕНЬ РИСКА» [3].

Для вывода базовой формулы воспользуемся последовательностью из n - членов понижения $DR^{(m)}$ [6] (m – количество термножеств) на один порядок, т.е.:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m-1)} = FT^{-1}(DR^{(m)}); \\ DR^{(m-2)} = FT^{-1}(DR^{(m-1)}); \\ DR^{(m-3)} = FT^{-1}(DR^{(m-2)}); \\ \dots \\ DR^{(m-n)} = FT^{-1}(DR^{(m-n+1)}). \end{array} \right. \quad (2.23)$$

Выполняя соответствующие подстановки в формуле (2.23), получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m-2)} = FT^{-1}(FT^{-1}(DR^{(m)})); \\ DR^{(m-3)} = FT^{-1}(FT^{-1}(FT^{-1}(DR^{(m)}))); \\ \dots \\ DR^{(m-n)} = \underbrace{FT^{-1}(\dots FT^{-1}(FT^{-1}(FT^{-1}(DR^{(m)}))))}_{n} \dots \end{array} \right. \quad (2.24)$$

Обозначим через FT^{-n} n -кратную последовательность реализации функции трансформирования ЛП FT^{-1} , тогда выражение (2.24) представим в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m-2)} = FT^{-2}(DR^{(m)}); \\ DR^{(m-3)} = FT^{-3}(DR^{(m)}); \\ \dots \\ DR^{(m-n)} = FT^{-n}(DR^{(m)}). \end{array} \right. \quad (2.25)$$

Таким образом, последнее выражение в формуле (2.25) представляемое как:

$$DR^{(m-n)} = FT^{-n}(DR^{(m)}), \quad (2.26)$$

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 [3], то выражение (2.23) можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l}
DR^{(m-1)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-2}}, \mathcal{T}_{DR_{m-1}}) = FT^{-1}(DR^{(m)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-1}}, \mathcal{T}_{DR_m}); \\
DR^{(m-2)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-3}}, \mathcal{T}_{DR_{m-2}}) = FT^{-1}(DR^{(m-1)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-2}}, \mathcal{T}_{DR_{m-1}})); \\
DR^{(m-3)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-4}}, \mathcal{T}_{DR_{m-3}}) = FT^{-1}(DR^{(m-2)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-3}}, \mathcal{T}_{DR_{m-2}})); \\
\dots \\
DR^{(m-n)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-n+1}}, \mathcal{T}_{DR_{m-n}}) = FT^{-1}(DR^{(m-n+1)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-n+2}}, \mathcal{T}_{DR_{m-n+1}})),
\end{array} \right. \quad (2.27)$$

и выполнив соответствующие подстановки в (2.27) получим:

$$\left\{ \begin{array}{l}
DR^{(m-2)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-3}}, \mathcal{T}_{DR_{m-2}}) = FT^{-2}(DR^{(m)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-1}}, \mathcal{T}_{DR_m}); \\
DR^{(m-3)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-4}}, \mathcal{T}_{DR_{m-3}}) = FT^{-3}(DR^{(m)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-1}}, \mathcal{T}_{DR_m}); \\
\dots \\
DR^{(m-n)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-n+1}}, \mathcal{T}_{DR_{m-n}}) = FT^{-n}(DR^{(m)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-1}}, \mathcal{T}_{DR_m}).
\end{array} \right. \quad (2.28)$$

Таким образом аналитическое выражение в (2.28)

$$\begin{aligned}
DR^{(m-n)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-n+1}}, \mathcal{T}_{DR_{m-n}}) = \\
FT^{-n}(DR^{(m)}(\mathcal{T}_{DR_1}, \mathcal{T}_{DR_2}, \dots, \mathcal{T}_{DR_{m-1}}, \mathcal{T}_{DR_m})),
\end{aligned} \quad (2.29)$$

определим, как расширение базовой формулы (2.26).

Этап 3 – Частное расширение базы. Так как, ЛП $DR^{(m)}$ представляется НЧ с различными ФП $\mu(dr)$ [4], а для целей компактного описания такие ФП удобно описывать трапециевидными НЧ вида $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, где a_j и c_j – абсциссы нижнего основания, а b_{1j} и b_{2j} – абсциссы верхнего основания трапеции [4] (при $j = \overline{1, m}$), то выражение (2.29) представим в виде:

$$\begin{aligned}
DR^{(m-n)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, \\
(a_{m-n+1}, b_{1m-n+1}, b_{2m-n+1}, c_{m-n+1}), (a_{m-n}, b_{1m-n}, b_{2m-n}, c_{m-n})) = \\
FT^{-n}(DR^{(m)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, \\
(a_{m-1}, b_{1m-1}, b_{2m-1}, c_{m-1}), (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m)))
\end{aligned} \quad (2.30)$$

и назовем его первым частным расширением базы.

Рассмотрим работу метода на конкретном примере, при этом положим в основу первое частное расширение базы. В качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные трапециевидные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=5$ (см. табл. 2.1 в п. 2.1). Так как реализация функции $FT^{-1}(DR^{(m)})$ рассматривалась в п. 2.1, то осуществим соответствующие преобразования при $n = \overline{2,3}$.

Пусть $n=2$, тогда выражение (2.29) принимает вид:

$$DR^{(3)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}) = FT^{-2}(DR^{(5)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5})),$$

а формулу (2.30) соответственно представим в виде:

$$FT^{-2}(DR^{(3)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3))) = FT^{-2}(DR^{(5)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4), (a_5, b_{15}, b_{25}, c_5))). \quad (2.31)$$

Для дальнейших преобразований на основе заданной функции воспользуемся аналитическими выражениями, приведенными в п. 2.1 (см. (2.3-2.5)). С учетом того, что $n = 2$ выполним следующие преобразования:

для $\underline{T}_{DR_1}^{(m-2)}$ –

$$\begin{aligned} a_1^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(a_1^{(m-1)} + a_2^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2, \\ c_1^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(c_1^{(m-1)} + c_2^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2, \\ b_{11}^{(m-2)} &= k_2^{(m-2)}(b_{11}^{(m-1)} + b_{12}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2, \\ b_{21}^{(m-2)} &= k_2^{(m-2)}(b_{21}^{(m-1)} + b_{22}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2; \end{aligned}$$

...

для $\underline{T}_{DR_j}^{(m-2)}$ –

$$\begin{aligned} a_j^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(a_j^{(m-1)} + a_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2, \\ c_j^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(c_j^{(m-1)} + c_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2, \\ b_{1j}^{(m-2)} &= k_2^{(m-2)}(b_{1j}^{(m-1)} + b_{1j+1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2, \\ b_{2j}^{(m-2)} &= k_2^{(m-2)}(b_{2j}^{(m-1)} + b_{2j+1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2; \end{aligned} \quad (2.32)$$

...
 для $\underline{T}_{DR_{m-2}}^{(m-2)}$ –

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

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

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

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

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 (2.32) значений $a_1^{(m-1)}$, $b_{11}^{(m-1)}$, $b_{21}^{(m-1)}$, $c_1^{(m-1)}$ и т.д., используемых в работе п. 2.1 (см. (2.3-2.5)). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

для $\underline{T}_{DR_1}^{(m-2)}$ –

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

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

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

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

...
 для $\underline{T}_{DR_j}^{(m-2)}$ –

$$\begin{aligned}
a_j^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_j^{(m)} + 2a_{j+1}^{(m)} + a_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
c_j^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_j^{(m)} + 2c_{j+1}^{(m)} + c_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_{1j}^{(m-2)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{1j}^{(m)} + 2b_{1j+1}^{(m)} + b_{1j+2}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \\
b_{2j}^{(m-2)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2j}^{(m)} + 2b_{2j+1}^{(m)} + b_{2j+2}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 2b_{12}^{(m)} - b_{13}^{(m)} + b_{2m-2}^{(m)} + 2b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr};
\end{aligned} \tag{2.33}$$

...

$\underline{T}_{DR_{m-2}}^{(m-2)}$ –

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

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

Пример 1 – равномерный тип распределения. Например, пусть для данной ЛП при $m=5$ НЧ принимают следующие значения:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 11,11; 22,22)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_2} = (11,11; 22,22; 33,33; 44,44)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_3} = (33,33; 44,44; 55,55; 66,66)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_4} = (55,55; 66,66; 77,77; 88,88)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_5} = (77,77; 88,88; 99,99; 100)_{LR}.$$

С учетом этого и (2.33) выполним соответствующие преобразования согласно 2.31).

В результате понижения количества термов ЛП на 2 порядка, получим, например, для $DR^{(3)}$ следующие значения:

$$\underline{T}_{DR}^{(3)} = \bigcup_{j=1}^3 \underline{T}_{DR_j} = \{ \text{«Незначительный риск нарушения ИБ» (НР),}$$

«Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),

«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ) \},

числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

для \underline{T}_{DR_1} –

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

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

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

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

для \underline{T}_{DR_2} –

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

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

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

$$b_{22}^{(3)} = \frac{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{22}^{(5)} + 2b_{23}^{(5)} + b_{24}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 2b_{12}^{(5)} - b_{13}^{(5)} + b_{23}^{(5)} + 2b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = ((-0 - 44,44 - 44,44 + 33,33 + 111,1 + 77,77) / (-0 - 44,44 - 44,44 + 55,55 + 155,54 + 99,99)) * 100 = 60,$$

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

Если провести сравнение этих результатов и приведенных в п. 2.1, (см. табл. 2.3), то можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

Графическая интерпретация полученных эталонов равномерно распределенных НЧ приведена на рис. 2.9.

Аналогичным образом реализуем понижение порядка на 3, т.е. $n=3$, тогда (2.29) представим в виде:

$$DR^{(2)}(\tilde{T}_{DR_1}, \tilde{T}_{DR_2}) = FT^{-3}(DR^{(5)}(\tilde{T}_{DR_1}, \tilde{T}_{DR_2}, \tilde{T}_{DR_3}, \tilde{T}_{DR_4}, \tilde{T}_{DR_5})),$$

а (2.30), как:

$$\begin{aligned} & DR^{(2)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2)) = \\ & FT^{-3}(DR^{(5)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \\ & (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4), (a_5, b_{15}, b_{25}, c_5))). \end{aligned} \quad (2.34)$$

Аналогично, для реализации заданной функции воспользуемся аналитическими выражениями из п. 2.1 (см. (2.3-2.5)).

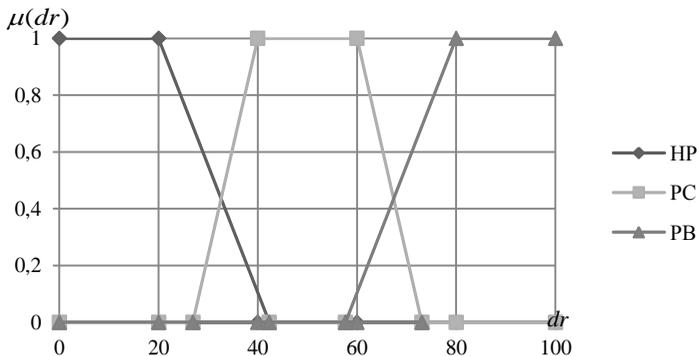


Рис. 2.9. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $\tilde{\mathcal{L}}_{DR}^{(3)}$

С учетом осуществления преобразований при $n = 3$ эти выражения можно представить в следующем виде:

для $\tilde{\mathcal{L}}_{DR_1}^{(m-3)}$ –

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

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

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

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

...

для $\tilde{\mathcal{L}}_{DR_j}^{(m-3)}$ –

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

$$c_j^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (c_j^{(m-2)} + c_{j+1}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2, \quad (2.35)$$

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

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

...

для $\tilde{\mathcal{L}}_{DR_{m-3}}^{(m-3)}$ –

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

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

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

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

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_{lj} и b_{2j} – абсциссы верхнего основания трапеции, а $j = \overline{1, m}$, m – количество термов).

Для осуществления перехода от m термов к $m-3$ выполним соответствующую подстановку в (2.35) значений $a_1^{(m-2)}, b_{11}^{(m-2)}, b_{21}^{(m-2)}, c_1^{(m-2)}$ и т.д. (см. (2.33)). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

для $\underline{T}_{DR_1}^{(m-3)}$ –

$$\begin{aligned} a_1^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_1^{(m)} + 3a_2^{(m)} + 3a_3^{(m)} + a_4^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\ c_1^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_1^{(m)} + 3c_2^{(m)} + 3c_3^{(m)} + c_4^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\ b_{11}^{(m-3)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{11}^{(m)} + 3b_{12}^{(m)} + 3b_{13}^{(m)} + b_{14}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \\ b_{21}^{(m-3)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{21}^{(m)} + 3b_{22}^{(m)} + 3b_{23}^{(m)} + b_{24}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}; \\ &\dots \end{aligned} \tag{2.36}$$

$\underline{T}_{DR_j}^{(m-3)}$ –

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

$$\begin{aligned}
c_j^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_j^{(m)} + 3c_{j+1}^{(m)} + 3c_{j+2}^{(m)} + c_{j+3}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_{1j}^{(m-3)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{1j}^{(m)} + 3b_{1j+1}^{(m)} + 3b_{1j+2}^{(m)} + b_{1j+3}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \\
b_{2j}^{(m-3)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2j}^{(m)} + 3b_{2j+1}^{(m)} + 3b_{2j+2}^{(m)} + b_{2j+3}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}; \\
&\dots \\
\mathcal{T}_{DR_{m-3}}^{(m-3)} &-
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{m-3}^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + a_{m-3}^{(m)} + 3a_{m-2}^{(m)} + 3a_{m-1}^{(m)} + a_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
c_{m-3}^{(m-3)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 3a_2^{(m)} - 3a_3^{(m)} - a_4^{(m)} + c_{m-3}^{(m)} + 3c_{m-2}^{(m)} + 3c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\
b_{1m-3}^{(m-3)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{1m-3}^{(m)} + 3b_{1m-2}^{(m)} + 3b_{1m-1}^{(m)} + b_{1m}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}, \\
b_{2m-3}^{(m-3)} &= \frac{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}}{-b_{11}^{(m)} - 3b_{12}^{(m)} - 3b_{13}^{(m)} - b_{14}^{(m)} + b_{2m-3}^{(m)} + 3b_{2m-2}^{(m)} + 3b_{2m-1}^{(m)} + b_{2m}^{(m)}} b_{dr}.
\end{aligned}$$

($c_{dr} = dr_{\max}$; $j = \overline{1, m}$, m – количество термов; a_j, c_j – абсциссы нижнего основания; $b_{dr} = dr_{\max}$; b_{1j} и b_{2j} – абсциссы верхнего основания трапеции). Воспользуемся исходными данными из предыдущего примера и выполним, в соответствии с (2.34), преобразование (2.36). В результате понижения количества термов ЛП на 3 порядка, получим, например, для $DR^{(2)}$ следующие значения:

$$\mathcal{T}_{DR}^{(2)} = \bigcup_{j=1}^2 \mathcal{T}_{DR_j} = \{ \text{«Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН),}$$

«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ) \},

числовые эквиваленты, которых интерпретируются как:

для \mathcal{T}_{DR_1} –

$$a_1^{(2)} = \frac{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + a_1^{(5)} + 3a_2^{(5)} + 3a_3^{(5)} + a_4^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + c_2^{(5)} + 3c_3^{(5)} + 3c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} =$$

$$\begin{aligned}
& ((-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 0 + 33,33 + 99,99 + 55,55) / \\
& (-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 44,44 + 199,98 + 266,64 + 100)) * 100 = 0; \\
c_1^{(2)} &= \frac{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + c_1^{(5)} + 3c_2^{(5)} + 3c_3^{(5)} + c_4^{(5)}}{-a_1^{(5)} - 3a_2^{(5)} - 3a_3^{(5)} - a_4^{(5)} + c_2^{(5)} + 3c_3^{(5)} + 3c_4^{(5)} + c_5^{(5)}} c_{dr} = \\
& ((-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 22,22 + 133,32 + 199,98 + 88,88) / \\
& (-0 - 33,33 - 99,99 - 55,55 + 44,44 + 199,98 + 266,64 + \\
& 100)) * 100 = 60,52; \\
b_{11}^{(2)} &= \frac{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{11}^{(5)} + 3b_{12}^{(5)} + 3b_{13}^{(5)} + b_{14}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{22}^{(5)} + 3b_{23}^{(5)} + 3b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = \\
& ((-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 0 + 66,66 + 133,32 + 66,66) / \\
& (-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 33,33 + 166,65 + 233,31 + 100)) * 100 = 0; \\
b_{21}^{(2)} &= \frac{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{21}^{(5)} + 3b_{22}^{(5)} + 3b_{23}^{(5)} + b_{24}^{(5)}}{-b_{11}^{(5)} - 3b_{12}^{(5)} - 3b_{13}^{(5)} - b_{14}^{(5)} + b_{22}^{(5)} + 3b_{23}^{(5)} + 3b_{24}^{(5)} + b_{25}^{(5)}} b_{dr} = \\
& ((-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 11,11 + 99,99 + 166,65 + 88,88) / \\
& (-0 - 66,66 - 133,32 - 66,66 + 33,33 + 166,65 + 233,31 + \\
& 100)) * 100 = 33,33, \text{ а для } \underline{T}_{DR_2} = (39,47; 66,67; 100; 100)_{LR}.
\end{aligned}$$

Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 2.10.

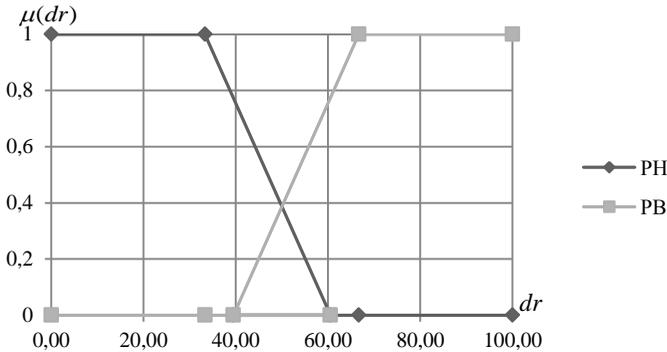


Рис. 2.10. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $\underline{T}_{DR}^{(2)}$

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ со следующими значениями:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 0; 20)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_2} = (30; 30; 50; 50)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_3} = (60; 60; 65; 65)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_4} = (75; 75; 85; 85)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_5} = (95; 97; 100; 100)_{LR} \text{ (см. табл. 2.1 в п. 2.1).}$$

Для этого в соответствие с (2.31) выполним преобразование (2.33). В результате для $DR^{(3)}$ получим значения термов, числовые эквиваленты которых интерпретируются как:

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

а для $\underline{T}_{DR_2} = (48,84; 48,84; 67,44; 67,44)_{LR}$, $\underline{T}_{DR_3} = (86,05; 86,98; 100; 100)_{LR}$. Графическая интерпретация полученных эталонов неравномерно распределенных НЧ приведена на рис. 2.11.

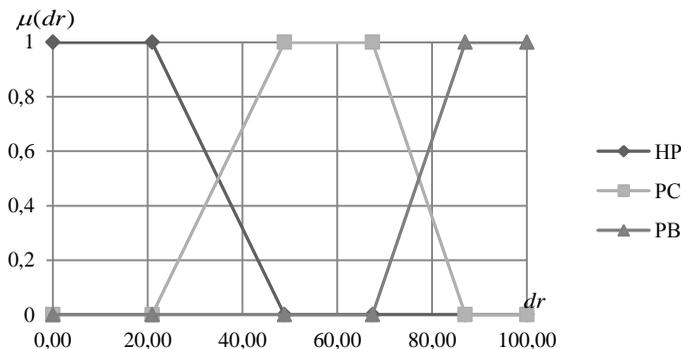


Рис. 2.11. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $\underline{T}_{DR}^{(3)}$

При сравнении полученных результатов и приведенных в п. 2.1 (см. табл. 2.3) видно их полное совпадение. Исходя из этого следует, что реализованные преобразования по понижению порядка являются корректными.

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для НЧ, которые имеют возрастающий тип распределения по оси dr со следующими значениями:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 3; 8)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_2} = (3; 8; 15; 24)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_3} = (15; 24; 35; 48)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_4} = (35; 48; 63; 80)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_5} = (63; 80; 100; 100)_{LR} \text{ (см. табл. 2.1 в п. 2.1).}$$

Для этого выполним (в соответствии с выражением (2.31)) преобразование (2.33), в результате чего получим следующие значения НЧ с числовыми эквивалентами:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 12,67; 28,92)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_2} = (16,38; 28,96; 48,87; 62,37)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_3} = (44,25; 72,4; 100; 100)_{LR}.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов с возрастающим типом распределения НЧ приведена на рис. 2.12.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем преобразования НЧ, которые имеют убывающий тип распределения по оси dr со следующими значениями:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 20; 37)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_2} = (20; 37; 52; 65)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_3} = (52; 65; 76; 85)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_4} = (76; 85; 92; 97)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_5} = (92; 97; 100; 100)_{LR} \text{ (см. табл. 2.1 в п. 2.2).}$$

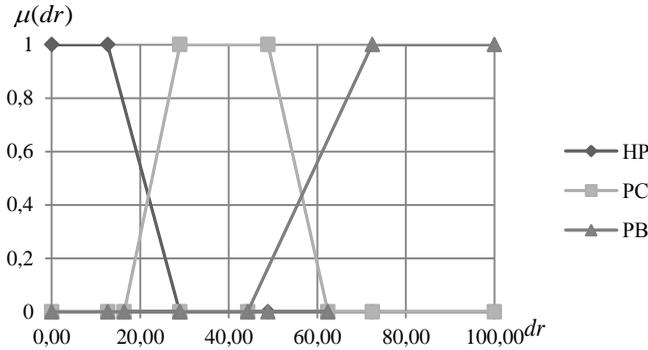


Рис. 2.12. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП DR при $\underline{T}_{DR}^{(3)}$

Для этого выполним преобразование (2.33) в соответствие с (2.31). В результате получим следующие значения НЧ с числовыми эквивалентами:

$$\underline{T}_{DR_1} = (0; 0; 27,6; 55,75)_{LR},$$

$$\underline{T}_{DR_2} = (37,63; 51,13; 71,04; 83,62)_{LR},$$

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

Графическая интерпретация полученных эталонов с убывающим типом распределения НЧ приведена на рис. 2.13.

Таким образом, с целью повышения эффективности работы систем АОР ИБ, предложен метод n -кратного понижения числа термов, который за счет модификации n -кратным расширением функции понижения термов на один порядок, позволяет формализовать процесс эквивалентного трансформирования числа эталонных термов ЛП на n порядков без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

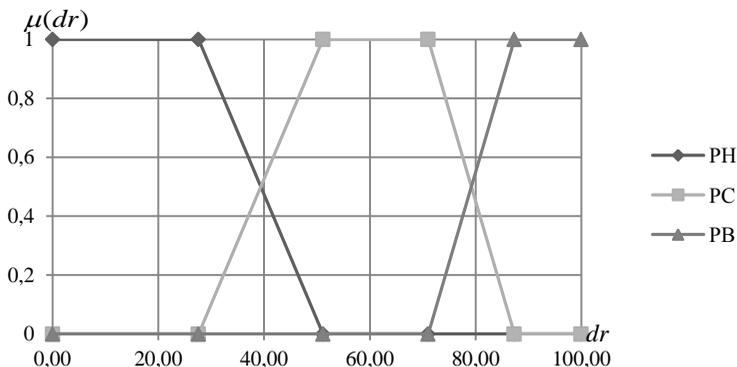


Рис. 2.13. Термы эталонных значений с убывающим распределением НЧ для ЛП DR при $T_{DR}^{(3)}$

Для совершенствования систем АОР следует рассмотреть возможности частного расширения базы, например, для треугольных НЧ.

2.4. Метод n-кратного декрементирования числа термов лингвистических переменных на треугольных нечетких числах

Известные методы АОР ИБ [3, 7, 8], которые основываются на суждениях экспертов, как правило, требуют привлечения методов и средств, позволяющих обрабатывать нечеткие исходные данные [4], например, представленные в лингвистической форме. На основе этих методов была разработана система [3], в которой оценивание реализовано на основе ЛП, базирующихся на эталонных параметрических трапециевидных НЧ с различным количеством определяющих термов [3].

В п. 2.3 был 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 [9]. Расширить возможности указанной системы [3] можно путем использования дополнительного типа параметрических НЧ – треугольных.

В связи с этим можно усовершенствовать работу системы АОР [8] посредством методов, позволяющих переопределять число термов (с различным типом НЧ) ЛП на n порядков.

Осуществим разработку метода n -кратного понижения числа термов ЛП, базирующихся на эталонных параметрических треугольных НЧ, для расширения функциональных возможностей систем АОР ИБ. Это будет способствовать дальнейшему развитию методов трансформирования термов (п. 2.1) и расширит их возможности путём использованию треугольных НЧ. Выполним преобразование с помощью метода, в основе которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять n -кратное понижение (эквивалентное преобразование) числа термов ЛП.

Метод состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы (см. п. 2.3). Два первых этапа являются основой для n -кратного понижения порядка с использованием любых типов НЧ. Для совершенствования систем АОР рассмотрим третий этап возможности расширения базы для треугольных НЧ.

И так, если в (2.30) из п. 2.3 приравняем $b_j = b_{1j} = b_{2j}$, $j = \overline{1, m}$ то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные и тогда для них выражение (2.30) можем представить в виде:

$$\begin{aligned} & DR^{(m-n)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, \\ & (a_{m-n+1}, b_{m-n+1}, c_{m-n+1}), (a_{m-n}, b_{m-n}, c_{m-n})) = \\ & FT^{-n}(DR^{(m)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, \\ & (a_{m-1}, b_{m-1}, c_{m-1}), (a_m, b_m, c_m))). \end{aligned} \quad (2.37)$$

По аналогии с п. 2.3 формулу (2.23) назовем вторым частным расширением базы. Рассмотрим работу метода на конкретном примере, при этом положим в основу формулу (2.37), 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 $m=5$ (см. табл. 2.4 в п. 2.2). Так как реализация функции $FT^{-1}(DR^{(m)})$ рассматривалась в п. 2.2, то осуществим соответствующие преобразования при $n = \overline{2, 3}$.

Пусть $n=2$, тогда (2.37) принимает вид:

$$\begin{aligned}
& DR^{(3)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3)) = \\
& FT^{-2}(DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \\
& (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5))). \tag{2.38}
\end{aligned}$$

Для дальнейших преобразований на основе заданной функции воспользуемся аналитическими выражениями (см. (2.14-2.16)) в п. 2.2. С учетом того, что $n = 2$ выполним следующие преобразования:

для $T_{\sim DR_1}^{(m-2)}$ –

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

...

для $T_{\sim DR_j}^{(m-2)}$ –

$$\begin{aligned}
a_j^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(a_j^{(m-1)} + a_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2, \\
b_j^{(m-2)} &= k_2^{(m-2)}(b_j^{(m-1)} + b_{j+1}^{(m-1)} - B^{(m-2)}) / 2, \\
c_j^{(m-2)} &= k_1^{(m-2)}(c_j^{(m-1)} + c_{j+1}^{(m-1)} - A^{(m-2)}) / 2;
\end{aligned} \tag{2.39}$$

...

для $T_{\sim DR_{m-2}}^{(m-2)}$ –

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

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

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

$k_2^{(m-2)} = 2b_{dr} / (b_{m-2}^{(m-1)} + b_{m-1}^{(m-1)} - B^{(m-2)})$; $B^{(m-2)} = b_1^{(m-1)} + b_2^{(m-1)} (b_{dr} = dr_{\max};$

$b_j - \text{абсцисса вершины треугольника, а } j = \overline{1, m}, m - \text{количество термов})$.

Для осуществления перехода от m термов к $m-2$ реализуем подстановку в выражение (2.39) значений $a_1^{(m-1)}$, $b_1^{(m-1)}$, $c_1^{(m-1)}$ и т.д. из п. 2.2 (см. (2.14-2.16)). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

для $T_{\sim DR_1}^{(m-2)}$ –

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

...

для $T_{\sim DR_j}^{(m-2)}$ –

$$\begin{aligned} a_j^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + a_j^{(m)} + 2a_{j+1}^{(m)} + a_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}, \\ b_j^{(m-2)} &= \frac{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_j^{(m)} + 2b_{j+1}^{(m)} + b_{j+2}^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 2b_2^{(m)} - b_3^{(m)} + b_{m-2}^{(m)} + 2b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr}, \\ c_j^{(m-2)} &= \frac{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_j^{(m)} + 2c_{j+1}^{(m)} + c_{j+2}^{(m)}}{-a_1^{(m)} - 2a_2^{(m)} - a_3^{(m)} + c_{m-2}^{(m)} + 2c_{m-1}^{(m)} + c_m^{(m)}} c_{dr}; \end{aligned} \quad (2.40)$$

...

для $T_{\sim DR_{m-2}}^{(m-2)}$ –

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

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

Пример 1 – равномерный тип распределения. Например, пусть для данной ЛП при $m=5$ НЧ принимают значения:

$$T_{\sim DR_1} = (0; 0; 22,22)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_2} = (11,11; 25; 44,44)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_3} = (33,33; 50; 66,66)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_4} = (55,55; 75; 88,88)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_5} = (77,77; 100; 100)_{LR}.$$

Учитывая эти исходные данные и (2.40) выполним согласно (2.38) соответствующие преобразования. В результате понижения количества термов ЛП на 2 порядка, получим, например, для $DR^{(3)}$ следующие значения:

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

числовые эквиваленты которых для $T_{\sim DR_1}$ интерпретируются как

$$a_1^{(3)} = 0, b_1^{(3)} = 0, c_1^{(3)} = 42,39, \text{ т.е. } T_{\sim DR_1} = (0; 0; 42,39)_{LR}, \text{ а } T_{\sim DR_2} =$$

$$(26,92; 50; 73,08)_{LR} \text{ и } T_{\sim DR_3} = (57,69; 100; 100)_{LR}.$$

Если провести сравнение полученных результатов и приведенных в п. 2.2. (см. табл. 2.6), то можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований понижении порядка. Графическая интерпретация полученных эталонов равномерно распределенных

треугольных НЧ приведена на рис. 2.14. Аналогичным образом реализуем понижение на 3 порядка. Для реализации заданной функции воспользуемся выражениями из п. 2.2 (см. (2.14-2.16)).

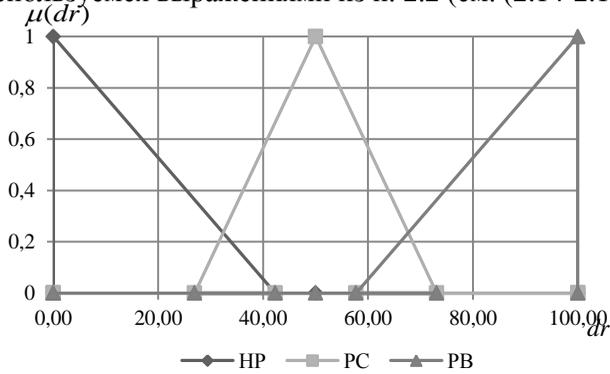


Рис. 2.14. Термы эталонных значений равномерно распределенных треугольных НЧ для ЛП DR при $\mathcal{T}_{DR}^{(3)}$

С учетом осуществления преобразования при $n = 3$ эти выражения можно представить в следующем виде:

для $\mathcal{T}_{DR_1}^{(m-3)}$ –

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

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

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

...

для $\mathcal{T}_{DR_j}^{(m-3)}$ –

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

$$b_j^{(m-3)} = k_2^{(m-3)} (b_j^{(m-2)} + b_{j+1}^{(m-2)} - B^{(m-3)}) / 2, \quad (2.41)$$

$$c_j^{(m-3)} = k_1^{(m-3)} (c_j^{(m-2)} + c_{j+1}^{(m-2)} - A^{(m-3)}) / 2;$$

...

для $\mathcal{T}_{DR_{m-3}}^{(m-3)}$ –

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

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

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

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 (2.41) значений $a_1^{(m-2)}, b_1^{(m-2)}, c_1^{(m-2)}$ и т.д. (см. (2.40)). После несложных математических преобразований получим следующие аналитические выражения:

для $\tilde{T}_{DR_1}^{(m-3)}$ –

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

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

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

...

для $\tilde{T}_{DR_j}^{(m-3)}$ –

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

$$b_j^{(m-3)} = \frac{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_j^{(m)} + 3b_{j+1}^{(m)} + 3b_{j+2}^{(m)} + b_{j+3}^{(m)}}{-b_1^{(m)} - 3b_2^{(m)} - 3b_3^{(m)} - b_4^{(m)} + b_{m-3}^{(m)} + 3b_{m-2}^{(m)} + 3b_{m-1}^{(m)} + b_m^{(m)}} b_{dr}, \quad (2.42)$$

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

...

для $\tilde{T}_{DR_{m-3}}^{(m-3)}$ –

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

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

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

($c_{dr} = dr_{\max}$; $j = 1, m$, 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 и выполним, в соответствие с (2.37), преобразование (2.42). В результате понижения количества термов ЛП на 3 порядка получим, например, для $DR^{(2)}$ следующие значения:

$$\tilde{T}_{DR}^{(2)} = \bigcup_{j=1}^2 \tilde{T}_{DR_j} = \{ \text{«Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН)},$$

«Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ) \},

а числовые эквиваленты которых для \tilde{T}_{DR_i} интерпретируются как

$$a_1^{(2)} = 0, b_1^{(2)} = 0, c_1^{(m-3)} = 60,53, \text{ т.е. } \tilde{T}_{DR_1} = (0; 0; 60,53)_{LR}, \text{ а } \tilde{T}_{DR_2} =$$

$(39,47; 100; 100)_{LR}$. Графическая интерпретация полученных эталонов НЧ приведена на рис. 2.15.

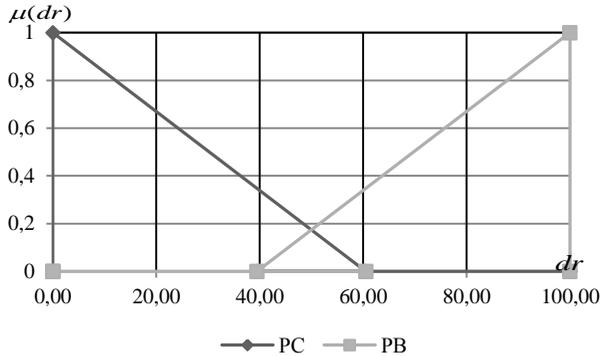


Рис. 2.15. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $T_{DR}^{(2)}$

При сравнении полученных результатов и приведенных в п. 2.2 (см. табл. 2.6), прослеживается их полное совпадение. Исходя из этого, можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr треугольных НЧ со следующими значениями:

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

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

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

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

$$T_{\sim DR_5} = (70; 100; 100)_{LR} \text{ (см. табл. 2.4 в п. 2.2).}$$

Для этого выполним, в соответствие с выражением (2.38), преобразование (2.40). В результате для $DR^{(3)}$ получим термы, числовые

эквиваленты которых для $T_{\sim DR_1}$ интерпретируются как $a_1^{(3)} = 0$,

$$b_1^{(3)} = 0, c_1^{(3)} = 39,46, \text{ т.е. } T_{\sim DR_1} = (0; 0; 39,46)_{LR}, \text{ а}$$

$$T_{\sim DR_2} = (28,35; 51,03; 69,35)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_3} = (60,54; 100; 100)_{LR}.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов неравномерно распределенных НЧ приведена на рис. 2.16.

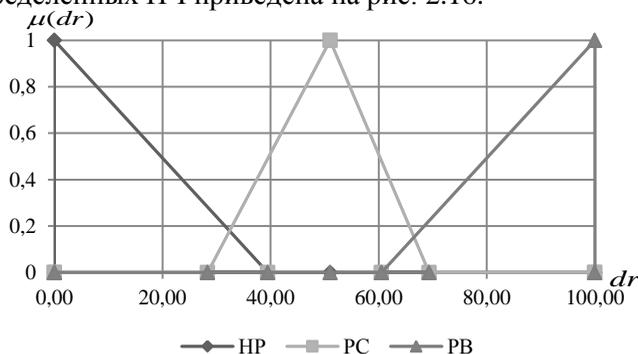


Рис. 2.16. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $T_{\sim DR}^{(3)}$

При сравнении полученных результатов и приведенных в п. 2.2 (см. табл. 2.6) видно их полное совпадение. Исходя из этого, можно сделать вывод о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для НЧ, которые имеют возрастающий тип распределения по оси dr со следующими значениями:

$$T_{\sim DR_1} = (0; 0; 10)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_2} = (5; 10; 25)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_3} = (20; 30; 45)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_4} = (40; 60; 70)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_5} = (65; 100; 100)_{LR} \text{ (см. табл. 2.4 в 2.2).}$$

Для этого выполним, в соответствии с (2.38), преобразование (2.40). В результате получим следующие значения НЧ с числовыми эквивалентами – $T_{\sim DR_1} = (0; 0; 29,41)_{LR}$, $T_{\sim DR_2} = (21,57; 40; 60,78)_{LR}$,

$$T_{\sim DR_3} = (52,97; 100; 100)_{LR}.$$

Графическая интерпретация полученных эталонов с возрастающим типом распределения НЧ приведена на рис. 2.17.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем преобразования НЧ, которые имеют убывающий тип распределения по оси dr со следующими значениями:

$$T_{\sim DR_1} = (0; 0; 30)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_2} = (30; 40; 55)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_3} = (50; 70; 75)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_4} = (75; 90; 90)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_5} = (90; 100; 100)_{LR} \text{ (см. табл. 2.4 в п. 2.2).}$$

Для этого выполним, в соответствии с (2.38), преобразование (2.40). В результате получим следующие значения треугольных НЧ с числовыми эквивалентами:

$$T_{\sim DR_1} = (0; 0; 41,67)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_2} = (41,67; 60; 75)_{LR},$$

$$T_{\sim DR_3} = (75; 100; 100)_{LR}.$$

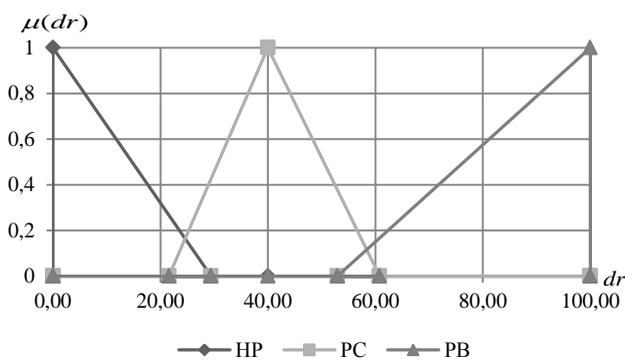


Рис. 2.17. Термы эталонных значений с возрастающим распределением НЧ для ЛП **DR** при $T_{DR}^{(3)}$

Графическая интерпретация полученных эталонов с убывающим типом распределения НЧ приведена на рис. 2.18.

Сравнение полученных результатов в примерах 3 и 4 с приведенными в п. 2.2 (см. табл. 2.6), показывает их полную идентичность, что говорит о корректности реализованных преобразований по понижению порядка.

Таким образом, с целью совершенствования работы систем АОР ИБ, предложен метод n -кратного понижения числа термов с использованием второго частного расширения базы, в котором за счет модификации n -кратным расширением функции понижения термов на один порядок, расширяется возможность формализации процесса эквивалентного трансформирования числа эталонных термов ЛП на n порядков без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

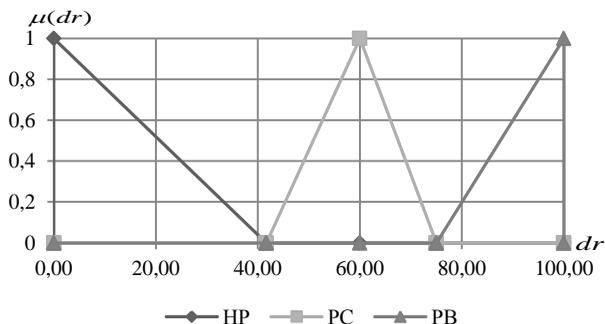


Рис. 2.18. Термы эталонных значений с убывающим распределением НЧ для ЛП DR при $\mathcal{L}_{DR}^{(3)}$

2.5. Метод инкрементирования числа термов лингвистических переменных на трапециевидных нечетких числах

Существующие средства АОР ИБ, которые основываются на нечеткой логике [3], используют ЛП с фиксированным количеством терм-множеств, определенных экспертами на этапе инициализации базовых величин при настройке системы. Для повышения эффективности таких средств в [9, 10] (пп. 2.1-2.4) были представлены методы n -кратного декрементирования числа термов ЛП для трапециевидных и треугольных НЧ, которые позволяют уменьшать порядок ЛП без привлечения экспертов соответствующей предметной области. 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. Этот процесс достаточно трудоемкий и создает дополнительную нагрузку на владельца системы. Для решения задачи инкрементирования числа термов ЛП (на основе оценок экспертов, которые использовались на этапе настройки системы), предлагается метод трансформирования эталонов посредством однократного инкрементирования (увеличение на один порядок) числа термов ЛП. Это повысит эффективность соответствующих систем АОР ИБ и будет

способствовать дальнейшему их усовершенствованию и расширению функциональных возможностей.

Для решения поставленной задачи воспользуемся ЛП DR – «СТЕПЕНЬ РИСКА» [3]. Пусть исходная ЛП имеет вид:

$$DR^{(m)}(T_{DR_1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots,$$

$$T_{DR_j}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots,$$

$$T_{DR_m}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR},$$

а преобразованная –

$$DR^{(m+1)}(T_{DR_1}^{(m+1)} = (a_1^{(m+1)}; b_{11}^{(m+1)}; b_{21}^{(m+1)}; c^{(m+1)})_{LR}, \dots,$$

$$T_{DR_j}^{(m+1)} = (a_j^{(m+1)}; b_{ij}^{(m+1)}; b_{ij}^{(m+1)}; c_j^{(m+1)})_{LR}, \dots,$$

$$T_{DR_{m+1}}^{(m+1)} = (a_{m+1}^{(m+1)}; b_{im+1}^{(m+1)}; b_{im+1}^{(m+1)}; c_{m+1}^{(m+1)})_{LR} \quad (j = \overline{1, m}, i = \overline{1, 2}),$$

тогда функцию трансформирования ЛП на плюс один порядок (инкрементирование) обозначим через FT^{+1} (ЛП). Например, повышение $DR^{(m)}$ на один порядок позволит расширить возможности использования указанной функции [9] посредством реализации соответствующей операции трансформирования на +1:

$$DR^{(m+1)} = FT^{+1}(DR^{(m)}). \quad (2.43)$$

Так как, ЛП $DR^{(m)}$ представляется НЧ с различными ФП $\mu(dr)$ [4], а для целей компактного описания такие ФП удобно отображать трапециевидными НЧ вида $X_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, где a_j, c_j и b_{1j}, b_{2j} соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания трапеции [4] (при $j = \overline{1, m}$), то (2.43) представим в виде:

$$\begin{aligned}
& DR^{(m+1)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, \\
& (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m), (a_{m+1}, b_{1m+1}, b_{2m+1}, c_{m+1})) = \\
& FT^{+1}(DR^{(m)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, \\
& (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m))).
\end{aligned} \tag{2.44}$$

Реализацию функции (2.44) осуществим путем трансформирования эталонов за счет встраивания дополнительного термина. Этот процесс обеспечивается предложенным методом 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 трапецевидных НЧ, определить корректирующие параметры по следующим выражениям:

$$\begin{aligned}
k_1^{(m+1)} &= \frac{\sum_{j=1}^m (b_{2j}^{(m)} - b_{1j}^{(m)})}{m}, \\
k_2^{(m+1)} &= \frac{\sum_{j=2}^m (b_{1j}^{(m)} - b_{2j-1}^{(m)})}{m-1},
\end{aligned} \tag{2.45}$$

$$k^{(m+1)} = k_1^{(m+1)} + k_2^{(m+1)}, \quad j = \overline{1, m};$$

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

$$l_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^m (c_{j-1}^{(m)} - a_j^{(m)})}{m-1}, \tag{2.46}$$

$$l^{(m+1)} = l_1^{(m+1)} + l_2^{(m+1)},$$

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 оснований 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 термина. 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 выражения (2.47):

$$s = j \text{ нпу } (x_j \leq k_1^{(m+1)} \leq x_{j+1}) \text{ или } (x_j \geq k_1^{(m+1)} \geq x_{j+1}), \quad (2.47)$$

где $k_1^{(m+1)}$ - корректирующий параметр, определяемый посредством (2.45).

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 $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, при $j = \overline{1, m+1}$, т.е. осуществить их переопределение с учетом дополнительного термина. Реализацию этого этапа будем осуществлять с помощью следующих выражений:

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

$$b_{2j}^{(m+1)'} = \begin{cases} b_{2j}^{(m)} \text{ нпу } j < s + 1; \\ b_{1j}^{(m+1)'} + k_1^{(m+1)} \text{ нпу } j = s + 1; \quad j = \overline{1, m}, \\ b_{2j-1}^{(m)} + k^{(m+1)} \text{ нпу } j > s + 1, \end{cases} \quad (2.48)$$

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

$$c_j^{(m+1)'} = \begin{cases} c_j^{(m)} & \text{при } j < s \\ a_{j+1}^{(m)} + l_2^{(m+1)} & \text{при } j = s; \quad j = \overline{1, m}, \\ c_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} & \text{при } j > s, \end{cases} \quad (2.49)$$

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 (2.48) и (2.49), при этом они вышли за границы определения эталонов. Для нормирования полученных результатов, необходимо определить соответствующие коэффициенты.

Шаг 1. Формирование нормирующих коэффициентов осуществляется по (2.50) и (2.51), т.е.:

$$k_3^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{b_{2m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.50)$$

$$l_3^{(m+1)} = \frac{c_{dr}}{c_{m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.51)$$

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 $l_3^{(m+1)}$ с использованием (2.52) и (2.53), т.е.:

$$b_{ij}^{(m+1)} = b_{ij}^{(m+1)'} \times k_3^{(m+1)} , \quad i = \overline{1, 2} , \quad j = \overline{1, m} ; \quad (2.52)$$

$$a_j^{(m+1)} = a_j^{(m+1)'} \times l_3^{(m+1)} , \quad c_j^{(m+1)} = c_j^{(m+1)'} \times l_3^{(m+1)} , \quad j = \overline{1, m} . \quad (2.53)$$

Для иллюстрации работы метода воспользуемся конкретным примером, где в качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, используются эталонные трапециевидные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=4$ (см. табл. 2.7). С учетом этого выражение (2.43) принимает вид:

$$DR^{(5)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4}, T_{DR_5}) = FT^{+1}(DR^{(4)}(T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4})),$$

где

$$T_{DR}^{(4)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 T_{DR_j} \right\} = \left\{ T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad j = \overline{1,4}, \quad (2.54)$$

а НР - «Незначительный риск нарушения ИБ», РС - «Степень риска нарушения ИБ средняя», РВ - «Степень риска нарушения ИБ высокая», ПР - «Предельный риск нарушения ИБ» и

$$T_{DR}^{(5)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 T_{DR_j} \right\} = \left\{ T_{DR_1}, T_{DR_2}, T_{DR_3}, T_{DR_4}, T_{DR_5} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PH}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad (2.55)$$

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. В примере видно, что добавилось значение РН (см. (2.55)).

Так, как трапециевидные НЧ удобно описывать в виде $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, где a_j , c_j и b_{1j} , b_{2j} соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания трапеции [4] (при $j = \overline{1,m}$), то выражение (2.44) представим в виде:

$$DR^{(5)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4), (a_5, b_{15}, b_{25}, c_5)) = FT^{+1}(DR^{(4)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4))), \quad (2.56)$$

Пример 1 – равномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(4)}$ определяется терминами в (2.54). Для инициализации входящих значений T_{DR_j} , $j = \overline{1,4}$ воспользуемся данными из табл. 2.7 с равнове-

рным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. (2.6) в п. 2.1):

$$\Omega_p = (b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} = b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{12} - b_{21} = b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} = b_{14} - b_{23}) = (14,29 - 0 = 42,87 - 28,58) \wedge (42,87 - 28,58 = 71,45 - 57,16) \wedge (71,45 - 57,16 = 100,03 - 85,74) \wedge (28,58 - 14,29 = 57,16 - 42,87) \wedge (57,16 - 42,87 = 85,74 - 71,45) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Таблица 2.7. Пример эталонных трапецевидных НЧ при $m=4$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j}, = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,4})$			
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{T}_{DR_3}	\underline{T}_{DR_4}
Равномерный	(0; 0; 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}

Как видно условие равномерности истинно ($\Omega_p = 1$), то НЧ ЛП $DR^{(4)}$ соответствует равномерному типу распределения.

Для реализации (2.44) выполним однократное инкрементирование заданной в (2.56) ЛП $DR^{(4)}$ с помощью выполнения необходимых этапов.

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся (2.45) и (2.46) т.е.:

$$k_1^{(5)} = (b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} + b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} + b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} + b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)}) / 4 = (14,29 - 0 + 42,87 - 28,58 + 71,45 - 57,16 + 100,03 - 85,74) / 4 = 14,29;$$

$$k_2^{(5)} = (b_{12}^{(4)} - b_{21}^{(4)} + b_{13}^{(4)} - b_{22}^{(4)} + b_{14}^{(4)} - b_{23}^{(4)}) / 3 = (28,58 - 14,29 + 57,16 - 42,87 + 85,74 - 71,45) / 3 = 14,29;$$

$$k^{(5)} = k_1^{(5)} + k_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58;$$

$$l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 = (14,29 - 0 + 43,87 - 28,58 + 71,45 - 57,16 + 100,03 - 85,74) / 4 = 14,29;$$

$$l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 = (28,58 - 14,29 + 57,16 - 42,87 + 85,74 - 71,45) / 3 = 14,29;$$

$$l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58.$$

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (2.47), т.е.:

$$x_1 = b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} = 14,29 - 0 = 14,29;$$

$$x_2 = b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} = 42,87 - 28,58 = 14,29;$$

$$x_3 = b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} = 71,45 - 57,16 = 14,29;$$

$$x_4 = b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)} = 100,03 - 85,74 = 14,29.$$

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, например, встраивание дополнительного терма осуществим после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Согласно (2.48) и (2.49), 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 (2.50)-(2.53) на основе двухшаговой последовательности (при $b_{dr} = c_{dr} = 100$) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по (2.50) и (2.51):

$$k_3^{(5)} = b_{dr} / b_{25}^{(5)'} = 100 / 128,61 = 0,78;$$

$$l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)'} = 100 / 128,61 = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью (2.52) и (2.53):

$$b_{11}^{(5)} = b_{11}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0;$$

$$b_{21}^{(5)} = b_{21}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11;$$

$$b_{12}^{(5)} = b_{12}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 28,58 \times 0,78 = 22,22;$$

$$b_{22}^{(5)} = b_{22}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 42,87 \times 0,78 = 33,33;$$

$$b_{13}^{(5)} = b_{13}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 57,16 \times 0,78 = 44,44;$$

$$b_{23}^{(5)} = b_{23}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 71,45 \times 0,78 = 55,55;$$

$$b_{14}^{(5)} = b_{14}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 85,74 \times 0,78 = 66,66;$$

$$b_{24}^{(5)} = b_{24}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 100,03 \times 0,78 = 77,77;$$

$$b_{15}^{(5)} = b_{15}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 114,32 \times 0,78 = 88,88;$$

$$b_{25}^{(5)} = b_{25}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 128,61 \times 0,78 = 100;$$

$$a_1^{(5)} = a_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0;$$

$$a_2^{(5)} = a_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11;$$

$$a_3^{(5)} = a_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 42,87 \times 0,78 = 33,33;$$

$$a_4^{(5)} = a_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 71,45 \times 0,78 = 55,55;$$

$$a_5^{(5)} = a_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 100,03 \times 0,78 = 77,77;$$

$$c_1^{(5)} = c_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 28,58 \times 0,78 = 22,22;$$

$$c_2^{(5)} = c_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 57,16 \times 0,78 = 44,44;$$

$$c_3^{(5)} = c_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 85,74 \times 0,78 = 66,66;$$

$$c_4^{(5)} = c_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 114,32 \times 0,78 = 88,88;$$

$$c_5^{(5)} = c_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 128,61 \times 0,78 = 100.$$

В результате трансформирования термов ЛП получим, например, для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ лингвистические значения (2.56) с соответствующими

числовыми эквивалентами, значения которых определены на шаге 2 этапа 4 и занесены в таблицу 2.8.

Далее вычислим условие равномерности для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$:

$$\begin{aligned} \Omega_p = & (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) \wedge (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) \wedge \\ & (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) \wedge (77,77 - 66,66 = 100 - 88,88) \wedge \\ & (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) \wedge (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) \wedge \\ & (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1. \end{aligned}$$

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 $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2.19.

Таблица 2.8. Инкрементированные эталонные трапецевидные НЧ

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}	T_{DR_4}	T_{DR_5}
Равномерный	$(0; 0; 11,11; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 22,22; 33,33; 44,44)_{LR}$	$(33,34; 44,44; 55,55; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 66,66; 77,77; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 88,88; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 9,97; 29,91)_{LR}$	$(9,97; 29,91; 42,38; 56)_{LR}$	$(42,38; 56; 65,1; 75,07)_{LR}$	$(65,1; 75,7; 82,55; 93,52)_{LR}$	$(82,55; 93,52; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 5,02; 12,04)_{LR}$	$(5,02; 12,04; 21,08; 32,12)_{LR}$	$(21,08; 32,12; 43,29; 54,33)_{LR}$	$(43,29; 54,33; 67,37; 82,43)_{LR}$	$(67,37; 82,43; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 17,57; 32,63)_{LR}$	$(17,57; 32,63; 45,67; 56,71)_{LR}$	$(45,67; 56,71; 67,88; 78,92)_{LR}$	$(67,88; 78,92; 87,96; 94,98)_{LR}$	$(87,96; 94,98; 100; 100)_{LR}$

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(4)}$ также, как и в примере 1, определяется термами в (2.54). Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ с их числовыми эквивалентами $T_{DR_j}, j = \overline{1,4}$ из

табл. 2.7, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. (2.9) в п. 2.1):

$$\Omega_n = (b_{21} - b_{11} \neq b_{22} - b_{12}) \vee (b_{22} - b_{12} \neq b_{23} - b_{13}) \vee (b_{23} - b_{13} \neq b_{24} - b_{14}) + (b_{12} - b_{21} \neq b_{13} - b_{22}) \vee (b_{13} - b_{22} \neq b_{14} - b_{23}) = (12,9 - 0 \neq 54,84 - 38,71) \vee (54,84 - 38,71 \neq 77,42 - 67,74) \vee (77,42 - 67,74 \neq 100 - 91,61) + (38,71 - 12,9 \neq 67,74 - 54,84) \vee (67,74 - 54,84 \neq 91,61 - 77,42) = 1 \vee 1 \vee 1 + 1 \vee 1 = 1.$$

Как видим условие неравномерности истинно ($\Omega_n = 1$), это говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(4)}$ такому типу распределения, как неравномерный.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4, однократное инкрементирование ЛП $DR^{(4)}$ с помощью (2.44).

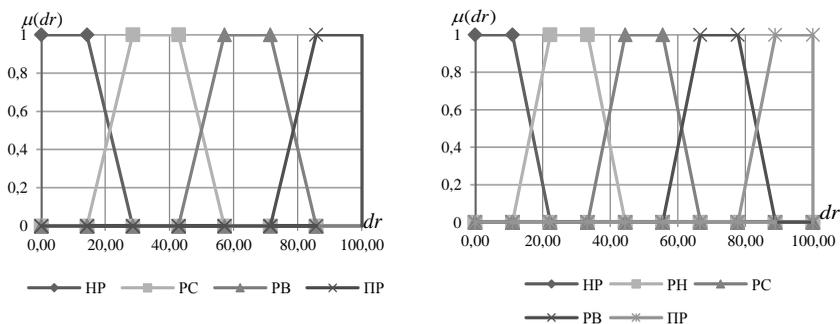


Рис. 2.19. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП **DR** при $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(5)}$

Этап 1. Осуществим поиск корректирующих параметров по выражениям (2.45) и (2.46) т.е.:

$$k_1^{(5)} = 11,78; k_2^{(5)} = 17,63; k^{(5)} = 29,41;$$

$$l_1^{(5)} = 11,78; l_2^{(5)} = 17,63; l^{(5)} = 29,41.$$

Этап 2. Здесь осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (2.47), т.е.:

$$x_1 = 12,9; x_2 = 16,13; x_3 = 9,68; x_4 = 8,39,$$

$$\text{тогда } s=2 \text{ при } (x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_3) \Rightarrow (16,13 \geq 11,78 \geq 9,68).$$

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 (2.48) и (2.49), т.е.:

$$b_{11}^{(5)'} = b_{11}^{(4)} = 0;$$

$$b_{21}^{(5)'} = b_{21}^{(4)} = 12,9;$$

$$b_{12}^{(5)'} = b_{12}^{(4)} = 38,71;$$

$$b_{22}^{(5)'} = b_{22}^{(4)} = 54,84;$$

$$b_{13}^{(5)'} = b_{22}^{(4)} + k_2^{(5)} = 72,47;$$

$$b_{23}^{(5)'} = b_{13}^{(5)'} + k_1^{(5)} = 84,25;$$

$$b_{14}^{(5)'} = b_{13}^{(4)} + k^{(5)} = 97,15;$$

$$b_{24}^{(5)'} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)} = 106,83;$$

$$b_{15}^{(5)'} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)} = 121,02;$$

$$b_{25}^{(5)'} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)} = 129,41;$$

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0;$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 12,9;$$

$$a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 54,84;$$

$$a_4^{(5)'} = c_2^{(5)'} + l_1^{(5)} = 84,25;$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 106,83,$$

$$c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 29,91;$$

$$c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 72,47;$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 97,15;$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 121,02,;$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 129,41.$$

Этап 4. Используя (2.50)-(2.53) в 2 шага осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью (2.50) и (2.51): $k_3^{(5)} = 0,77$; $l_3^{(5)} = 0,77$.

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно (2.52) и (2.53), т.е.:

$$b_{11}^{(5)} = 0; b_{21}^{(5)} = 9,97; b_{12}^{(5)} = 29,91; b_{22}^{(5)} = 42,38; b_{13}^{(5)} = 56; b_{23}^{(5)} = 65,1;$$

$$b_{14}^{(5)} = 75,07; b_{24}^{(5)} = 82,55; b_{15}^{(5)} = 93,52; b_{25}^{(5)} = 100;$$

$$a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 9,97; a_3^{(5)} = 42,38; a_4^{(5)} = 65,1; a_5^{(5)} = 82,55; c_1^{(5)} = 29,91; c_2^{(5)} = 56; c_3^{(5)} = 75,07; c_4^{(5)} = 93,52; c_5^{(5)} = 100.$$

В результате однократного инкрементирования получим, например, для $T_{DR}^{(5)}$ значения термов в (2.55), а их числовые эквиваленты отобразим в табл. 2.8.

После проведенных преобразований вычислим Ω_n для $T_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_n = (9,97 - 0 \neq 42,38 - 29,91) \vee (42,38 - 29,91 \neq 65,1 - 56) \vee (65,1 - 56 \neq 82,55 - 75,07) \vee (82,55 - 75,07 \neq 100 - 93,52) + (29,91 - 9,97 \neq 56 - 42,38) \vee (56 - 42,38 \neq 75,07 - 65,1) \vee (75,07 - 65,1 \neq 93,52 - 82,54) = 1.$$

Условие неравномерности для $T_{DR}^{(5)}$ так же, как и для $T_{DR}^{(4)}$ 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. 2.20.

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП $DR^{(4)}$ с термами (2.54), числовые значения которых T_{DR_j} , $j = \overline{1,4}$ из табл. 2.7 имеют возрастаю-

щий тип распределения по оси dr , т.е. условие возрастания является истинным (см. (2.10) в п. 2.1):

$$\Omega_6 = (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23}) = (6,45 - 0 < 27,1 - 15,48) \wedge (27,1 - 15,48 < 58,06 - 41,29) \wedge (58,06 - 41,29 < 100 - 77,42) \wedge (15,48 - 6,45 < 41,29 - 27,1) \wedge (41,29 - 27,1 < 77,42 - 58,06) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно, условие $\Omega_6 = 1$ истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(4)}$ возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 преобразования (2.56).

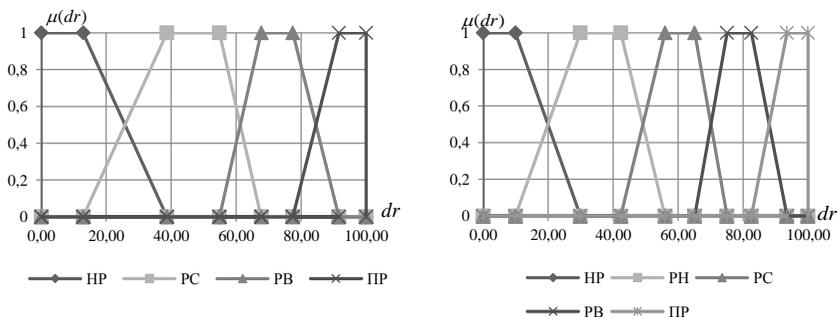


Рис. 2.20. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(5)}$

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (3.45) и (3.46) т.е.:

$$k_1^{(5)} = 14,36; k_2^{(5)} = 14,19; k_3^{(5)} = 28,55;$$

$$l_1^{(5)} = 14,36; l_2^{(5)} = 14,19; l_3^{(5)} = 28,55.$$

Этап 2. Теперь определим номер расширяющей вершины по формуле (2.47), т.е.:

$$x_1 = 6,45; x_2 = 11,62; x_3 = 16,77; x_4 = 22,58,$$

$$\text{тогда } s=2 \text{ при } (x_2 \leq k_1^{(5)} \leq x_3) \Rightarrow (11,62 \leq 14,36 \leq 16,77).$$

Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. С помощью (2.48) и (2.49), реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, т.е.:

$$b_{11}^{(5)'} = 0; b_{21}^{(5)'} = 6,45; b_{12}^{(5)'} = 15,48; b_{22}^{(5)'} = 27,1; b_{13}^{(5)'} = 41,29;$$

$$b_{23}^{(5)'} = 55,65; b_{14}^{(5)'} = 69,84; b_{24}^{(5)'} = 86,61; b_{15}^{(5)'} = 105,97; b_{25}^{(5)'} = 128,55;$$

$$a_1^{(5)'} = 0; a_2^{(5)'} = 6,45; a_3^{(5)'} = 27,1; a_4^{(5)'} = 55,65; a_5^{(5)'} = 86,61,$$

$$c_1^{(5)'} = 15,48; c_2^{(5)'} = 41,29; c_3^{(5)'} = 69,84; c_4^{(5)'} = 105,97; c_5^{(5)'} = 128,55.$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью (2.50)-(2.53) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (2.50) и (2.51)): $k_3^{(5)} = 0,78$; $l_3^{(5)} = 0,78$.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (2.52) и (2.53)):

$$\begin{aligned} b_{11}^{(5)} &= 0; b_{21}^{(5)} = 5,02; b_{12}^{(5)} = 12,04; b_{22}^{(5)} = 21,08; b_{13}^{(5)} = 32,12; \\ b_{23}^{(5)} &= 43,29; b_{14}^{(5)} = 54,33; b_{24}^{(5)} = 67,37; b_{15}^{(5)} = 82,43; b_{25}^{(5)} = 100; \\ a_1^{(5)} &= 0; a_2^{(5)} = 5,02; a_3^{(5)} = 21,08; a_4^{(5)} = 43,29; a_5^{(5)} = 67,37; \\ c_1^{(5)} &= 12,04; c_2^{(5)} = 32,12; c_3^{(5)} = 54,33; c_4^{(5)} = 82,43; c_5^{(5)} = 100. \end{aligned}$$

В результате вычислений для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.54)) получим значения

термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2.8 (см. рис. 2.21).

Далее проверим условие возрастания для $T_{DR}^{(5)}$:

$$\begin{aligned} \Omega_e &= (5,02 - 0 < 21,08 - 12,04) \wedge (21,08 - 12,04 < 43,29 - 32,12) \wedge \\ &(43,29 - 32,12 < 67,37 - 54,33) \wedge (67,37 - 54,33 < 100 - 82,43) \wedge \\ &(12,04 - 5,02 < 32,12 - 21,08) \wedge (32,12 - 21,08 < 54,33 - 43,29) \wedge \\ &(54,33 - 43,29 < 82,43 - 67,37) = 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видим, значения $\Omega_e = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$ является истинным, что го-

ворит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП $DR^{(4)}$, которые принимают значения (2.54) с их числовыми эквивалентами в табл. 2.7 и имеют убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (2.11) в п. 2.1):

$$\begin{aligned} \Omega_y &= (b_{21} - b_{11} > b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} > b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} > b_{24} - b_{14}) \\ &\wedge (b_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} > b_{14} - b_{23}) = (22,58 - 0 > 58,71 - \\ &41,94) \wedge (58,71 - 41,94 > 84,52 - 72,9) \wedge (84,52 - 72,9 > 100 - 93,55) \\ &\wedge (41,94 - 22,58 > 72,9 - 58,71) \wedge (72,9 - 58,71 > 93,55 - 84,52) = 1 \\ &\wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

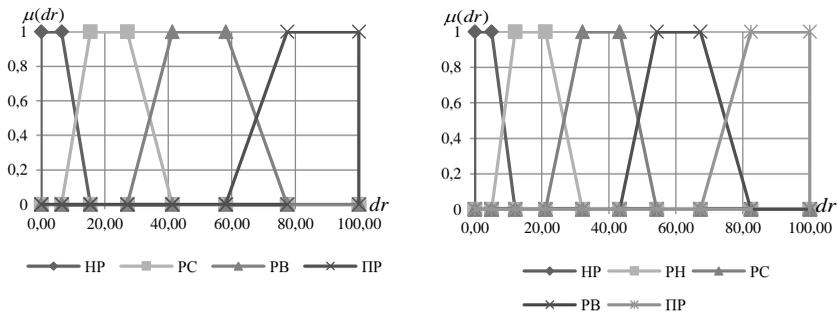


Рис. 2.21. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения НЧ для ЛПИ DR при $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(5)}$

Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит НЧ ЛПИ $DR^{(4)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствие с этапами 1-4 однократное инкрементирование (2.44) ЛПИ $DR^{(4)}$.

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (2.45) и (2.46) т.е.:

$$k_1^{(5)} = 14,36; k_2^{(5)} = 14,19; k^{(5)} = 28,55;$$

$$l_1^{(5)} = 14,36; l_2^{(5)} = 14,19; l^{(5)} = 28,55.$$

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по (2.47), т.е.:

$$x_1 = 22,58; x_2 = 16,77; x_3 = 11,62; x_4 = 6,45,$$

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 (2.49) и (2.49), т.е.:

$$b_{11}^{(5)'} = 0; b_{21}^{(5)'} = 22,58; b_{12}^{(5)'} = 41,94; b_{22}^{(5)'} = 58,71; b_{13}^{(5)'} = 72,9;$$

$$b_{23}^{(5)'} = 87,26; b_{14}^{(5)'} = 101,45; b_{24}^{(5)'} = 113,07; b_{15}^{(5)'} = 122,1; b_{25}^{(5)'} = 128,55;$$

$$a_1^{(5)'} = 0; a_2^{(5)'} = 22,58; a_3^{(5)'} = 58,71; a_4^{(5)'} = 87,26; a_5^{(5)'} = 113,07,$$

$$c_1^{(5)'} = 41,94; c_2^{(5)'} = 72,9; c_3^{(5)'} = 101,45; c_4^{(5)'} = 122,1; c_5^{(5)'} = 128,55.$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью (2.50)-(2.53) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.50) и (2.51):

$$k_3^{(5)} = 0,78; l_3^{(5)} = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью (2.52) и (2.53):

$$b_{11}^{(5)} = 0; b_{21}^{(5)} = 17,57; b_{12}^{(5)} = 32,63; b_{22}^{(5)} = 45,67; b_{13}^{(5)} = 56,71;$$

$$b_{23}^{(5)} = 67,88; b_{14}^{(5)} = 78,92; b_{24}^{(5)} = 87,96; b_{15}^{(5)} = 94,98; b_{25}^{(5)} = 100;$$

$$a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 17,57; a_3^{(5)} = 45,67; a_4^{(5)} = 67,88; a_5^{(5)} = 87,96;$$

$$c_1^{(5)} = 32,63; c_2^{(5)} = 56,71; c_3^{(5)} = 78,92; c_4^{(5)} = 94,98; c_5^{(5)} = 100.$$

В результате чего для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.55)) получим значения термов,

числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2.8 (см. рис. 2.22).

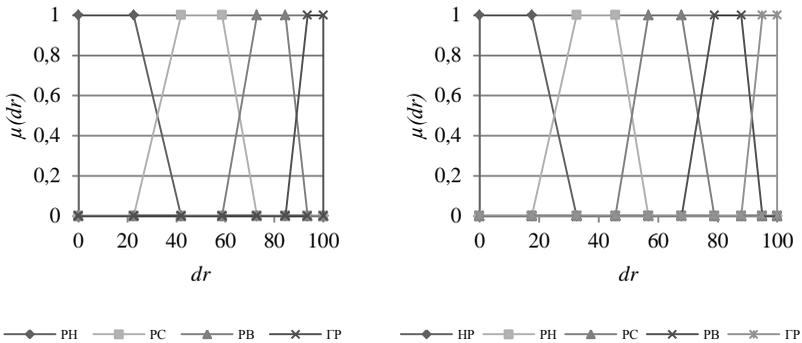


Рис. 2.22. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения

НЧ для ЛП DR при $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(5)}$

Проверим условие убывания для $T_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_y = (17,57 - 0 > 45,67 - 32,63) \wedge (45,67 - 32,63 > 67,88 - 56,71) \wedge (67,88 - 56,71 > 87,96 - 78,92) \wedge (87,96 - 78,92 > 100 - 94,98) \wedge (32,63 - 17,57 > 56,71 - 45,67) \wedge (56,71 - 45,67 > 78,92 - 67,88) \wedge (78,92 - 67,88 > 94,98 - 87,96) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно значения $\Omega_y = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$, как и для $T_{DR}^{(4)}$ является ис-

тинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Представленный метод реализации функции трансформирования эталонов ЛП позволит повысить эффективность работы системы АОР ИБ. Это осуществляется посредством решения задачи инкрементирования числа термов трапециевидных НЧ без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Для расширения возможностей функции по реализации процесса трансформирования термов, нужно осуществить разработку соответствующих методов, использующих другие классы параметрических НЧ, например, треугольных.

2.6. Метод инкрементирования числа термов лингвистических переменных на треугольных нечетких числах

В п. 2.5 был предложен метод реализации функции трансформирования эталонов для трапециевидных НЧ. 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, например, треугольных. Для реализации поставленной цели используем формулу (2.44) из п. 2.5, где приравняем $b_j = b_{1j} = b_{2j}$, $j = \overline{1, m}$ и получим другой тип параметрических НЧ – треугольные.

Для таких чисел выражение (2.44) можем представить в следующем виде:

$$DR^{(m+1)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_m, b_m, c_m), (a_{m+1}, b_{m+1}, c_{m+1})) = FT^{+1}(DR^{(m)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), \dots, (a_m, b_m, c_m))). \quad (2.56)$$

где a_j , c_j и b_j , ($j = \overline{1, m}$) соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания треугольного НЧ [4].

Для реализации заданной функции (2.56) предлагается метод, который позволяет трансформировать эталоны за счет встраивания дополнительного термина в ЛП, базирующиеся на параметрических треугольных НЧ. Метод содержит 4 этапа.

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

$$k_1^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{m-1}, \quad (2.57)$$

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

$$l_2^{(m+1)} = \frac{\sum_{j=2}^m (c_{j-1}^{(m)} - a_j^{(m)})}{m-1}, \quad l^{(m+1)} = l_1^{(m+1)} + l_2^{(m+1)}, \quad (2.58)$$

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 термина. 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 обозначаться переменной s . Таким образом, поиск номера расширяющей вершины осуществляется посредством определения значения s согласно выражения (2.59):

$$s = j + 1 \text{ при } (x_{j+1} \geq k_1^{(m+1)} \geq x_j) \text{ или } (x_{j+1} \leq k_1^{(m+1)} \leq x_j), \quad (2.59)$$

где $k_1^{(m+1)}$ - корректирующий параметр, определяемый посредством (2.57).

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 термина. Реализацию этого этапа будем осуществлять с помощью следующих выражений:

$$b_j^{(m+1)'} = \begin{cases} b_j^{(m)} \text{ при } j \leq s, \\ b_{j-1}^{(m)} + k_1^{(m+1)} \text{ при } j > s, \end{cases} \quad (j = \overline{1, m}); \quad (2.60)$$

$$a_j^{(m+1)'} = \begin{cases} a_j^{(m)} \text{ при } j < s + 2, \\ c_{j-2}^{(m+1)'} + l_1^{(m+1)} \text{ при } j = s + 2, \\ a_{j-1}^{(m)} + l^{(m+1)} \text{ при } j > s + 2; \end{cases} \quad (2.61)$$

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

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 (2.60) и (2.61). 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 выражениям (2.62) и (2.63), т.е.:

$$k^{(m+1)} = \frac{b_{dr}}{b_{m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.62)$$

$$I_3^{(m+1)} = \frac{c_{dr}}{c_{m+1}^{(m+1)'}} , \quad (2.63)$$

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 $I_3^{(m+1)}$ по выражениям (2.64) и (2.65), т.е.:

$$b_j^{(m+1)} = b_j^{(m+1)'} \times k^{(m+1)} , \quad (j = \overline{1, m}) ; \quad (2.64)$$

$$a_j^{(m+1)} = a_j^{(m+1)'} \times I_3^{(m+1)} , \quad c_j^{(m+1)} = c_j^{(m+1)'} \times I_3^{(m+1)} , \quad (j = \overline{1, m}) . \quad (2.65)$$

Для иллюстрации работы метода воспользуемся конкретным примером, где в качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные треугольные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=4$ (см. табл. 2.10).

С учетом этого выражение (2.56) принимает вид:

$$DR^{(5)}(\underline{\mathcal{T}}_{DR_1}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_2}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_3}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_4}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_5}) = FT^{+1}(DR^{(4)}(\underline{\mathcal{T}}_{DR_1}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_2}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_3}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_4})),$$

где

$$\underline{\mathcal{T}}_{DR}^{(4)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^4 \underline{\mathcal{T}}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{\mathcal{T}}_{DR_1}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_2}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_3}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_4} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\} , \quad (2.66)$$

а НР - «Незначительный риск нарушения ИБ», РС - «Степень риска нарушения ИБ средняя», РВ - «Степень риска нарушения ИБ высокая», ПР - «Предельный риск нарушения ИБ» и

$$\underline{\mathcal{T}}_{DR}^{(5)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \underline{\mathcal{T}}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{\mathcal{T}}_{DR_1}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_2}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_3}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_4}, \underline{\mathcal{T}}_{DR_5} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PH}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\} , \quad (2.67)$$

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. В примере видно, что добавилось значение РН (см. (2.67)).

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 (2.56) представим в виде:

$$DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5)) = FT^{+1}(DR^{(4)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4))). \quad (2.68)$$

Пример 1 – равномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(4)}$ (см. п. 2.5) задается терминами из (2.66). Для определения числовых значений \underline{T}_{DR_j} ($j = \overline{1, 4}$) воспользуемся данными из табл. 2.10 с

равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. (2.17) в п. 2.2), т.е.:

$$\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 = b_4 - b_3) = (33,33 - 0 = 66,66 - 33,33) \wedge (66,66 - 33,33 = 99,99 - 66,66) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Таблица 2.10. Пример эталонных треугольных НЧ 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	$0; 0; 41,94)_{LR}$	$(22,58; 60; 72,9)_{LR}$	$(58,71; 90; 93,55)_{LR}$	$(84,52; 100; 100)_{LR}$

Как видно $\Omega_p = 1$, следовательно, НЧ ЛП $DR^{(4)}$ соответствуют равномерному типу распределения.

Для реализации (2.56), посредством необходимых этапов разработанного метода, выполним однократное инкрементирование заданной в (2.68) ЛП $DR^{(4)}$.

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (2.57) и (2.58) т.е.:

$$k_1^{(5)} = b_{dr} / 3 = 100/3 = 33,33;$$

$$l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 =$$

$$(8,3 - 0 + 41,7 - 25 + 75 - 58,3 + 100 - 91,7) / 4 = 12,5;$$

$$l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 =$$

$$(25 - 8,3 + 58,3 - 41,7 + 91,7 - 75) / 3 = 16,67;$$

$$l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 12,5 + 16,67 = 29,17.$$

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (2.59), т.е.:

$$x_1 = b_2^{(4)} - b_1^{(4)} = 33,33 - 0 = 33,33; \quad x_2 = b_3^{(4)} - b_2^{(4)} = 66,66 - 33,33 = 33,33; \quad x_3 = b_4^{(4)} - b_3^{(4)} = 99,99 - 66,66 = 33,33. \text{ Как видно: } s=1+1=2 \text{ при } (x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 33,33); \quad s=2+1=3 \text{ при } (x_3 \geq k_1^{(5)} \geq x_2) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 33,33), \text{ и т.д.}$$

Поскольку тип распределения НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и таким образом, в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,3}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного терма осуществим после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Согласно (2.60) и (2.61), 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, 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 (2.62)-(2.65) на основе двухшаговой последовательности (при $b_{dr} = c_{dr} = 100$) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.62) и (2.63), т.е.:

$$k^{(5)} = b_{dr} / b_5^{(5)'} = 100 / 133,32 = 0,75;$$

$$l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)'} = 100 / 129,16 = 0,77.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (2.64) и (2.65), т.е.:

$$b_1^{(5)} = b_1^{(5)'} \times k^{(5)} = 0 \times 0,75 = 0;$$

$$b_2^{(5)} = b_2^{(5)'} \times k^{(5)} = 33,33 \times 0,75 = 25;$$

$$b_3^{(5)} = b_3^{(5)'} \times k^{(5)} = 66,66 \times 0,75 = 50;$$

$$b_4^{(5)} = b_4^{(5)'} \times k^{(5)} = 99,99 \times 0,75 = 75;$$

$$b_5^{(5)} = b_5^{(5)'} \times k^{(5)} = 133,32 \times 0,75 = 100;$$

$$a_1^{(5)} = a_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,77 = 0;$$

$$a_2^{(5)} = a_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 8,33 \times 0,77 = 6,45;$$

$$a_3^{(5)} = a_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 41,66 \times 0,77 = 32,26;$$

$$a_4^{(5)} = a_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 70,83 \times 0,77 = 54,84;$$

$$a_5^{(5)} = a_5^{(5')} \times I_3^{(5)} = 104,16 \times 0,77 = 80,65;$$

$$c_1^{(5)} = c_1^{(5')} \times I_3^{(5)} = 25 \times 0,77 = 19,35;$$

$$c_2^{(5)} = c_2^{(5')} \times I_3^{(5)} = 58,33 \times 0,77 = 45,16;$$

$$c_3^{(5)} = c_3^{(5')} \times I_3^{(5)} = 87,5 \times 0,77 = 67,74;$$

$$c_4^{(5)} = c_4^{(5')} \times I_3^{(5)} = 120,83 \times 0,77 = 93,55;$$

$$c_5^{(5)} = c_5^{(5')} \times I_3^{(5)} = 129,16 \times 0,77 = 100.$$

В результате инкрементирования порядка исходной ЛП (2.66) получим, например, $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ с лингвистическими значениями в (2.67) и

соответствующими числовыми эквивалентами, значения которых определяются на шаге 2 этапа 4.

Результирующие значения, полученные в процессе вычисления, внесены в табл. 2.11.

Таблица 2.11. Инкрементированные эталонные треугольные НЧ

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{T}_{DR_3}	\underline{T}_{DR_4}	\underline{T}_{DR_5}
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}

Далее вычислим условие равномерности для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_p = (25 - 0 = 50 - 25) \wedge (50 - 25 = 75 - 50) \wedge (75 - 50 = 100 - 75) = 1.$$

Как видим $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ так же, 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. 2.23.

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Пусть исходная ЛП DR⁽⁴⁾ также, как и в примере 1, определяется термами из

(3.66). Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных НЧ с соответствующими числовыми эквивалентами T_{DR_j} ($j = \overline{1,4}$) из табл. 3.10, т.е. для которых будет истинным усло-

вие неравномерности (см. (3.18) в п. 3.2):

$$\Omega_H = (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) \vee (b_3 - b_2 \neq b_4 - b_3) = \\ (22 - 0 \neq 66 - 22) \vee (66 - 22 \neq 100 - 66) = 1 \vee 1 = 1.$$

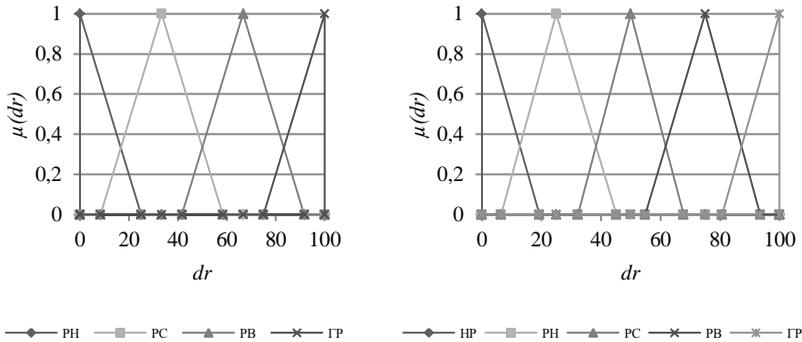


Рис. 2.23. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $T_{DR}^{(4)}$ и $T_{DR}^{(5)}$

Как видно $\Omega_H = 1$, следовательно, НЧ ЛП $DR^{(4)}$ соответствуют неравномерному типу распределения.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4, однократное инкрементирование ЛП $DR^{(4)}$ по выражению (2.68).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров на основе (2.57) и (2.58), т.е.:

$$k_1^{(5)} = 33,33; l_1^{(5)} = 8; l_2^{(5)} = 22,67; l^{(5)} = 30,67.$$

Этап 2. Осуществим определение номера расширяющей вершины за формулой (2.59), 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 (2.60) и (2.61), т.е.:

$$b_1^{(5)'} = b_1^{(4)} = 0;$$

$$b_2^{(5)'} = b_2^{(4)} = 22;$$

$$b_3^{(5)'} = b_2^{(4)} + k_1^{(5)} = 55,33;$$

$$b_4^{(5)'} = b_3^{(4)} + k_1^{(5)} = 99,33;$$

$$b_5^{(5)'} = b_4^{(4)} + k_1^{(5)} = 133,33;$$

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0;$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 10;$$

$$a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 45;$$

$$a_4^{(5)'} = c_2^{(5)'} + l_1^{(5)} = 75,67;$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 108,67;$$

$$c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 39;$$

$$c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 67,67;$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 100,67;$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 122,67;.$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 130,67.$$

Этап 4. На основе (2.62)-(2.65) посредством 2-х шагов осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью (2.62) и (2.63), т.е.:

$$k^{(5)} = 0,75; l_3^{(5)} = 0,77.$$

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно (2.64) и (2.65), т.е.:

$$b_1^{(5)} = 0; b_2^{(5)} = 16,50; b_3^{(5)} = 41,5; b_4^{(5)} = 74,5; b_5^{(5)} = 100;$$

$$a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 7,65; a_3^{(5)} = 34,44; a_4^{(5)} = 57,91; a_5^{(5)} = 83,16;$$

$$c_1^{(5)} = 29,85; c_2^{(5)} = 51,79; c_3^{(5)} = 77,04; c_4^{(5)} = 93,88; c_5^{(5)} = 100.$$

В результате однократного инкрементирования получим, например, для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ конкретные значения термов (2.67), а их числовые эквиваленты отобразим в табл. 2.11.

После проведенных преобразований вычислим Ω_n для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_n = (16,5 - 0 \neq 41,5 - 16,5) \vee (41,5 - 16,5 \neq 74,5 - 41,5) \vee (74,5 - 41,5 \neq 100 - 74,5) = 1.$$

Условие неравномерности $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ так же, как и $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ является истинно $\Omega_n = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований. Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2.24.

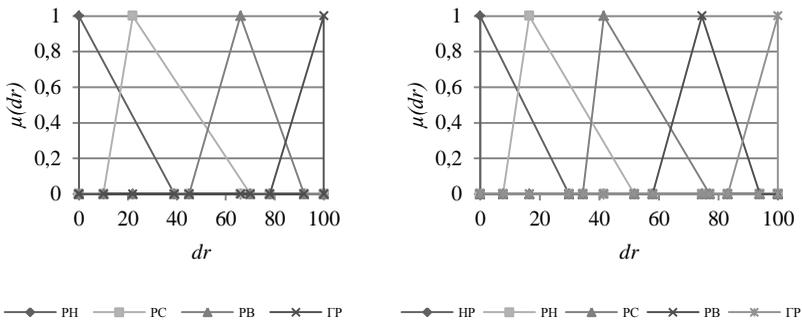


Рис. 2.24. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR при $\underline{T}_{DR}^{(4)}$ и $\underline{T}_{DR}^{(5)}$

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП $DR^{(4)}$ с термами (2.66), числовые значения которых \underline{T}_{DR_j} ($j = \overline{1,4}$) из табл. 2.10 имеют возрастающий тип распределения, т.е. для которых истинным является условие возрастания (см. (2.19) в п. 2.2):

$$\Omega_6 = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 < b_4 - b_3) = (5 - 0 < 20 - 5) \wedge (20 - 5 < 100 - 20) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно, условие $\Omega_6 = 1$ истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(4)}$ возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствие с этапами 1-4 преобразования (2.68).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.57) и (2.58), 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 (2.59), 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 термина будем осуществлять после третьей вершины, т.е. между третьим и четвертым термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. С помощью (2.60) и (2.61) реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ, т.е.:

$$b_1^{(5')} = 0; b_2^{(5')} = 5; b_3^{(5')} = 20; b_4^{(5')} = 53,33; b_5^{(5')} = 133,3;$$

$$a_1^{(5')} = 0; a_2^{(5')} = 5; a_3^{(5')} = 18; a_4^{(5')} = 52; a_5^{(5')} = 87,62;$$

$$c_1^{(5')} = 15,48; c_2^{(5')} = 41,29; c_3^{(5')} = 71,73; c_4^{(5')} = 107,35; c_5^{(5')} = 129,93.$$

Этап 4. За два шага нормируем полученные результаты с помощью (2.62)-(2.65).

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (2.62) и (2.63)), т.е.: $k^{(5)} = 0,75; l_3^{(5)} = 0,77$.

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (2.64) и (2.65)), т.е.:

$$b_1^{(5)} = 0; b_2^{(5)} = 3,75; b_3^{(5)} = 15; b_4^{(5)} = 40; b_5^{(5)} = 100;$$

$$a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 3,85; a_3^{(5)} = 13,85; a_4^{(5)} = 40,02; a_5^{(5)} = 67,44;$$

$$c_1^{(5)} = 11,91; c_2^{(5)} = 31,78; c_3^{(5)} = 55,21; c_4^{(5)} = 82,62; c_5^{(5)} = 100.$$

В результате преобразований для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.67)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2.11 (см. рис. 2.25).

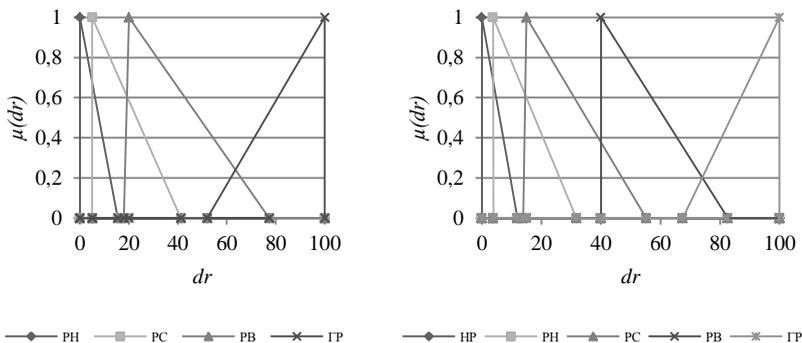


Рис. 2.25. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения НЧ для ЛП DR при $\mathcal{I}_{DR}^{(4)}$ и $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$

Далее проверим условие возрастания для $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_g = (3,75 - 0 < 15 - 3,75) \wedge (15 - 3,75 < 40 - 15) \wedge (40 - 15 < 100 - 40) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим, значение $\Omega_g = 1$ для $\mathcal{I}_{DR}^{(5)}$ является истинным, что го-

ворит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП $DR^{(4)}$, которые принимают значения (2.66) с их числовыми эквивалентами из табл. 2.10 и имеют убывающий тип распределения, т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (2.20) в п. 2.2):

$$\Omega_y = (b_2 - b_1 > b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 > b_4 - b_3) = (60 - 0 > 90 - 60) \wedge (90 - 60 > 100 - 90) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(4)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствие с этапами 1-4 однократное инкрементирование (2.68) ЛП $DR^{(4)}$.

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (2.57) и (2.58), 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 (2.59), 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 (2.60) и (2.61), т.е.:

$$b_1^{(5')} = 0; b_2^{(5')} = 60; b_3^{(5')} = 93,33; b_4^{(5')} = 123,33; b_5^{(5')} = 133,33;$$

$$a_1^{(5')} = 0; a_2^{(5')} = 22,58; a_3^{(5')} = 58,71; a_4^{(5')} = 87,26; a_5^{(5')} = 113,07;$$

$$c_1^{(5')} = 41,94; c_2^{(5')} = 72,9; c_3^{(5')} = 101,45; c_4^{(5')} = 122,1; c_5^{(5')} = 128,55.$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью (2.62)-(2.65) за два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.62) и (2.63), т.е.: $k^{(5)} = 0,75; l_3^{(5)} = 0,78$.

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью формул (2.64) и (2.65), т.е.:

$$b_1^{(5)} = 0; b_2^{(5)} = 45; b_3^{(5)} = 70; b_4^{(5)} = 92,5; b_5^{(5)} = 100;$$

$$a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 17,57; a_3^{(5)} = 45,67; a_4^{(5)} = 67,88; a_5^{(5)} = 87,96;$$

$$c_1^{(5)} = 32,63; c_2^{(5)} = 56,71; c_3^{(5)} = 78,92; c_4^{(5)} = 94,98; c_5^{(5)} = 100.$$

В результате вычислений для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.67)) получим значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицы 2.11 (см. рис. 2.26). 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 значения Ω_y для $T_{DR}^{(5)}$ также, как и для $T_{DR}^{(4)}$ является истинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

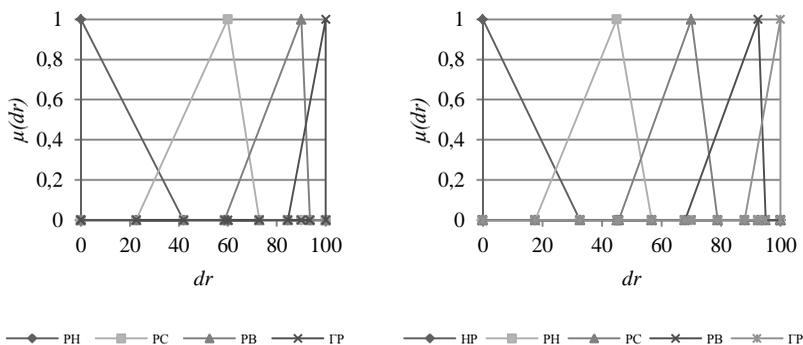


Рис. 2.26. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ для ЛП DR при $\underline{I}_{DR}^{(4)}$ и $\underline{I}_{DR}^{(5)}$

Таким образом, с целью совершенствования работы системы АОР ИБ, предложен метод инкрементирования порядка ЛП, в котором за счет модификации функции однократного инкрементирования, расширяется возможность формализации процесса эквивалентного трансформирования эталонных ЛП, с параметрическими треугольными НЧ, на один порядок без привлечения экспертов соответствующей предметной области, что позволяет автоматизировать процесс формирования новых эталонов.

2.7. Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных на трапециевидных нечетких числах

В [9, 10] и пп. 2.3-2.4 были представлены методы n-кратного декрементирования (понижения) числа термов ЛП для трапециевидных и треугольных НЧ, которые позволяют уменьшать порядок ЛП без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

Также были разработаны методы инкрементирования числа термов на один порядок для трапециевидных и треугольных НЧ. Дальнейшее развитие этих методов даст возможность обобщить процесс инкрементирования числа термов, что позволит усовершенствовать соответствующие системы оценивания рисков.

Исходя из этого разработаем метод, который позволит эквивалентно переопределять порядок (число термов) ЛП с помощью n-кратного инкрементирования.

Метод состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы.

Этап 1 – Формирование базы. Для достижения поставленной цели будем использовать метод n -кратного инкрементирования числа термов ЛП на основе функции ее трансформирования на плюс один порядок (см. п. 2.5), которая обозначается как FT^{+1} (ЛП). В качестве исходящей ЛП воспользуемся DR – «СТЕПЕНЬ РИСКА» [3]. Для вывода базовой формулы воспользуемся последовательностью из n - членов повышения $DR^{(m)}$ [11] (m – количество терм-множеств) на один порядок, т.е.:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m+1)} = FT^{+1}(DR^{(m)}); \\ DR^{(m+2)} = FT^{+1}(DR^{(m+1)}); \\ DR^{(m+3)} = FT^{+1}(DR^{(m+2)}); \\ \dots \\ DR^{(m+n)} = FT^{+1}(DR^{(m+n-1)}). \end{array} \right. \quad (2.69)$$

Выполняя соответствующие подстановки в формуле (2.69), получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m+2)} = FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(m)})); \\ DR^{(m+3)} = FT^{+1}(FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(m)}))); \\ \dots \\ DR^{(m+n)} = \underbrace{FT^{+1}(\dots FT^{+1}(FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(m)})))\dots)}_n. \end{array} \right. \quad (2.70)$$

Обозначим через FT^{+n} n -кратную последовательность реализации функции инкрементирования ЛП FT^{+1} , тогда (2.70) представим в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m+2)} = FT^{+2}(DR^{(m)}); \\ DR^{(m+3)} = FT^{+3}(DR^{(m)}); \\ \dots \\ DR^{(m+n)} = FT^{+n}(DR^{(m)}). \end{array} \right. \quad (2.71)$$

Таким образом, последнюю запись в (2.71) представляемую как:

$$DR^{(m+n)} = FT^{+n}(DR^{(m)}) \quad (2.72)$$

и определим в качестве базовой формулы (или базы) для инкрементирования ЛП на n -й (+ n) порядок.

Этап 2 – Расширение базы. С учетом того, что ЛП ($DR^{(m)}$) состоит из множества термов [3], то (2.69) можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m+1)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_m}, \underline{T}_{DR_{m+1}}) = FT^{+1}(DR^{(m)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m-1}}, \underline{T}_{DR_m})); \\ DR^{(m+2)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+1}}, \underline{T}_{DR_{m+2}}) = FT^{+1}(DR^{(m+1)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_m}, \underline{T}_{DR_{m+1}})); \\ DR^{(m+3)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+2}}, \underline{T}_{DR_{m+3}}) = FT^{+1}(DR^{(m+2)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+1}}, \underline{T}_{DR_{m+2}})); \\ \dots \\ DR^{(m+n)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+n-1}}, \underline{T}_{DR_{m+n}}) = FT^{+1}(DR^{(m+n-1)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+n-2}}, \underline{T}_{DR_{m+n-1}})). \end{array} \right. \quad (2.73)$$

Выполнив соответствующие подстановки в (2.73) получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} DR^{(m+2)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+1}}, \underline{T}_{DR_{m+2}}) = FT^{+2}(DR^{(m)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m-1}}, \underline{T}_{DR_m})); \\ DR^{(m+3)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+2}}, \underline{T}_{DR_{m+3}}) = FT^{+3}(DR^{(m)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m-1}}, \underline{T}_{DR_m})); \\ \dots \\ DR^{(m+n)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+n-1}}, \underline{T}_{DR_{m+n}}) = FT^{+n}(DR^{(m)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m-1}}, \underline{T}_{DR_m})). \end{array} \right. \quad (2.74)$$

Таким образом последнее аналитическое выражение в (2.74)

$$\begin{aligned} & DR^{(m+n)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m+n-1}}, \underline{T}_{DR_{m+n}}) = \\ & FT^{+n}(DR^{(m)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \dots, \underline{T}_{DR_{m-1}}, \underline{T}_{DR_m})), \end{aligned} \quad (2.75)$$

определим, как расширение базовой формулы (2.72).

Этап 3 – Частное расширение базы. Так как, ЛП $DR^{(m)}$ представляется НЧ с различными ФП $\mu(dr)$ [4], а для целей компактного описания такие ФП удобно описывать трапециевидными НЧ вида $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$, где a_j и c_j – абсциссы нижнего основания, а b_{1j} и b_{2j} – абсциссы верхнего основания трапеции [4] (при $j = \overline{1, m}$), то (2.75) представим в виде:

$$\begin{aligned}
& DR^{(m+n)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, \\
& (a_{m+n-1}, b_{1m+n-1}, b_{2m+n-1}, c_{m+n-1}), (a_{m+n}, b_{1m+n}, b_{2m+n}, c_{m+n})) = \\
& FT^{+n}(DR^{(m)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \dots, \\
& (a_{m-1}, b_{1m-1}, b_{2m-1}, c_{m-1}), (a_m, b_{1m}, b_{2m}, c_m)))
\end{aligned} \tag{2.76}$$

и назовем его первым частным расширением базы.

Рассмотрим работу метода на конкретном примере, при этом положим в основу первое частное расширение базы. В качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать эталонные трапециевидные НЧ с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=3$ (см. табл. 2.12).

Таблица 2.12. Пример эталонных трапециевидных НЧ при $m=3$

Тип распределения НЧ ЛП DR	НЧ $\underline{T}_{DR_j}, = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,3})$		
	\underline{T}_{DR_1}	\underline{T}_{DR_2}	\underline{T}_{DR_3}
Равномерный	$(0; 0; 20; 40)_{LR}$	$(20; 40; 60; 80)_{LR}$	$(60; 80; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 18; 35)_{LR}$	$(18; 35; 60; 85)_{LR}$	$(60; 85; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 3; 16)_{LR}$	$(3; 16; 33; 65)_{LR}$	$(33; 65; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 28; 51)_{LR}$	$(28; 51; 71; 87)_{LR}$	$(71; 87; 100; 100)_{LR}$

Так как реализация функции $FT^{+1}(DR^{(m)})$ рассматривалась в п. 2.5, то осуществим соответствующие преобразования при $n = \overline{2,3}$.

Поскольку вычислить обобщенную функцию достаточно сложно, реализуем такие преобразования в виде итераций. Поэтому целесообразно воспользоваться выражением (2.70).

Пусть $n=2$, а $m=3$ (m – количество термов в ЛП), тогда выражение (2.70) принимает вид:

$$DR^{(5)} = FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(3)})),$$

а (2.75) будет иметь следующий вид:

$$DR^{(5)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5}) = FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(3)}(\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}))),$$

где

$$\underline{T}_{DR}^{(3)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^3 \underline{T}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3} \right\} = \left\{ \underline{PH}, \underline{PC}, \underline{PB} \right\}, \quad j = \overline{1,3}, \quad (2.77)$$

а РН – «Степень риска нарушения ИБ низкая», РС - «Степень риска нарушения ИБ средняя», РВ - «Степень риска нарушения ИБ высокая», при этом

$$\underline{T}_{DR}^{(5)} = \left\{ \bigcup_{j=1}^5 \underline{T}_{DR_j} \right\} = \left\{ \underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5} \right\} = \left\{ \underline{HP}, \underline{PH}, \underline{PC}, \underline{PB}, \underline{PP} \right\}, \quad (2.78)$$

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». Исходя из этого (2.76) можно представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} & DR^{(5)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), \\ & (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3), (a_4, b_{14}, b_{24}, c_4), (a_5, b_{15}, b_{25}, c_5)) = \\ & FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(3)}((a_1, b_{11}, b_{21}, c_1), \\ & (a_2, b_{12}, b_{22}, c_2), (a_3, b_{13}, b_{23}, c_3))))). \end{aligned} \quad (2.79)$$

Пример 1 – равномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(3)}$ определяется термами из (2.77). Для инициализации числовых значений \underline{T}_{DR_j} , $j = \overline{1,3}$ воспользуемся данными в табл. 2.12 с равно-

мерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. (2.6) в п. 2.1):

$$\begin{aligned} \Omega_p &= (b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}) \wedge \\ & (b_{12} - b_{21} = b_{13} - b_{22}) = (20 - 0 = 60 - 40) \wedge (60 - 40 = 100 - 80) \wedge \\ & (40 - 20 = 80 - 60) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видно условие равномерности истинно ($\Omega_p = 1$), следовательно НЧ ЛП $DR^{(3)}$ соответствует равномерному типу распределения (см. рис. 2.27, а, б и табл. 2.12, 2.13)).

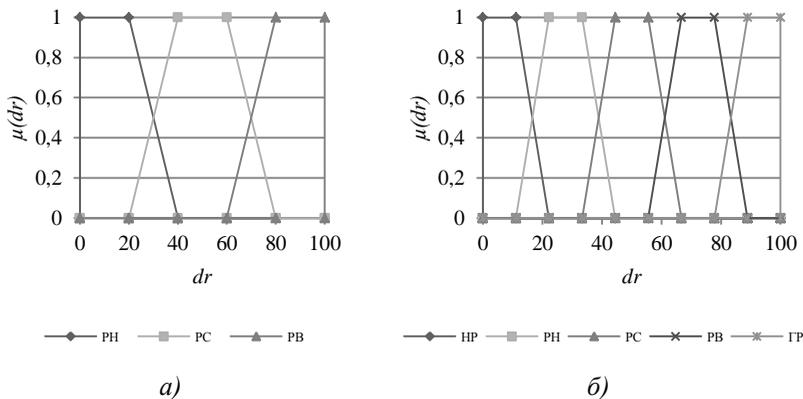


Рис. 2.27. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Для реализации функции (2.76) посредством выполнения необходимых этапов (см. п. 2.5) осуществим n -кратное инкрементирование заданной в (2.79) ЛП $DR^{(3)}$ при $n=2$. Инкрементирование на 2-порядка будем осуществлять с помощью 2-кратной итерации.

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (2.45) и (2.46) в п. 2.5.

Первая итерация:

$$k_1^{(4)} = (b_{21}^{(3)} - b_{11}^{(3)} + b_{22}^{(3)} - b_{12}^{(3)} + b_{23}^{(3)} - b_{13}^{(3)}) / 3 =$$

$$(20 - 0 + 60 - 40 + 100 - 80) / 3 = 20,$$

$$k_2^{(4)} = (b_{12}^{(3)} - b_{21}^{(3)} + b_{13}^{(3)} - b_{22}^{(3)}) / 2 =$$

$$(40 - 20 + 80 - 60) / 2 = 20,$$

$$k^{(4)} = k_1^{(4)} + k_2^{(4)} = 20 + 20 = 40,$$

$$l_1^{(4)} = (a_2^{(3)} - a_1^{(3)} + a_3^{(3)} - c_1^{(3)} + c_3^{(3)} - c_2^{(3)}) / 3 =$$

$$(20 - 0 + 60 - 40 + 100 - 80) / 3 = 20,$$

$$l_2^{(4)} = (c_1^{(3)} - a_2^{(3)} + c_2^{(3)} - a_3^{(3)}) / 2 =$$

$$(40 - 20 + 80 - 60) / 2 = 20,$$

$$l^{(4)} = l_1^{(4)} + l_2^{(4)} = 20 + 20 = 40.$$

Вторая итерация:

$$k_1^{(5)} = (b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} + b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} + b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} + b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)}) / 4 =$$

$$(14,29 - 0 + 42,86 - 28,57 + 71,43 - 57,16 + 100,0 - 85,71) / 4 = 14,29,$$

$$k_2^{(5)} = (b_{12}^{(4)} - b_{21}^{(4)} + b_{13}^{(4)} - b_{22}^{(4)} + b_{14}^{(4)} - b_{23}^{(4)}) / 3 =$$

$$(28,57 - 14,29 + 57,14 - 42,86 + 85,71 - 71,43) / 3 = 14,29,$$

$$k^{(5)} = k_1^{(5)} + k_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58,$$

$$l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 =$$

$$(14,29 - 0 + 42,86 - 28,57 + 71,43 - 57,14 + 100,0 - 85,71) / 4 = 14,29,$$

$$l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 =$$

$$(28,57 - 14,29 + 57,14 - 42,86 + 85,71 - 71,43) / 3 = 14,29,$$

$$l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58.$$

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (2.47) из п. 2.5, т.е.:

первая итерация –

$$x_1 = b_{21}^{(3)} - b_{11}^{(3)} = 20 - 0 = 20,$$

$$x_2 = b_{22}^{(3)} - b_{12}^{(3)} = 60 - 40 = 20,$$

$$x_3 = b_{23}^{(3)} - b_{13}^{(3)} = 100 - 80 = 20.$$

Как видно $s=1$ при $(x_1 \leq k_1^{(4)} \leq x_2) \Rightarrow (20 \leq 20 \leq 20)$, $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_3) \Rightarrow (20 \leq 20 \leq 20)$, и т.д.

Поскольку тип распределения НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и, таким образом, в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,3}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного термина осуществим после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $T_{DR}^{(3)}$;

вторая итерация –

$$x_1 = b_{21}^{(4)} - b_{11}^{(4)} = 14,29 - 0 = 14,29,$$

$$x_2 = b_{22}^{(4)} - b_{12}^{(4)} = 42,86 - 28,57 = 14,29,$$

$$x_3 = b_{23}^{(4)} - b_{13}^{(4)} = 71,43 - 57,14 = 14,29,$$

$$x_4 = b_{24}^{(4)} - b_{14}^{(4)} = 100,0 - 85,71 = 14,29.$$

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. По аналогии с первой итерацией в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,4}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного терма осуществим после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Согласно (2.48) и (2.49) в п. 2.5, вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, т.е.:

первая итерация –

$$b_{11}^{(4)'} = b_{11}^{(3)} = 0 \text{ при } 1 < 2,$$

$$b_{21}^{(4)'} = b_{21}^{(3)} = 20 \text{ при } 1 < 2,$$

$$b_{12}^{(4)'} = b_{21}^{(3)} + k_2^{(4)} = 20 + 20 = 40 \text{ при } 2 = 2,$$

$$b_{22}^{(4)'} = b_{12}^{(4)'} + k_1^{(4)} = 40 + 20 = 60 \text{ при } 2 = 2,$$

$$b_{13}^{(4)'} = b_{12}^{(3)} + k^{(4)} = 40 + 40 = 80 \text{ при } 3 > 2,$$

$$b_{23}^{(4)'} = b_{22}^{(3)} + k^{(4)} = 60 + 40 = 100 \text{ при } 3 > 2,$$

$$b_{14}^{(4)'} = b_{13}^{(3)} + k^{(4)} = 80 + 40 = 120 \text{ при } 4 > 2,$$

$$b_{24}^{(4)'} = b_{23}^{(3)} + k^{(4)} = 100 + 40 = 140 \text{ при } 4 > 2.$$

Аналогично вычисляются абсциссы нижнего основания, т.е.:

$$a_1^{(4)'} = a_1^{(3)} = 0 \text{ при } 1 < 3,$$

$$a_2^{(4)'} = a_2^{(3)} = 20 \text{ при } 2 < 3,$$

$$c_1^{(4)'} = a_2^{(3)} + l_2^{(4)} = 20 + 20 = 40 \text{ при } 1 = 1,$$

$$a_3^{(4)'} = c_1^{(4)'} + l_1^{(4)} = 40 + 20 = 60 \text{ при } 3 = 3,$$

$$c_2^{(4)'} = c_1^{(3)} + l^{(4)} = 40 + 20 = 60 \text{ при } 2 > 1,$$

$$a_4^{(4)'} = a_3^{(3)} + l^{(4)} = 60 + 40 = 100 \text{ при } 4 > 3,$$

$$c_3^{(4)'} = c_2^{(3)} + l^{(4)} = 80 + 40 = 120 \text{ при } 3 > 1,$$

$$c_4^{(4)'} = c_3^{(3)} + l^{(4)} = 100 + 40 = 140 \text{ при } 4 > 1;$$

вторая итерация –

$$b_{11}^{(5)'} = b_{11}^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 2,$$

$$b_{21}^{(5)'} = b_{21}^{(4)} = 14,29 \text{ при } 1 < 2,$$

$$b_{12}^{(5)'} = b_{21}^{(4)} + k_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,58 \text{ при } 2 = 2,$$

$$b_{22}^{(5)'} = b_{12}^{(5)'} + k_1^{(5)} = 28,58 + 14,29 = 42,87 \text{ при } 2 = 2,$$

$$b_{13}^{(5)'} = b_{12}^{(4)} + k^{(5)} = 28,58 + 28,58 = 57,16 \text{ при } 3 > 2,$$

$$b_{23}^{(5)'} = b_{22}^{(4)} + k^{(5)} = 42,87 + 28,58 = 71,45 \text{ при } 3 > 2,$$

$$b_{14}^{(5)'} = b_{13}^{(4)} + k^{(5)} = 57,16 + 28,58 = 85,74 \text{ при } 4 > 2,$$

$$b_{24}^{(5)'} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)} = 71,45 + 28,58 = 100,03 \text{ при } 4 > 2,$$

$$b_{15}^{(5)'} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)} = 85,74 + 28,55 = 114,32 \text{ при } 5 > 2,$$

$$b_{25}^{(5)'} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)} = 100,03 + 28,58 = 128,61 \text{ при } 5 > 2.$$

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.:

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 3,$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 14,285 \text{ при } 2 < 3,$$

$$c_1^{(5)'} = a_2^{(4)} + l_2^{(5)} = 14,285 + 14,285 = 28,57 \text{ при } 1 = 1,$$

$$a_3^{(5)'} = c_1^{(4)} + l_1^{(5)} = 28,57 + 14,29 = 42,86 \text{ при } 3 = 3,$$

$$c_2^{(5)'} = c_1^{(4)} + l^{(5)} = 28,57 + 28,57 = 57,14 \text{ при } 2 > 1,$$

$$a_4^{(5)'} = a_3^{(4)} + l^{(5)} = 42,86 + 28,57 = 71,43 \text{ при } 4 > 3,$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 57,14 + 28,57 = 85,71 \text{ при } 3 > 1,$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 71,43 + 28,57 = 100,0 \text{ при } 5 > 3,$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 85,71 + 28,57 = 114,29 \text{ при } 4 > 1,$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 100,00 + 28,57 = 128,57 \text{ при } 5 > 1.$$

Этап 4. С помощью (2.50)-(2.53) в п. 2.5, на основе двухшаговой последовательности (при $b_{dr} = c_{dr} = 100$) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

Первая итерация:

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.50) и (2.51):

$$k_3^{(4)} = b_{dr} / b_{24}^{(4)'} = 100 / 140 = 0,71,$$

$$l_3^{(4)} = c_{dr} / c_4^{(4)'} = 100 / 140 = 0,71.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью (2.52) и (2.53):

$$b_{11}^{(4)} = b_{11}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 0 \times 0,71 = 0,$$

$$b_{21}^{(4)} = b_{21}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 20 \times 0,71 = 14,29,$$

$$b_{12}^{(4)} = b_{12}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 40 \times 0,71 = 28,57,$$

$$b_{22}^{(4)} = b_{22}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 60 \times 0,71 = 42,86,$$

$$b_{13}^{(4)} = b_{13}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 80 \times 0,71 = 57,14,$$

$$b_{23}^{(4)} = b_{23}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 100 \times 0,71 = 71,43,$$

$$b_{14}^{(4)} = b_{14}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 120 \times 0,71 = 85,71,$$

$$b_{24}^{(4)} = b_{24}^{(4)'} \times k_3^{(4)} = 140 \times 0,71 = 100,$$

$$a_1^{(4)} = a_1^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 0 \times 0,71 = 0,$$

$$a_2^{(4)} = a_2^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 20 \times 0,71 = 14,29,$$

$$a_3^{(4)} = a_3^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 60 \times 0,71 = 42,86,$$

$$a_4^{(4)} = a_4^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 100 \times 0,71 = 71,43,$$

$$c_1^{(4)} = c_1^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 40 \times 0,71 = 28,57,$$

$$c_2^{(4)} = c_2^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 80 \times 0,71 = 57,14,$$

$$c_3^{(4)} = c_3^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 120 \times 0,71 = 85,71,$$

$$c_4^{(4)} = c_4^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 140 \times 0,71 = 100.$$

Вторая итерация:

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.50) и (2.51):

$$k_3^{(5)} = b_{dr} / b_{25}^{(5)'} = 100 / 128,57 = 0,78,$$

$$l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)'} = 100 / 128,57 = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (2.52) и (2.53):

$$b_{11}^{(5)} = b_{11}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0,$$

$$b_{21}^{(5)} = b_{21}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11,$$

$$b_{12}^{(5)} = b_{12}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 28,57 \times 0,78 = 22,22,$$

$$b_{22}^{(5)} = b_{22}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 42,86 \times 0,78 = 33,33,$$

$$b_{13}^{(5)} = b_{13}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 57,14 \times 0,78 = 44,44,$$

$$b_{23}^{(5)} = b_{23}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 71,43 \times 0,78 = 55,55,$$

$$b_{14}^{(5)} = b_{14}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 85,71 \times 0,78 = 66,66,$$

$$b_{24}^{(5)} = b_{24}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 100,00 \times 0,78 = 77,77,$$

$$b_{15}^{(5)} = b_{15}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 114,29 \times 0,78 = 88,88,$$

$$b_{25}^{(5)} = b_{25}^{(5)'} \times k_3^{(5)} = 128,57 \times 0,78 = 100,$$

$$a_1^{(5)} = a_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0,$$

$$a_2^{(5)} = a_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11,$$

$$a_3^{(5)} = a_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 42,86 \times 0,78 = 33,33,$$

$$a_4^{(5)} = a_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 71,43 \times 0,78 = 55,55,$$

$$a_5^{(5)} = a_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 100,0 \times 0,78 = 77,77,$$

$$c_1^{(5)} = c_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 28,57 \times 0,78 = 22,22,$$

$$c_2^{(5)} = c_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 57,14 \times 0,78 = 44,44,$$

$$c_3^{(5)} = c_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 85,71 \times 0,78 = 66,66,$$

$$c_4^{(5)} = c_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 114,29 \times 0,78 = 88,88,$$

$$c_5^{(5)} = c_5^{(5')} \times I_3^{(5)} = 128,57 \times 0,78 = 100.$$

В результате трансформирования термов ЛП получим, например, для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ лингвистические величины (см. (2.78) с соответствующими числовыми эквивалентами, значения которых определены на шаге 2 этапа 4 и занесены в таблицу 2.13.

Далее вычислим условие равномерности для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ (см. (2.6), из п. 2.1):

$$\Omega_p = (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) \wedge (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) \wedge (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) \wedge (77,77 - 66,66 = 100 - 88,88) \wedge (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) \wedge (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) \wedge (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1.$$

Как видим $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ также, как и $\underline{T}_{DR}^{(3)}$ имеет $\Omega_p = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов равномерно распределенных НЧ $\underline{T}_{DR}^{(3)}$ и $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2.27 (а, б).

Таблица 2.13. Инкрементированные эталонные трапецевидные НЧ

Тип 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}
Равномерный	$(0; 0; 11,11; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 22,22; 33,33; 44,44)_{LR}$	$(33,34; 44,44; 55,55; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 66,66; 77,77; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 88,88; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 9,97; 19,37)_{LR}$	$(9,96; 21,59; 32,29; 44,83)_{LR}$	$(33,21; 41,7; 55,54; 67,16)_{LR}$	$(55,54; 67,16; 77,86; 91,7)_{LR}$	$(77,86; 91,7; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 1,65; 8,81)_{LR}$	$(1,65; 8,81; 18,17; 30,55)_{LR}$	$(18,17; 30,55; 40,64; 53,03)_{LR}$	$(40,64; 53,03; 63,12; 80,73)_{LR}$	$(63,12; 80,73; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 15,58; 26,44)_{LR}$	$(15,58; 26,44; 37,76; 48,61)_{LR}$	$(37,76; 48,61; 59,93; 72,73)_{LR}$	$(59,93; 72,7383,86; 92,70)_{LR}$	$(83,86; 92,76; 100; 100)_{LR}$

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(3)}$ также, как и в примере 1, определяется термами в (2.77). Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ с их числовыми эквивалентами \underline{T}_{DR_j} , $j = \overline{1,3}$ (см.

табл. 2.12), т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. (2.9) в п. 2.1):

$$\Omega_n = (b_{21} - b_{11} \neq b_{22} - b_{12}) \vee (b_{22} - b_{12} \neq b_{23} - b_{13}) + (b_{12} - b_{21} \neq b_{13} - b_{22}) \\ = (18 - 0 \neq 60 - 35) \vee (60 - 35 \neq 100 - 85) + (35 - 18 \neq 85 - 60) = \\ 1 \vee 1 + 1 = 1.$$

Как видим условие неравномерности истинно ($\Omega_n = 1$). Это говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(3)}$ такому типу распределения, как неравномерный.

Далее выполним, в соответствии с этапами 1-4 (см. п. 2.5), кратное инкрементирование ЛП $DR^{(3)}$ по выражению (2.76).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.45) и (2.46), т.е.:

первая итерация –

$$k_1^{(4)} = 19,33, k_2^{(4)} = 21, k^{(4)} = 40,33,$$

$$l_1^{(4)} = 19,33, l_2^{(4)} = 21, l^{(4)} = 40,33;$$

вторая итерация –

$$k_1^{(5)} = 13,78, k_2^{(5)} = 14,96, k^{(5)} = 28,74,$$

$$l_1^{(5)} = 13,78, l_2^{(5)} = 14,94, l^{(5)} = 28,74.$$

Этап 2. Здесь осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (2.47), т.е.:

первая итерация – $x_1 = 18, x_2 = 25, x_3 = 15$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(4)} \geq x_3) \Rightarrow (25 \geq 19,33 \geq 15)$. В этом примере встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

вторая итерация – $x_1 = 12,83, x_2 = 17,81, x_3 = 13,78, x_4 = 10,69$, тогда $s=1$ при $(x_1 \leq k_1^{(5)} \leq x_2) \Rightarrow (12,83 \leq 13,78 \leq 17,81)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции с помощью (2.48) и (2.49), т.е.:

первая итерация –

$$\begin{aligned}
b_{11}^{(4)'} &= b_{11}^{(3)} = 0, \\
b_{21}^{(4)'} &= b_{21}^{(3)} = 18, \\
b_{12}^{(4)'} &= b_{12}^{(3)} = 35, \\
b_{22}^{(4)'} &= b_{22}^{(3)} = 60, \\
b_{13}^{(4)'} &= b_{22}^{(3)} + k_2^{(4)} = 81, \\
b_{23}^{(4)'} &= b_{13}^{(4)'} + k_1^{(4)} = 100,33, \\
b_{14}^{(4)'} &= b_{13}^{(3)} + k^{(4)} = 125,33, \\
b_{24}^{(4)'} &= b_{23}^{(3)} + k^{(4)} = 140,33, \\
a_1^{(4)'} &= a_1^{(3)} = 0, \\
a_2^{(4)'} &= a_2^{(3)} = 18, \\
a_3^{(4)'} &= a_3^{(3)} = 60, \\
a_4^{(4)'} &= c_2^{(4)'} + l_1^{(4)} = 100,33, \\
c_1^{(4)'} &= c_1^{(3)} = 35, \\
c_2^{(4)'} &= a_3^{(3)} + l_2^{(4)} = 81, \\
c_3^{(4)'} &= c_2^{(3)} + l^{(4)} = 125,33, \\
c_4^{(4)'} &= c_3^{(3)} + l^{(4)} = 140,33; \\
\text{вторая итерация} &- \\
b_{11}^{(5)'} &= b_{11}^{(4)} = 0, \\
b_{21}^{(5)'} &= b_{21}^{(4)} = 12,83, \\
b_{12}^{(5)'} &= b_{12}^{(4)} = 27,79, \\
b_{22}^{(5)'} &= b_{22}^{(4)} = 41,57, \\
b_{13}^{(5)'} &= b_{22}^{(4)} + k_2^{(5)} = 53,68, \\
b_{23}^{(5)'} &= b_{13}^{(5)'} + k_1^{(5)} = 71,50, \\
b_{14}^{(5)'} &= b_{13}^{(4)} + k^{(5)} = 86,46,
\end{aligned}$$

$$b_{24}^{(5)'} = b_{23}^{(4)} + k^{(5)} = 100,24,$$

$$b_{15}^{(5)'} = b_{14}^{(4)} + k^{(5)} = 118,05,$$

$$b_{25}^{(5)'} = b_{24}^{(4)} + k^{(5)} = 128,74,$$

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0,$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 12,83,$$

$$a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 42,76,$$

$$a_4^{(5)'} = c_2^{(5)'} + l_1^{(5)} = 71,50,$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 100,24,$$

$$c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 24,94,$$

$$c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 57,72,$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 86,46,$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 118,05,$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 128,74.$$

Этап 4. На основе (2.50)-(2.53) в 2 шага осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью формул (2.50) и (2.51):

$$\text{первая итерация - } k_3^{(4)} = 0,71, l_3^{(4)} = 0,71;$$

$$\text{вторая итерация - } k_3^{(5)} = 0,78, l_3^{(5)} = 0,78.$$

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно выражениям (2.52) и (2.53), т.е.:

первая итерация –

$$b_{11}^{(4)} = 0, b_{21}^{(4)} = 12,83, b_{12}^{(4)} = 24,94, b_{22}^{(4)} = 42,76, b_{13}^{(4)} = 57,72,$$

$$b_{23}^{(4)} = 71,5, b_{14}^{(4)} = 89,31, b_{24}^{(4)} = 100,$$

$$a_1^{(4)} = 0, a_2^{(4)} = 12,83, a_3^{(4)} = 42,76, a_4^{(4)} = 71,5, c_1^{(4)} = 24,94,$$

$$c_2^{(4)} = 57,72, c_3^{(4)} = 89,31, c_4^{(4)} = 100,$$

вторая итерация –

$$\begin{aligned}
b_{11}^{(5)} &= 0, b_{21}^{(5)} = 9,96, b_{12}^{(5)} = 21,59, b_{22}^{(5)} = 32,29, b_{13}^{(5)} = 41,7, \\
b_{23}^{(5)} &= 55,54, b_{14}^{(5)} = 67,16, b_{24}^{(5)} = 77,86, b_{15}^{(5)} = 91,7, b_{25}^{(5)} = 100, \\
a_1^{(5)} &= 0, a_2^{(5)} = 9,96, a_3^{(5)} = 33,21, a_4^{(5)} = 55,54, a_5^{(5)} = 77,86, \\
c_1^{(5)} &= 19,37, c_2^{(5)} = 44,83, c_3^{(5)} = 67,16, c_4^{(5)} = 91,7, c_5^{(5)} = 100.
\end{aligned}$$

В результате однократного инкрементирования получим, например, для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ соответствующие значения термов (см. (2.78), а

их числовые эквиваленты отобразим в табл. 2.13.

После проведенных преобразований вычислим Ω_n для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$:

$$\begin{aligned}
\Omega_n &= (9,96 - 0 \neq 32,29 - 21,59) \vee (32,29 - 21,59 \neq 55,54 - 41,7) \vee \\
&(55,54 - 41,7 \neq 77,86 - 67,16) \vee (77,86 - 67,16 \neq 100 - 91,7) + (21,59 - \\
&9,96 \neq 41,7 - 32,29) \vee (41,7 - 32,29 \neq 67,16 - 55,54) \vee (67,16 - \\
&55,54 \neq 91,7 - 77,86) = 1.
\end{aligned}$$

Условие неравномерности $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ так же, как и $\underline{T}_{DR}^{(3)}$ является истинно $\Omega_n = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ $\underline{T}_{DR}^{(3)}$ и $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ приведена на

рис. 2.28 (а, б).

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП $DR^{(3)}$ с термами из (2.77), числовые значения которых – \underline{T}_{DR_j} , $j = \overline{1,3}$ из табл. 2.12 имеют

возрастающий тип распределения по оси dr , т.е. для которого истинным является условие возрастания (см. (2.10) в п. 2.1):

$$\begin{aligned}
\Omega_\theta &= (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \\
&= (3 - 0 < 33 - 15,48) \wedge (33 - 16 < 100 - 65) \wedge (16 - 3 < 100 - 65) = \\
&1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.
\end{aligned}$$

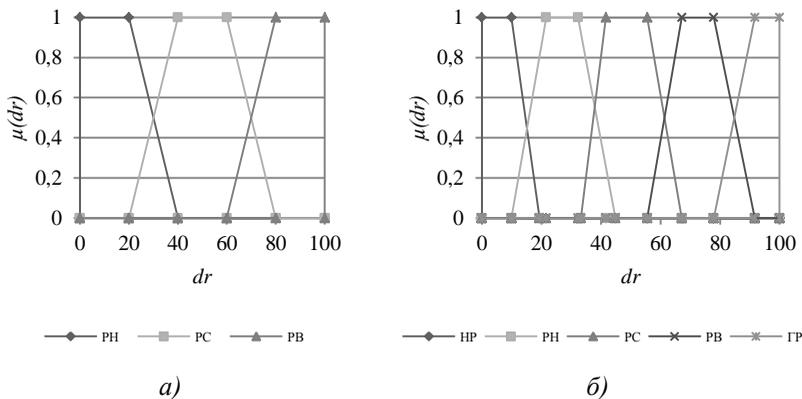


Рис. 2.28. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $T_{\sim DR}^{(3)}$; б) $T_{\sim DR}^{(5)}$

Как видно, условие $\Omega_\theta = 1$ истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(3)}$ возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 (см. п. 2.5) преобразования (2.76).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.45) и (2.46), т.е.:

первая итерация –

$$k_1^{(4)} = 18,33, k_2^{(4)} = 22,5, k^{(4)} = 40,83,$$

$$l_1^{(4)} = 18,33, l_2^{(4)} = 22,5, l^{(4)} = 40,83;$$

вторая итерация –

$$k_1^{(5)} = 13,02, k_2^{(5)} = 15,98, k^{(5)} = 28,99,$$

$$l_1^{(5)} = 13,02, l_2^{(5)} = 15,98, l^{(5)} = 28,99.$$

Этап 2. Теперь определим номер расширяющей вершины по формуле (2.47), т.е.:

первая итерация – $x_1 = 3, x_2 = 17, x_3 = 35$, тогда $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_3) \Rightarrow (17 \leq 18,33 \leq 35)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{\sim DR}^{(3)}$;

вторая итерация – $x_1 = 2,13$, $x_2 = 12,07$, $x_3 = 13,02$, $x_4 = 24,85$, тогда $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(5)} \leq x_3) \Rightarrow (12,07 \leq 13,02 \leq 13,02)$. Здесь встраивание дополнительного термина будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. С помощью (2.48) и (2.49), реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции, т.е.:

первая итерация –

$$b_{11}^{(4)'} = 0, b_{21}^{(4)'} = 3, b_{12}^{(4)'} = 16, b_{22}^{(4)'} = 33, b_{13}^{(4)'} = 55,5,$$

$$b_{23}^{(4)'} = 73,83, b_{14}^{(4)'} = 105,83, b_{24}^{(4)'} = 140,83,$$

$$a_1^{(4)'} = 0, a_2^{(4)'} = 3, a_3^{(4)'} = 33, a_4^{(4)'} = 73,83, c_1^{(4)'} = 16,$$

$$c_2^{(4)'} = 55,5, c_3^{(4)'} = 105,83, c_4^{(4)'} = 140,83;$$

вторая итерация –

$$b_{11}^{(5)'} = 0, b_{21}^{(5)'} = 2,13, b_{12}^{(5)'} = 11,36, b_{22}^{(5)'} = 23,43, b_{13}^{(5)'} = 39,41,$$

$$b_{23}^{(5)'} = 52,43, b_{14}^{(5)'} = 68,4, b_{24}^{(5)'} = 81,42, b_{15}^{(5)'} = 104,14,$$

$$b_{25}^{(5)'} = 128,99,$$

$$a_1^{(5)'} = 0, a_2^{(5)'} = 2,13, a_3^{(5)'} = 23,43, a_4^{(5)'} = 52,43, a_5^{(5)'} = 81,42,$$

$$c_1^{(5)'} = 11,36, c_2^{(5)'} = 39,41, c_3^{(5)'} = 68,4, c_4^{(5)'} = 104,14, c_5^{(5)'} = 128,99.$$

Этап 4. Далее нормируем полученные результаты с помощью (2.50)-(2.53) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (2.50) и (2.51) в п. 2.5):

$$\text{первая итерация} - k_3^{(4)} = 0,71, l_3^{(4)} = 0,71;$$

$$\text{вторая итерация} - k_3^{(5)} = 0,78, l_3^{(5)} = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (2.52) и (2.53) в п. 2.5):

первая итерация –

$$b_{11}^{(4)} = 0, b_{21}^{(4)} = 2,13, b_{12}^{(4)} = 11,36, b_{22}^{(4)} = 23,43,$$

$$b_{13}^{(4)} = 39,41, b_{23}^{(4)} = 52,43, b_{14}^{(4)} = 75,15, b_{24}^{(4)} = 100,$$

$$a_1^{(4)} = 0, a_2^{(4)} = 2,13, a_3^{(4)} = 23,43, a_4^{(4)} = 52,43,$$

$$c_1^{(4)} = 11,36, c_2^{(4)} = 39,41, c_3^{(4)} = 75,15, c_4^{(4)} = 100;$$

вторая итерация –

$$b_{11}^{(5)} = 0, b_{21}^{(5)} = 1,65, b_{12}^{(5)} = 8,81, b_{22}^{(5)} = 18,17, b_{13}^{(5)} = 30,55,$$

$$b_{23}^{(5)} = 40,64, b_{14}^{(5)} = 53,03, b_{24}^{(5)} = 63,12, b_{15}^{(5)} = 80,73, b_{25}^{(5)} = 100,$$

$$a_1^{(5)} = 0, a_2^{(5)} = 1,65, a_3^{(5)} = 18,17, a_4^{(5)} = 40,64, a_5^{(5)} = 63,12,$$

$$c_1^{(5)} = 8,81, c_2^{(5)} = 30,55, c_3^{(5)} = 53,03, c_4^{(5)} = 80,73, c_5^{(5)} = 100.$$

Для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.78)) получим значения термов, числовые экви-

валенты которых занесены в таблицу 2.13 (см. рис. 2.29 а, б).

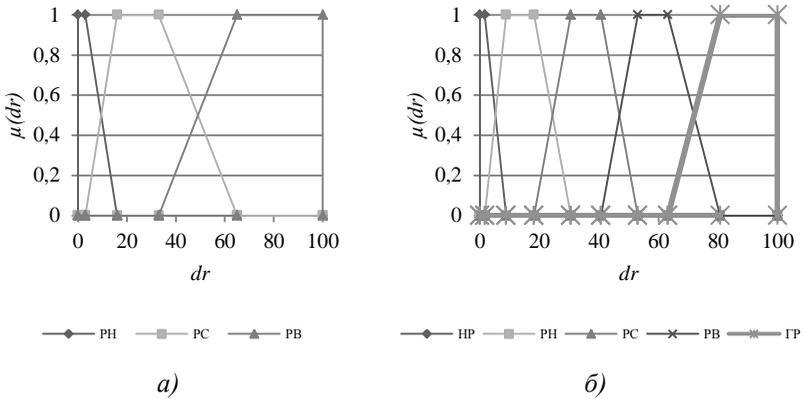


Рис. 2.29. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Далее проверим условие возрастания для $T_{DR}^{(5)}$. Процесс n -

кратного инкрементирования подразумевает добавление дополнительных термов и формирование их на тех суждениях экспертов, которые уже существуют, поэтому значения дополнительных термов могут совпадать, следовательно, необходимо сформировать частный случай условия возрастания, т.е.:

$$\Omega_6 = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} \leq b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} \leq b_{1j+2} - b_{2j+1}),$$

следовательно для $T_{DR}^{(5)}$ –

$$\Omega_e = (b_{21} - b_{11} \leq b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} \leq b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} \leq b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} \leq b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} \leq b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} \leq b_{14} - b_{23}) \wedge (b_{14} - b_{23} \leq b_{15} - b_{24}) = (1,65 - 0 \leq 18,17 - 8,81) \wedge (18,17 - 8,81 \leq 40,64 - 30,55) \wedge (40,64 - 30,55 \leq 63,12 - 53,03) \wedge (63,12 - 53,03 \leq 100 - 80,73) \wedge (8,81 - 1,65 \leq 30,55 - 18,17) \wedge (30,55 - 18,17 \leq 53,03 - 40,64) \wedge (53,03 - 40,64 \leq 80,73 - 63,12) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим, значения $\Omega_e = 1$ для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ является истинным, что

говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП $DR^{(3)}$, которые принимают значения из (2.77) и имеют числовые эквиваленты с табл. 2.12 и убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (2.11) в п. 2.1), т.е.:

$$\Omega_y = (b_{21} - b_{11} > b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} > b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) = (28 - 0 > 71 - 51) \wedge (71 - 51 > 100 - 87) \wedge (51 - 28 > 87 - 71) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(3)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствие с этапами 1-4 из (см. п. 2.5) n -кратное инкрементирование (2.44) ЛП $DR^{(3)}$.

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (2.45) и (2.46), т.е.:

первая итерация –

$$k_1^{(4)} = 20,33, k_2^{(4)} = 19,5, k^{(4)} = 39,83,$$

$$l_1^{(4)} = 20,33, l_2^{(4)} = 19,5, l^{(4)} = 39,83;$$

вторая итерация –

$$k_1^{(5)} = 14,54, k_2^{(5)} = 13,95, k^{(5)} = 28,49,$$

$$l_1^{(5)} = 14,54, l_2^{(5)} = 13,95, l^{(5)} = 28,49.$$

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по формуле (2.47), т.е.:

первая итерация – $x_1 = 28, x_2 = 20, x_3 = 13$, тогда $s=1$ при $(x_1 \geq k_1^{(4)} \geq x_2) \Rightarrow (28 \geq 20,33 \geq 20)$. В этом примере так же, как при неравномерном типе распределения, встраивание дополнительного

терма будем осуществлять после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $T_{DR}^{(3)}$;

вторая итерация – $x_1 = 20,02$, $x_2 = 14,54$, $x_3 = 14,3$, $x_4 = 9,3$, тогда $s=1$ при $(x_1 \geq k_1^{(5)} \geq x_2) \Rightarrow (20,02 \geq 14,54 \geq 14,54)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после первой вершины, т.е. между первым и вторым термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания трапеции с помощью (2.48) и (2.49), т.е.:

первая итерация –

$$b_{11}^{(4)'} = 0, b_{21}^{(4)'} = 28, b_{12}^{(4)'} = 47,57, b_{22}^{(4)'} = 67,83, b_{13}^{(4)'} = 90,83,$$

$$b_{23}^{(4)'} = 110,83, b_{14}^{(4)'} = 126,83, b_{24}^{(4)'} = 139,83,$$

$$a_1^{(4)'} = 0, a_2^{(4)'} = 28, a_3^{(4)'} = 67,83, a_4^{(4)'} = 110,83, c_1^{(4)'} = 47,5,$$

$$c_2^{(4)'} = 90,83, c_3^{(4)'} = 126,83, c_4^{(4)'} = 139,83;$$

вторая итерация –

$$b_{11}^{(5)'} = 0, b_{21}^{(5)'} = 20,02, b_{12}^{(5)'} = 33,97, b_{22}^{(5)'} = 48,51, b_{13}^{(5)'} = 62,46,$$

$$b_{23}^{(5)'} = 77, b_{14}^{(5)'} = 93,44, b_{24}^{(5)'} = 107,75, b_{15}^{(5)'} = 119,19, b_{25}^{(5)'} = 128,49,$$

$$a_1^{(5)'} = 0, a_2^{(5)'} = 20,02, a_3^{(5)'} = 48,51, a_4^{(5)'} = 77, a_5^{(5)'} = 107,75,$$

$$c_1^{(5)'} = 33,97, c_2^{(5)'} = 62,46, c_3^{(5)'} = 93,44, c_4^{(5)'} = 119,19, c_5^{(5)'} = 128,49.$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью (2.50)-(2.53) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.50) и (2.51):

$$\text{первая итерация} - k_3^{(4)} = 0,72, l_3^{(4)} = 0,72;$$

$$\text{вторая итерация} - k_3^{(5)} = 0,78, l_3^{(5)} = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью (2.52) и (2.53):

первая итерация –

$$b_{11}^{(4)} = 0, b_{21}^{(4)} = 20,02, b_{12}^{(4)} = 33,97, b_{22}^{(4)} = 48,51, b_{13}^{(4)} = 64,96,$$

$$b_{23}^{(4)} = 79,26, b_{14}^{(4)} = 90,7, b_{24}^{(4)} = 100,$$

$$a_1^{(4)} = 0, a_2^{(4)} = 20,02, a_3^{(4)} = 48,51, a_4^{(4)} = 79,26, c_1^{(4)} = 33,97,$$

$$c_2^{(4)} = 64,96, c_3^{(4)} = 90,7, c_4^{(4)} = 100;$$

вторая итерация –

$$b_{11}^{(5)} = 0, b_{21}^{(5)} = 15,58, b_{12}^{(5)} = 26,44, b_{22}^{(5)} = 37,76, b_{13}^{(5)} = 48,61,$$

$$b_{23}^{(5)} = 59,93, b_{14}^{(5)} = 72,73, b_{24}^{(5)} = 83,86, b_{15}^{(5)} = 92,76, b_{25}^{(5)} = 100,$$

$$a_1^{(5)} = 0, a_2^{(5)} = 15,58, a_3^{(5)} = 37,76, a_4^{(5)} = 59,93, a_5^{(5)} = 83,86,$$

$$c_1^{(5)} = 26,44, c_2^{(5)} = 48,61, c_3^{(5)} = 72,73, c_4^{(5)} = 92,76, c_5^{(5)} = 100.$$

В результате вычислений для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.78)) получим значения

термов, числовые эквиваленты которых занесены в таблицу 2.13 (см. рис. 2.30 а и б).

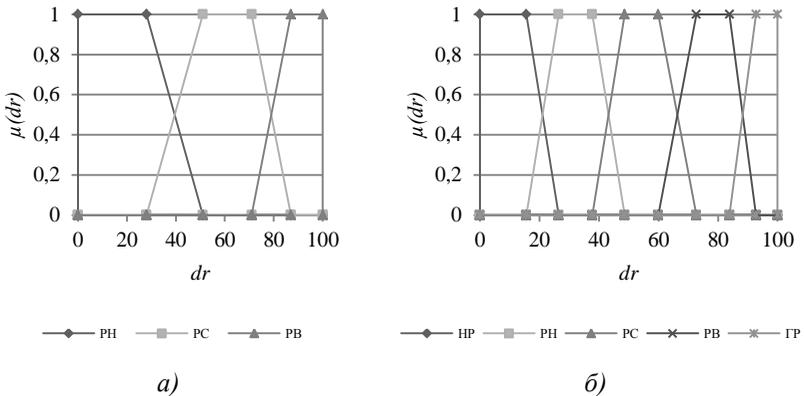


Рис. 2.30. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ для ЛП DR: а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Проверим условие убывания для $T_{DR}^{(5)}$. Здесь по аналогии с возрастающим типом распределения, необходимо сформировать частный случай условия убывания, т.е.:

$$\Omega_y = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} \geq b_{2j+1} - b_{1j+1}) \bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} \geq b_{1j+2} - b_{2j+1}),$$

следовательно для $T_{DR}^{(5)}$ –

$$\begin{aligned} \Omega_y = & (b_{21} - b_{11} \geq b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} \geq b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} \geq b_{24} - b_{14}) \\ & \wedge (b_{24} - b_{14} \geq b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} \geq b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} \geq b_{14} - b_{23}) \wedge \\ & (b_{14} - b_{23} \geq b_{15} - b_{24}) = (15,58 - 0 \geq 37,76 - 26,44) \wedge (37,76 - 26,44 \geq \\ & 59,93 - 48,61) \wedge (59,93 - 48,61 \geq 83,86 - 72,73) \wedge (83,86 - 72,73 \geq 100 \\ & - 92,76) \wedge (26,44 - 15,58 \geq 48,61 - 37,76) \wedge (48,61 - 37,76 \geq 72,73 - \\ & 59,93) \wedge (72,73 - 59,93 \geq 92,76 - 83,86) = 1 \wedge 1 = 1. \end{aligned}$$

Как видно значения $\Omega_y = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$, как и для $T_{DR}^{(3)}$ является ис-

тинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Таким образом, представленный метод реализации функции трансформирования эталонов ЛП позволяет повысить эффективность работы соответствующих систем АОР ИБ. Это осуществляется посредством решения задачи n-кратного инкрементирования числа термов трапециевидных НЧ без привлечения экспертов соответствующей предметной области. При осуществлении n-кратного инкрементирования реализуется добавления n термов на основе суждений экспертов сформированных ранее.

Таким образом, в отличие от однократного инкрементирования процесс n-кратного – подразумевает встраивание дополнительных термов и формирование их на тех суждениях экспертов, которые уже существуют, поэтому значения дополнительных термов могут совпадать, следовательно, при проверке условий убывания и возрастания были сформированные их частные случаи. Для расширения возможностей функции по реализации процесса трансформирования термов, нужно осуществить разработку соответствующих методов, использующих другие классы параметрических НЧ, например, треугольных.

2.8. Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных на треугольных нечетких числах

Разработаны средства АОР ИБ [3], которые используют нечеткую логику и ЛП на эталонных параметрических трапециевидных НЧ с фиксированным количеством терм-множеств, определенных

экспертами на этапе инициализации базовых величин при настройке соответствующих систем.

В п. 2.7 и [12] был представлен метод n -кратного инкрементирования числа термов ЛП на основе первого частного расширения базы (для трапециевидных НЧ).

Эффективность практического использования системы анализа и оценивания рисков 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 указанных систем [3] можно путем использования дополнительного типа параметрических нечетких чисел – треугольных.

Для этого осуществим соответствующие преобразования с помощью метода, в основе которого заложена аналитическая функция, позволяющая осуществлять n -кратное инкрементирование числа термов ЛП на треугольных НЧ.

Метод состоит из трех этапов, связанных с формированием, расширением и частным расширением базы [12]. Два первых этапа являются основой для n -кратного инкрементирования порядка с использованием любых типов НЧ. Совершенствование систем АОР связано с третьим этапом возможности расширения базы для треугольных чисел.

И так, если в формуле (2.76) приравняем $b_j = b_{1j} = b_{2j}$, $j = \overline{1, m}$, то получим другой тип параметрических НЧ – треугольные. В этом случае для таких чисел выражение (2.76) можем представить в виде:

$$DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5)) = FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(3)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3))))). \quad (2.80)$$

где a_j , c_j и b_j , соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания треугольника [4] (при $j = \overline{1, m}$).

По аналогии с п. 2.7 формулу (2.80) назовем вторым частным расширением базы.

Рассмотрим работу метода на конкретном примере, при этом положим в основу формулу (2.80), 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 $m=3$ (см. табл. 2.14).

Так как реализация функции $FT^{+1}(DR^{(m)})$ рассматривалась в п. 2.6, то осуществим соответствующие преобразования при $n = \overline{2,3}$.

Таблица 2.14. 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}
<i>Равномерный</i>	$(0; 0; 40)_{LR}$	$(20; 50; 80)_{LR}$	$(60; 100; 100)_{LR}$
<i>Неравномерный</i>	$(0; 0; 35)_{LR}$	$(18; 61; 85)_{LR}$	$(60; 100; 100)_{LR}$
<i>Возрастающий</i>	$(0; 0; 16)_{LR}$	$(3; 40; 65)_{LR}$	$(33; 100; 100)_{LR}$
<i>Убывающий</i>	$(0; 0; 51)_{LR}$	$(28; 70; 87)_{LR}$	$(71; 100; 100)_{LR}$

Пусть $n=2$, тогда (2.76) принимает вид:

$$DR^{(5)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3), (a_4, b_4, c_4), (a_5, b_5, c_5)) = FT^{+1}(FT^{+1}(DR^{(3)}((a_1, b_1, c_1), (a_2, b_2, c_2), (a_3, b_3, c_3)))) \quad (2.81)$$

Для дальнейших преобразований на основе заданной функции воспользуемся предложенными аналитическими выражениями (см. (2.77, 2.78)) в п. 2.7.

Пример 1 – равномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(3)}$ определяется термами из (2.77). Для определения числовых значений $T_{DR_j}, j = \overline{1,3}$ воспользуемся данными из табл. 2.14 с равномер-

ным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. (2.17) в п. 2.2):

$$\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) = (50 - 0 = 100 - 50) = 1.$$

Как видно условие равномерности истинно ($\Omega_p = 1$), следовательно ЛП $DR^{(3)}$ соответствует равномерному типу распределения (см. рис. 2.31, а, б и табл. 2.14, 2.15)).

Для реализации функции (2.80) посредством выполнения необходимых этапов (см. п. 2.6) осуществим n -кратное инкрементирование заданной в (2.80) ЛП $DR^{(5)}$ при $n=2$. Инкрементирование будем осуществлять с помощью 2-кратной итерации.

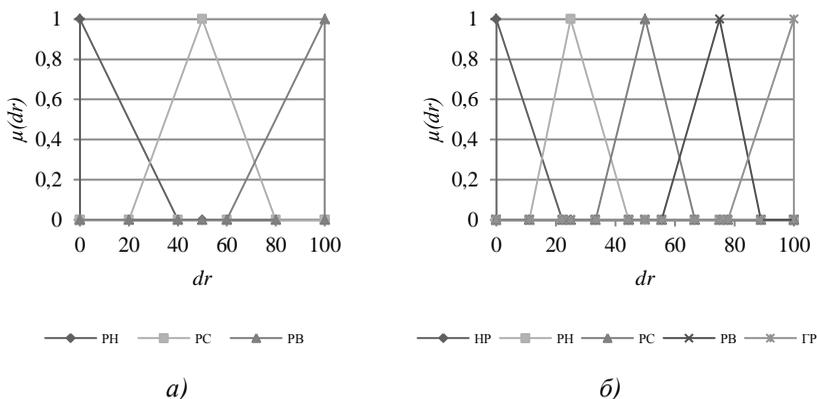


Рис. 2.31. Термы эталонных значений равномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Этап 1. Для определения корректирующих параметров воспользуемся выражениями (2.57) и (2.58) из п. 2.6:

– первая итерация –

$$k_1^{(4)} = b_{dr} / 2 = 100/2 = 50;$$

$$l_1^{(4)} = (a_2^{(3)} - a_1^{(3)} + a_3^{(3)} - c_1^{(3)} + c_3^{(3)} - c_2^{(3)}) / 3 =$$

$$(20 - 0 + 60 - 40 + 100 - 80) / 3 = 20;$$

$$l_2^{(4)} = (c_1^{(3)} - a_2^{(3)} + c_2^{(3)} - a_3^{(3)}) / 2 = (40 - 20 + 80 - 60) / 2 = 20;$$

$$l^{(4)} = l_1^{(4)} + l_2^{(4)} = 20 + 20 = 40;$$

– вторая итерация –

$$k_1^{(5)} = b_{dr} / 3 = 100/3 = 33,33;$$

$$l_1^{(5)} = (a_2^{(4)} - a_1^{(4)} + a_3^{(4)} - c_1^{(4)} + a_4^{(4)} - c_2^{(4)} + c_4^{(4)} - c_3^{(4)}) / 4 =$$

$$(14,29 - 0 + 42,86 - 28,57 + 71,43 - 57,14 + 100 - 85,71) / 4 = 14,29;$$

$$l_2^{(5)} = (c_1^{(4)} - a_2^{(4)} + c_2^{(4)} - a_3^{(4)} + c_3^{(4)} - a_4^{(4)}) / 3 =$$

$$(28,57 - 14,29 + 57,14 - 42,86 + 85,71 - 71,43) / 3 = 14,29;$$

$$l^{(5)} = l_1^{(5)} + l_2^{(5)} = 14,29 + 14,29 = 28,57.$$

Этап 2. Определение номера расширяющей вершины осуществим с помощью (2.59) из п. 2.6, т.е.:

– первая итерация –

$$x_1 = b_2^{(3)} - b_1^{(3)} = 50 - 0 = 50,$$

$$x_2 = b_3^{(3)} - b_2^{(3)} = 100 - 50 = 50.$$

Как видно $s=1+1=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(4)} \geq x_1) \Rightarrow (50 \geq 50 \geq 50)$ или $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_1) \Rightarrow (50 \leq 50 \leq 50)$. Поскольку тип распределения НЧ равномерный, то расширяющих вершин будет несколько и таким образом, в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,2}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного термина осуществим после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

– вторая итерация –

$$x_1 = b_2^{(4)} - b_1^{(4)} = 33,33 - 0 = 33,33;$$

$$x_2 = b_3^{(4)} - b_2^{(4)} = 66,66 - 33,33 = 33,33;$$

$$x_3 = b_4^{(4)} - b_3^{(4)} = 99,99 - 66,66 = 33,33.$$

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.

По аналогии с первой итерацией в качестве s можно использовать любую из j ($j = \overline{1,4}$). Исходя из этого, например, встраивание дополнительного термина осуществим после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. Используя выражения (2.60) и (2.61) из п. 2.6, вычислим значения абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ, т.е.:

– первая итерация –

$$b_1^{(4)'} = b_1^{(3)} = 0 \text{ при } 1 < 2;$$

$$b_2^{(4)'} = b_2^{(3)} = 50 \text{ при } 2 = 2;$$

$$b_3^{(4)'} = b_2^{(3)} + k_1^{(4)} = 50 + 50 = 100 \text{ при } 3 > 2;$$

$$b_4^{(4)'} = b_3^{(3)} + k_1^{(4)} = 100 + 50 = 150 \text{ при } 4 > 2.$$

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.:

$$a_1^{(4)'} = a_1^{(3)} = 0 \text{ при } 1 < 4;$$

$$a_2^{(4)'} = a_2^{(3)} = 20 \text{ при } 2 < 4;$$

$$c_1^{(4)'} = c_1^{(3)} = 40 \text{ при } 1 < 2;$$

$$a_3^{(4)'} = a_3^{(3)} = 60 \text{ при } 3 < 4;$$

$$c_2^{(4)'} = a_3^{(3)} + l_2^{(4)} = 60 + 20 = 80 \text{ при } 2 = 2;$$

$$a_4^{(4)'} = c_2^{(4)'} + l_1^{(4)} = 80 + 20 = 100 \text{ при } 4 = 4;$$

$$c_3^{(4)'} = c_2^{(3)} + l^{(4)} = 80 + 40 = 120 \text{ при } 3 > 2;$$

$$c_4^{(4)'} = c_3^{(3)} + l^{(4)} = 100 + 40 = 140 \text{ при } 4 > 2,$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(5)'} = b_1^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 2;$$

$$b_2^{(5)'} = b_2^{(4)} = 33,33 \text{ при } 2 = 2;$$

$$b_3^{(5)'} = b_2^{(4)} + k_1^{(5)} = 33,33 + 33,33 = 66,66 \text{ при } 3 > 2;$$

$$b_4^{(5)'} = b_3^{(4)} + k_1^{(5)} = 66,66 + 33,33 = 99,99 \text{ при } 4 > 2;$$

$$b_5^{(5)'} = b_4^{(4)} + k_1^{(5)} = 99,99 + 33,33 = 133,32 \text{ при } 5 > 2.$$

Аналогично вычислим абсциссы нижнего основания, т.е.:

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0 \text{ при } 1 < 4;$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 14,29 \text{ при } 2 < 4;$$

$$c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 28,57 \text{ при } 1 < 2;$$

$$a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 42,86 \text{ при } 3 < 4;$$

$$c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 42,86 + 14,29 = 57,14 \text{ при } 2 = 2;$$

$$a_4^{(5)'} = c_2^{(4)} + l_1^{(5)} = 57,14 + 14,29 = 71,43 \text{ при } 4 = 4;$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 57,14 + 28,57 = 85,71 \text{ при } 3 > 2;$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 71,43 + 28,57 = 100 \text{ при } 5 > 4;$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 85,71 + 28,57 = 114,29 \text{ при } 4 > 2;$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 100 + 28,57 = 128,57 \text{ при } 5 > 2.$$

Этап 4. С помощью выражений (2.62)-(2.65) в п. 2.6, на основе двухшаговой последовательности (при $b_{dr} = c_{dr} = 100$) осуществим нормирование полученных эталонных значений.

– первая итерация:

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.62) и (2.63) из п. 2.6:

$$k^{(4)} = b_{dr} / b_4^{(4)'} = 100/150 = 0,67;$$

$$l_3^{(4)} = c_{dr} / c_4^{(4)'} = 100/140 = 0,71.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (2.64) и (2.65) из п. 2.6:

$$b_1^{(4)} = b_1^{(4)'} \times k^{(4)} = 0 \times 0,67 = 0;$$

$$b_2^{(4)} = b_2^{(4)'} \times k^{(4)} = 50 \times 0,67 = 33,33;$$

$$b_3^{(4)} = b_3^{(4)'} \times k^{(4)} = 100 \times 0,67 = 66,66;$$

$$b_4^{(4)} = b_4^{(4)'} \times k^{(4)} = 150 \times 0,67 = 100,$$

$$a_1^{(4)} = a_1^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 0 \times 0,71 = 0;$$

$$a_2^{(4)} = a_2^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 20 \times 0,71 = 14,29;$$

$$a_3^{(4)} = a_3^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 60 \times 0,71 = 42,86;$$

$$a_4^{(4)} = a_4^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 100 \times 0,71 = 71,43;$$

$$c_1^{(4)} = c_1^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 40 \times 0,71 = 28,57;$$

$$c_2^{(4)} = c_2^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 80 \times 0,71 = 57,14;$$

$$c_3^{(4)} = c_3^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 120 \times 0,71 = 85,71;$$

$$c_4^{(4)} = c_4^{(4)'} \times l_3^{(4)} = 140 \times 0,71 = 100.$$

– вторая итерация:

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.62) и (2.63) в п. 2.6:

$$k^{(5)} = b_{dr} / b_5^{(5)'} = 100/133,33 = 0,75,$$

$$l_3^{(5)} = c_{dr} / c_5^{(5)'} = 100/128,57 = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталонные значения с помощью выражений (2.64) и (2.65) из п. 2.6:

$$b_1^{(5)} = b_1^{(5)'} \times k^{(5)} = 0 \times 0,75 = 0;$$

$$b_2^{(5)} = b_2^{(5)'} \times k^{(5)} = 33,33 \times 0,75 = 25;$$

$$b_3^{(5)} = b_3^{(5)'} \times k^{(5)} = 66,66 \times 0,75 = 50;$$

$$b_4^{(5)} = b_4^{(5)'} \times k^{(5)} = 99,99 \times 0,75 = 75;$$

$$b_5^{(5)} = b_5^{(5)'} \times k^{(5)} = 133,32 \times 0,75 = 100;$$

$$a_1^{(5)} = a_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 0 \times 0,78 = 0;$$

$$a_2^{(5)} = a_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 14,29 \times 0,78 = 11,11;$$

$$a_3^{(5)} = a_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 42,86 \times 0,78 = 33,33;$$

$$a_4^{(5)} = a_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 71,43 \times 0,78 = 55,55;$$

$$a_5^{(5)} = a_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 104,16 \times 0,78 = 77,77;$$

$$c_1^{(5)} = c_1^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 28,57 \times 0,78 = 22,22;$$

$$c_2^{(5)} = c_2^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 57,14 \times 0,78 = 44,44;$$

$$c_3^{(5)} = c_3^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 85,71 \times 0,78 = 66,66;$$

$$c_4^{(5)} = c_4^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 114,29 \times 0,78 = 88,88;$$

$$c_5^{(5)} = c_5^{(5)'} \times l_3^{(5)} = 128,57 \times 0,78 = 100.$$

В результате трансформирования термов ЛП получим, например, для $T_{DR}^{(5)}$ лингвистические значения из (2.78) и соответствующими

числовыми эквивалентами, значения которых определены на шаге 2 этапа 4 и занесены в таблицу 2.15.

Далее вычислим условие равномерности для $T_{DR}^{(5)}$ (2.17) из п. 2.2:

$$\Omega_p = (25 - 0 = 50 - 25) \wedge (50 - 25 = 75 - 50) \\ \wedge (75 - 50 = 100 - 75) = 1.$$

Таблица 2.15. Пример инкрементированных эталонных треугольных 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}
<i>Равномерный</i>	$(0; 0; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 25; 44,44)_{LR}$	$(33,34; 50; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 75; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 100; 100)_{LR}$
<i>Неравномерный</i>	$(0; 0; 19,37)_{LR}$	$(9,96; 30,5; 44,83)_{LR}$	$(33,21; 55,5; 67,16)_{LR}$	$(55,54; 80,5; 91,7)_{LR}$	$(77,86; 100; 100)_{LR}$
<i>Возрастающий</i>	$(0; 0; 8,81)_{LR}$	$(1,65; 20; 30,55)_{LR}$	$(18,17; 45; 53,03)_{LR}$	$(40,64; 70; 80,73)_{LR}$	$(63,12; 100; 100)_{LR}$
<i>Убывающий</i>	$(0; 0; 28,39)_{LR}$	$(15,58; 35; 50,37)_{LR}$	$(39,52; 60; 72,54)_{LR}$	$(61,69; 85; 92,76)_{LR}$	$(83,86; 100; 100)_{LR}$

Как видим $T_{DR}^{(5)}$ также, как и $T_{DR}^{(3)}$ имеет $\Omega_p = 1$, что говорит об

эквивалентности выполненных преобразований. Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов равномерно распределенных НЧ $T_{DR}^{(3)}$ и $T_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2.32 (а, б).

Пример 2 – неравномерный тип распределения. Пусть ЛП $DR^{(3)}$ также, как и в примере 1, определяется термами из (2.67) в п. 2.7. Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr НЧ с их числовыми эквивалентами T_{DR_j} ,

$j = \overline{1,3}$ из табл. 2.14, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. (2.18) в п. 2.2):

$$\Omega_n = (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) = (61 - 0 \neq 100 - 61) = 1.$$

Как видим условие неравномерности истинно ($\Omega_n = 1$). Это говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(3)}$ такому типу распределения, как неравномерный.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4 из (см. п. 2.7), n -кратное инкрементирование порядка ЛП $DR^{(3)}$ по выражению (2.80).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.57) и (2.58), т.е.:

– первая итерация – $k_1^{(4)} = 50$, $l_1^{(4)} = 19,33$, $l_2^{(4)} = 21$, $l^{(4)} = 40,33$;

– вторая итерация – $k_1^{(5)} = 33,33$, $l_1^{(5)} = 13,78$, $l_2^{(5)} = 14,96$, $l^{(5)} = 28,74$.

Этап 2. Здесь осуществим определение номера расширяющей вершины по формуле (2.59), т.е.:

– первая итерация – $x_1 = 61$, $x_2 = 39$, тогда $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_1) \Rightarrow (39 \leq 50 \leq 61)$. В этом примере встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

– вторая итерация – $x_1 = 33,33$, $x_2 = 40,67$, $x_3 = 26$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (40,67 \geq 33,33 \geq 33,33)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять также 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 (2.60) и (2.61), т.е.:

– первая итерация –

$$b_1^{(4)'} = b_1^{(3)} = 0;$$

$$b_2^{(4)'} = b_2^{(3)} = 61;$$

$$b_3^{(4)'} = b_2^{(3)} + k_1^{(4)} = 111;$$

$$b_4^{(4)'} = b_3^{(4)'} + k_1^{(4)} = 150,$$

$$a_1^{(4)'} = a_1^{(3)} = 0;$$

$$a_2^{(4)'} = a_2^{(3)} = 18;$$

$$a_3^{(4)'} = a_3^{(3)} = 60;$$

$$a_4^{(4)'} = c_2^{(4)'} + l_1^{(4)} = 100,33;$$

$$c_1^{(4)'} = c_1^{(3)} = 35;$$

$$c_2^{(4)'} = a_3^{(3)} + l_2^{(4)} = 81;$$

$$c_3^{(4)'} = c_2^{(3)} + l^{(4)} = 125,33;$$

$$c_4^{(4)'} = c_3^{(3)} + l^{(4)} = 140,33;$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(5)'} = b_1^{(4)} = 0;$$

$$b_2^{(5)'} = b_2^{(4)} = 40,67;$$

$$b_3^{(5)'} = b_2^{(4)} + k_1^{(5)} = 74;$$

$$b_4^{(5)'} = b_3^{(5)'} + k_1^{(5)} = 107,33;$$

$$b_5^{(5)'} = b_4^{(4)} + k_1^{(5)} = 133,33,$$

$$a_1^{(5)'} = a_1^{(4)} = 0;$$

$$a_2^{(5)'} = a_2^{(4)} = 12,83;$$

$$a_3^{(5)'} = a_3^{(4)} = 42,76;$$

$$a_4^{(5)'} = c_2^{(5)'} + l_1^{(5)} = 71,50;$$

$$a_5^{(5)'} = a_4^{(4)} + l^{(5)} = 100,24;$$

$$c_1^{(5)'} = c_1^{(4)} = 24,94;$$

$$c_2^{(5)'} = a_3^{(4)} + l_2^{(5)} = 57,72;$$

$$c_3^{(5)'} = c_2^{(4)} + l^{(5)} = 86,46;$$

$$c_4^{(5)'} = c_3^{(4)} + l^{(5)} = 118,05,.$$

$$c_5^{(5)'} = c_4^{(4)} + l^{(5)} = 128,74.$$

Этап 4. С помощью (2.62)-(2.65) (см. п. 3.6) за 2 шага осуществим нормирование полученных значений.

Шаг 1. Находим нормирующие коэффициенты с помощью (2.62) и (2.63):

– первая итерация – $k^{(4)} = 0,67, l_3^{(4)} = 0,71;$

– вторая итерация – $k^{(5)} = 0,75, l_3^{(5)} = 0,78.$

Шаг 2. Реализуем нормирование полученных эталонов согласно выражениям (2.64) и (2.65), т.е.:

– первая итерация –

$$b_1^{(4)} = 0, b_2^{(4)} = 40,67, b_3^{(4)} = 74, b_4^{(4)} = 100,$$

$$a_1^{(4)} = 0, a_2^{(4)} = 12,83, a_3^{(4)} = 42,76, a_4^{(4)} = 71,5, c_1^{(4)} = 24,94,$$

$$c_2^{(4)} = 57,72, c_3^{(4)} = 89,31, c_4^{(4)} = 100,$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(4)} = 0, b_2^{(4)} = 30,5, b_3^{(4)} = 55,5, b_4^{(4)} = 80,5, b_5^{(4)} = 100,$$

$$a_1^{(5)} = 0, a_2^{(5)} = 9,96, a_3^{(5)} = 33,21, a_4^{(5)} = 55,54, a_5^{(5)} = 77,86,$$

$$c_1^{(5)} = 19,37, c_2^{(5)} = 44,83, c_3^{(5)} = 67,16, c_4^{(5)} = 91,7, c_5^{(5)} = 100.$$

В результате инкрементирования получим, например, для $T_{DR}^{(5)}$

значения термов (2.78) (см. п. 3.7), а их числовые эквиваленты отобразим в табл. 2.15.

После проведенных преобразований вычислим Ω_n для $T_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_n = (30,5 - 0 \neq 55,5 - 30,5) \vee (55,5 - 30,5 = 80,5 - 55,5) \vee (80,5 - 55,5 \neq 100 - 80,5) = 1.$$

Условие неравномерности $T_{DR}^{(5)}$ так же, как и $T_{DR}^{(3)}$ является истинно ($\Omega_n = 1$), что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация исходных и преобразованных эталонов неравномерно распределенных НЧ $T_{DR}^{(3)}$ и $T_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 2.32 (а, б).

Пример 3 – возрастающий тип распределения. Покажем работу представленного метода для ЛП $DR^{(3)}$ с термами из (2.77) (см. п. 2.7), числовые значения которых T_{DR_j} , $j = \overline{1,3}$ из табл. 2.14

имеют возрастающий тип распределения по оси dr , т.е. для которого истинным является условие возрастания (см. (2.19) в п. 2.2):

$$\Omega_g = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) = (40 - 0 < 100 - 40) = 1.$$

Как видно, условие $\Omega_g = 1$ истинно, что говорит о соответствии НЧ ЛП $DR^{(3)}$ возрастающему типу распределения.

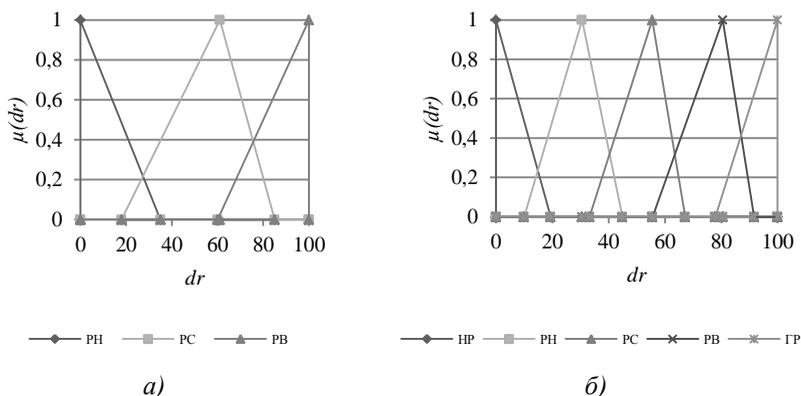


Рис. 2.32. Термы эталонных значений неравномерно распределенных НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

По аналогии с примером для равномерно распределенных НЧ произведем, в соответствии с этапами 1-4 (см. п. 2.7) преобразования (2.80).

Этап 1. Реализуем поиск корректирующих параметров по выражениям (2.57) и (2.58), т.е.:

– первая итерация – $k_1^{(4)} = 50$, $l_1^{(4)} = 18,33$, $l_2^{(4)} = 22,5$, $l^{(4)} = 40,83$;

– вторая итерация – $k_1^{(5)} = 33,33$, $l_1^{(5)} = 13,02$, $l_2^{(5)} = 15,98$, $l^{(5)} = 28,99$.

Этап 2. Теперь определим номер расширяющей вершины по формуле (2.59), т.е.:

– первая итерация – $x_1 = 40$, $x_2 = 60$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(4)} \geq x_1) \Rightarrow (60 \geq 50 \geq 40)$. Здесь встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

– вторая итерация – $x_1 = 26,67$, $x_2 = 33,33$, $x_3 = 40$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (33,33 \geq 33,33 \geq 26,67)$. Здесь встраивание дополнительного терма также будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(4)}$.

Этап 3. С помощью (2.60) и (2.61) реализуем вычисление значений абсцисс верхнего и нижнего основания треугольных НЧ, т.е.:

– первая итерация –

$$b_1^{(4)'} = 0; b_2^{(4)'} = 40; b_3^{(4)'} = 90; b_4^{(4)'} = 150,$$

$$a_1^{(4)'} = 0; a_2^{(4)'} = 3; a_3^{(4)'} = 33; a_4^{(4)'} = 73,83; c_1^{(4)'} = 16; c_2^{(4)'} = 55,5;$$

$$c_3^{(4)'} = 105,83; c_4^{(4)'} = 140,83;$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(5)'} = 0; b_2^{(5)'} = 26,67; b_3^{(5)'} = 60; b_4^{(5)'} = 93,33; b_5^{(5)'} = 133,33,$$

$$a_1^{(5)'} = 0; a_2^{(5)'} = 2,13; a_3^{(5)'} = 23,43; a_4^{(5)'} = 52,43; a_5^{(5)'} = 81,42;$$

$$c_1^{(5)'} = 11,36; c_2^{(5)'} = 39,41; c_3^{(5)'} = 68,4; c_4^{(5)'} = 104,14; c_5^{(5)'} = 128,99.$$

Этап 4. Далее нормируем полученные результаты с помощью выражений (2.62)-(2.65) в два шага.

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты (см. (2.62) и (2.63) в п. 2.6):

$$– первая итерация – $k^{(4)} = 0,67$, $l_3^{(4)} = 0,71$;$$

$$– вторая итерация – $k^{(5)} = 0,75$, $l_3^{(5)} = 0,78$.$$

Шаг 2. Нормируем полученные на этапе 3 эталоны (см. (2.64) и (2.65) в п. 2.6):

– первая итерация –

$$b_1^{(4)} = 0; b_2^{(4)} = 26,67; b_3^{(4)} = 60; b_4^{(4)} = 100,$$

$$a_1^{(4)} = 0; a_2^{(4)} = 2,13; a_3^{(4)} = 23,43; a_4^{(4)} = 52,43; c_1^{(4)} = 11,36;$$

$$c_2^{(4)} = 39,41; c_3^{(4)} = 75,15; c_4^{(4)} = 100;$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(5)} = 0; b_2^{(5)} = 20; b_3^{(5)} = 45; b_4^{(5)} = 70; b_5^{(5)} = 100,$$

$$a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 1,65; a_3^{(5)} = 18,17; a_4^{(5)} = 40,64; a_5^{(5)} = 63,12;$$

$$c_1^{(5)} = 8,81; c_2^{(5)} = 30,55; c_3^{(5)} = 53,03; c_4^{(5)} = 80,73; c_5^{(5)} = 100.$$

Для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.78) п. 2.7) получим значения термов, числовые

эквиваленты которых занесены в таблицу 2.15 (см. рис. 2.33 а, б).

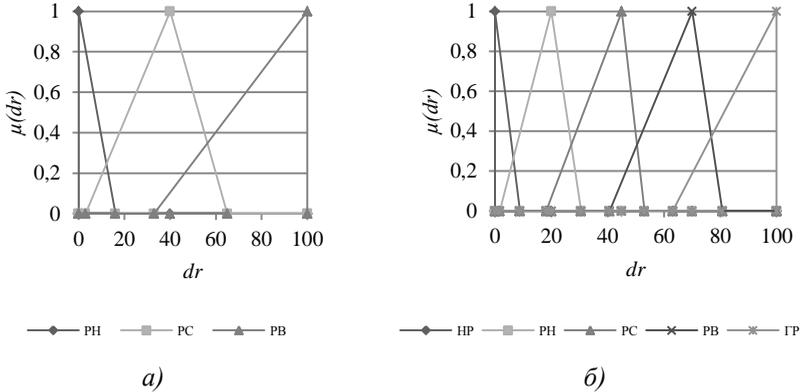


Рис. 2.33. Термы эталонных значений с возрастающим типом распределения НЧ для ЛП DR : а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$.

Далее проверим условие возрастания для $T_{DR}^{(5)}$.

Процесс n -кратного инкрементирования подразумевает добавление дополнительных термов и формирование их на тех суждениях экспертов, которые уже существуют, поэтому значения дополнительных термов могут совпадать, следовательно, необходимо сформировать частный случай условия возрастания, т.е.:

$$\Omega_e = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j \leq b_{j+2} - b_{j+1}),$$

следовательно для $T_{DR}^{(5)}$ —

$$\Omega_e = (20 - 0 \leq 45 - 20) \wedge (45 - 20 \leq 70 - 45) \wedge (70 - 45 \leq 100 - 70) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим, значения $\Omega_e = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$ является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения. Реализуем трансформирование НЧ ЛП $DR^{(3)}$, которые принимают значения из (2.77) (см. п. 2.7) и числовыми эквивалентами в табл. 2.14 и имеют убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие убывания (см. (2.20) в п. 2.2), т.е.:

$$\Omega_y = (b_2 - b_1 > b_2 - b_3) = (70 - 0 > 100 - 70) = 1.$$

Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит НЧ ЛП $DR^{(3)}$ соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствии с этапами 1-4 (см. п. 2.7) n -кратное инкрементирование (2.80) ЛП $DR^{(3)}$.

Этап 1. Определим корректирующие параметры по выражениям (2.57) и (2.58), т.е.:

– первая итерация – $k_1^{(4)} = 50$, $l_1^{(4)} = 20,33$, $l_2^{(4)} = 19,5$,
 $l^{(4)} = 39,83$;

– вторая итерация – $k_1^{(5)} = 33,33$, $l_1^{(5)} = 14,54$, $l_2^{(5)} = 13,95$,
 $l^{(5)} = 28,49$.

Этап 2. Произведем поиск номера расширяющей вершины по формуле (2.59), т.е.:

– первая итерация – $x_1 = 70$, $x_2 = 30$, тогда $s=2$ при $(x_2 \leq k_1^{(4)} \leq x_1) \Rightarrow (30 \leq 50 \leq 70)$. В этом примере также, как при неравномерном типе распределения, встраивание дополнительного терма будем осуществлять после второй вершины, т.е. между вторым и третьим термом $T_{DR}^{(3)}$;

– вторая итерация – $x_1 = 33,33$, $x_2 = 46,67$, $x_3 = 20$, тогда $s=2$ при $(x_2 \geq k_1^{(5)} \geq x_1) \Rightarrow (46,67 \geq 33,33 \geq 33,33)$. Здесь встраивание дополнительного терма также 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 (2.60) и (2.61), т.е.:

– первая итерация –

$$b_1^{(4)'} = 0; b_2^{(4)'} = 70; b_3^{(4)'} = 120; b_4^{(4)'} = 150,$$

$$a_1^{(4)'} = 0; a_2^{(4)'} = 28; a_3^{(4)'} = 71; a_4^{(4)'} = 110,83; c_1^{(4)'} = 51; c_2^{(4)'} = 90,5; \\ c_3^{(4)'} = 126,83; c_4^{(4)'} = 139,83,$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(5)'} = 0; b_2^{(5)'} = 46,67; b_3^{(5)'} = 80; b_4^{(5)'} = 113,33; b_5^{(5)'} = 133,33, \\ a_1^{(5)'} = 0; a_2^{(5)'} = 20,02; a_3^{(5)'} = 50,77; a_4^{(5)'} = 79,26; a_5^{(5)'} = 107,75; \\ c_1^{(5)'} = 36,47; c_2^{(5)'} = 64,72; c_3^{(5)'} = 93,21; c_4^{(5)'} = 119,19; c_5^{(5)'} = 128,49.$$

Этап 4. Нормируем полученные результаты с помощью выражений (2.62)-(2.65).

Шаг 1. Вычисляем нормирующие коэффициенты по выражениям (2.62) и (2.63):

$$– \text{ первая итерация } – k^{(4)} = 0,67, l_3^{(4)} = 0,72;$$

$$– \text{ вторая итерация } – k^{(5)} = 0,75, l_3^{(5)} = 0,78.$$

Шаг 2. Нормируем полученные эталоны с помощью формул (2.64) и (2.65):

– первая итерация –

$$b_1^{(4)} = 0; b_2^{(4)} = 46,67; b_3^{(4)} = 80; b_4^{(4)} = 100, \\ a_1^{(4)} = 0; a_2^{(4)} = 20,02; a_3^{(4)} = 50,77; a_4^{(4)} = 79,26; c_1^{(4)} = 36,47; \\ c_2^{(4)} = 64,72; c_3^{(4)} = 90,7; c_4^{(4)} = 100,$$

– вторая итерация –

$$b_1^{(5)} = 0; b_2^{(5)} = 35; b_3^{(5)} = 60; b_4^{(5)} = 85; b_5^{(5)} = 100, \\ a_1^{(5)} = 0; a_2^{(5)} = 15,58; a_3^{(5)} = 39,52; a_4^{(5)} = 61,69; a_5^{(5)} = 83,86; \\ c_1^{(5)} = 28,39; c_2^{(5)} = 50,37; c_3^{(5)} = 72,54; c_4^{(5)} = 92,76; c_5^{(5)} = 100.$$

В результате вычислений для $T_{DR}^{(5)}$ (см. (2.78) п. 2.7) получим

значения термов, числовые эквиваленты которых занесены в табл. 2.15 (см. рис. 2.34 а и б).

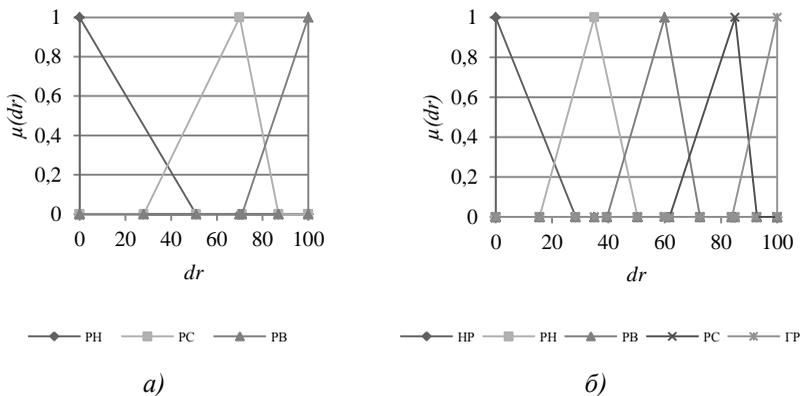


Рис. 2.34. Термы эталонных значений с убывающим типом распределения НЧ для ЛП **DR**: а) $T_{DR}^{(3)}$; б) $T_{DR}^{(5)}$

Проверим условие убывания для $T_{DR}^{(5)}$. Здесь по аналогии с воз-

растающим типом распределения, необходимо сформировать частный случай условия убывания, т.е.:

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

следовательно для $T_{DR}^{(5)}$ –

$$\Omega_y = (35 - 0 \geq 60 - 35) \wedge (60 - 35 \geq 85 - 60) \wedge (85 - 60 \geq 100 - 85) = 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно значения $\Omega_y = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$, как и для $T_{DR}^{(3)}$ является ис-

тинным, что позволяет сделать вывод об адекватности преобразований.

Таким образом, с целью совершенствования работы системы АОР ИБ, предложен метод реализации функции п-кратного инкрементирования числа термов с использованием второго частного расширения базы, в котором за счет модификации п-кратным расширением функции инкрементирования термов на один порядок, расширяется возможность формализации процесса эквивалентного

трансформирования числа эталонных термов ЛП на n порядков без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

В отличие от однократного инкрементирования процесс n -кратного инкрементирования также как и в [12] подразумевает встраивание дополнительных термов и формирование их на тех суждениях экспертов, которые уже существуют, поэтому значения дополнительных термов могут совпадать, следовательно, при проверке условий убывания и возрастания были сформированные частные случаи соответствующих условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 2

1. С. Казмирчук, «Анализ и оценивание рисков информационных ресурсов», *Защита информации*, Том 15 №1 (58), С. 37-46, 2013.
2. С. Казмирчук, «Анализа и оценивания рисков информационных ресурсов в нечетких условиях», *Защита информации*, Том 15 №2 (59), С. 133-140, 2013.
3. А. Корченко, А. Архипов, С. Казмирчук, *Анализ и оценивание рисков информационной безопасности. Монография*, Киев: ООО «Лазурит-Полиграф», 2013, с. 275.
4. А. Корченко, *Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения*, К.: МК-Пресс, 2006, с.320.
5. О. Корченко, *Системи захисту інформації. Монографія*, К.: НАУ, 2004, с. 264.
6. С. Казмирчук, «Метод трансформирования термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков информационной безопасности», *Защита информации*, Том 15, №3 (60), С. 268-276, 2013.
7. M. Al Hadidi, J. Samih Al-Azzeh, B. Akhmetov, A. Korchenko, S. Kazmirchuk and M. Zhekambayeva, «Methods of Risk Assessment for Information Security Management», *International Review on Computers and Software (IRECOS)*, vol. 11, no. 2, pp. 81-91, 2016.
8. С. Казмирчук, А. Гололобов, «Интегрированный метод анализа и оценивания рисков информационной безопасности», *Захист інформації*, Т. 16, №. 3, С. 252-261, 2014.
9. А. Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, Н. Сейлова, А. Гололобов, «Метод n-кратного понижения числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков», *Захист інформації*, Т. 16, №. 4, С. 284-291, 2014.
10. С. Казмирчук, Б. Ахметов, А. Гололобов, С. Гнатюк, Н. Сейлова, «Метод n-кратного понижения порядка лингвистических переменных на основе частного расширения базы», *Безпека інформації*, Т.20, №3, С. 306-311, 2014.
11. А.Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, А. Гололобов, «Метод реализации функции трансформирования эталонов в задачах

анализа и оценивания рисков», *Безпека інформації*, Т.21, №1, С. 104-112, 2015.

12. А. Корченко, Б. Ахметов, С. Казмирчук, М. Жекамбаева, «Метод n-кратного инкрементирования числа термов лингвистических переменных в задачах анализа и оценивания рисков», *Безпека інформації*, Т.21, №2, С. 191-200, 2015.

Глава 3. МЕТОДЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ

Для АОР безопасности РИС был проведён анализ и определено понятия риска с целью его интерпретации в области ИБ (книга 1). На основании этого предложена модель представления параметров риска (п. 1.1) в виде десятикомпонентного кортежа, а также осуществлен анализ определения его базовых понятий в сфере ИБ (книга 1) и исследован широкий спектр инструментов АОР (п. 1.2) с определением их идентифицирующих и оценочных компонент, которые в дальнейшем можно использовать для анализа и сравнения соответствующих средств. Такое исследование показало, что в основном для АОР используются статистические данные об инцидентах и угрозах ИБ.

Для эффективного решения задач АОР необходимы методы, позволяющие: использовать широкий спектр параметров, дающих возможность создавать более гибкие средства оценивания, рассчитывать риски, как на основе статистических данных, так и на экспертных оценках, сделанных в неопределенной, слабоформализованной среде, а также отражать результаты, как в числовой, так и в словесной форме, например, с использованием ЛП. При этом ЛП позволяют поставить в соответствие качественным значениям определенный количественный эквивалент [1, 2].

3.1. Аналитические выражения верификации лингвистических переменных для систем оценивания рисков информационной безопасности

Средства АОР, основывающиеся на обработке ЛП, обычно используют эталонные величины, базирующиеся на НЧ. Такие эталоны, как правило, формируются экспертами на этапе настройки системы. Часто при практическом использовании этих систем возникает необходимость в коррекции или создании (без привлечения экспертов) необходимых эталонов или осуществления их импорта с других систем. Результаты подобных преобразований (например, связанных с увеличением или уменьшением числа термов в ЛП) должны быть максимально приближены к исходным величинам, т.е. отображать их определенные начальные свойства. Для провер-

ки эквивалентности свойств ЛП до и после их функционального преобразования необходим соответствующий инструментарий.

В связи с этим, необходимо создать аналитические выражения для верификации эквивалентности функционального преобразования ЛП на трапецевидных и треугольных НЧ.

Для этого введем множество базовых бинарных (т.е. их значение может соответствовать «0» или «1») аналитических выражений, характеризующих такое свойство ЛП (сформированных на основе существующих классов НЧ [1, 2]), как *распределение*:

$$\Omega = \left\{ \bigcup_{i=1}^q \Omega_i \right\} = \{ \Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_i, \dots, \Omega_q \}, \quad (3.1)$$

где $\Omega_i \subseteq \Omega$ ($i = \overline{1, q}$) – подмножество аналитических выражений, характеризующих свойство распределения ЛП для i -го класса НЧ, а q – количество различных классов НЧ. Подмножество Ω_i можем представить в следующем виде:

$$\Omega_i = \left\{ \bigcup_{ta=1}^{k_i} \Omega_{i,ta} \right\} = \{ \Omega_{i,1}, \Omega_{i,2}, \dots, \Omega_{i,ta}, \dots, \Omega_{i,k_i} \}, \quad (3.2)$$

где $\Omega_{i,ta} \subseteq \Omega_i$ ($ta = \overline{1, k_i}$) – элементы подмножества Ω_i , отображающие аналитические выражения для проверки эквивалентности преобразований ЛП, а k_i – количество типов распределения ЛП для i -го класса НЧ.

При этом, если $\Omega_{i,ta} = 1$, то значение аналитического выражения истинно, в противном случае при $\Omega_{i,ta} = 0$ – ложно. Другими словами, если аналитическое выражение для определенного класса НЧ является истинным, то и истинным является его тип распределения для соответствующей ЛП, а в противном случае – ложным. Далее, с учетом (3.2), выражение (3.1) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \Omega = \left\{ \bigcup_{i=1}^q \Omega_i \right\} &= \left\{ \bigcup_{i=1}^q \left\{ \bigcup_{ta=1}^{k_i} \Omega_{i,ta} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^q \{ \Omega_{i,1}, \Omega_{i,2}, \dots, \Omega_{i,ta}, \dots, \Omega_{i,k_i} \} \right\} = \\ &= \{ \{ \Omega_{1,1}, \Omega_{1,2}, \dots, \Omega_{1,ta}, \dots, \Omega_{1,k_1} \}, \{ \Omega_{2,1}, \Omega_{2,2}, \dots, \Omega_{2,ta}, \dots, \Omega_{2,k_2} \}, \dots, \\ & \{ \Omega_{q,1}, \Omega_{q,2}, \dots, \Omega_{q,ta}, \dots, \Omega_{q,k_q} \} \}. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Рассмотрим формирование соответствующих аналитических выражений на конкретном примере, при этом в качестве свойств ЛП предлагается ввести четыре типа ее распределения относительно оси абсцисс – это равномерный, неравномерный, возрастающий и убывающий типы. Далее, пусть $q=2$ и $k_1=k_2=4$, тогда Ω с учетом (3.3) будет иметь следующий вид:

$$\Omega = \left\{ \bigcup_{i=1}^2 \Omega_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^2 \left\{ \bigcup_{ta=1}^{k_i} \Omega_{i,ta} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^2 \{ \Omega_{i,1}, \Omega_{i,2}, \Omega_{i,3}, \Omega_{i,4} \} = \right. \quad (3.4)$$

$$\left. \{ \{ \Omega_{1,1}, \Omega_{1,2}, \Omega_{1,3}, \Omega_{1,4} \}, \{ \Omega_{2,1}, \Omega_{2,2}, \Omega_{2,3}, \Omega_{2,4} \} \right\},$$

где при $i=1$ и $i=2$ соответственно класс НЧ, используемых для построения ЛП является трапециевидным и треугольным [1], а элементы $\Omega_{i,1}, \Omega_{i,2}, \Omega_{i,3}, \Omega_{i,4}$ ($i = \overline{1,2}$) отражают бинарные аналитические выражения, характеризующие соответственно равномерный, неравномерный, возрастающий и убывающий тип распределения ЛП для i -го класса НЧ и соответственно обозначаются $\Omega_{i,p}, \Omega_{i,n}, \Omega_{i,\varepsilon}$ и $\Omega_{i,y}$. Для трапециевидных НЧ (при $i=1$) аналитические выражения верификации типа распределения ЛП можно представить в следующем виде:

$$\Omega_{1,ta} = \left\{ \begin{array}{l} \Omega_{1,p} = \left(\bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} = b_{2j+1} - b_{1j+1}) \right) \wedge \\ \quad \left(\bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} = b_{1j+2} - b_{2j+1}) \right), \text{ } npu \text{ } ta = 1; \\ \Omega_{1,n} = \left(\bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} \neq b_{2j+1} - b_{1j+1}) \right) \vee \\ \quad \left(\bigvee_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} \neq b_{1j+2} - b_{2j+1}) \right), \text{ } npu \text{ } ta = 2; \\ \Omega_{1,\varepsilon} = \left(\bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} < b_{2j+1} - b_{1j+1}) \right) \wedge \\ \quad \left(\bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} < b_{1j+2} - b_{2j+1}) \right), \text{ } npu \text{ } ta = 3; \\ \Omega_{1,y} = \left(\bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{2j} - b_{1j} > b_{2j+1} - b_{1j+1}) \right) \wedge \\ \quad \left(\bigwedge_{j=1}^{m-2} (b_{1j+1} - b_{2j} > b_{1j+2} - b_{2j+1}) \right), \text{ } npu \text{ } ta = 4, \end{array} \right. \quad (3.5)$$

где $\Omega_{1,ta}$ (см. (3.4)) – элементы подмножества аналитических выражений для верификации типов распределения ЛП на трапециевидных НЧ, т.е. (см. (3.4)):

$$\Omega_1 = \left\{ \bigcup_{ta=1}^{k_1=4} \Omega_{1,ta} \right\} = \{\Omega_{1,1}, \Omega_{1,2}, \Omega_{1,3}, \Omega_{1,4}\} = \{\Omega_{1,p}, \Omega_{1,h}, \Omega_{1,e}, \Omega_{1,y}\},$$

а символы « \Rightarrow », « \neq », « \langle » и « \rangle » в подконъюнктивных и поддизъюнктивных выражениях используются для соответствующей проверки соотношений двух разностей, т.е. если соотношение истинно, то выражение во внутренних круглых скобках эквивалентно логической единицы, в противном случае – нулю.

Например, пусть ЛП K_{EP_i} «Уровень оценочного параметра EP_i » определяется $m=4$ термами, представленными в табл. 3.1 и на рис. 3.1 с равномерным типом распределения ЛП:

$$K_{EP_i}^{(4)} \{ \underline{T}_{K_{EP_1}}, \underline{T}_{K_{EP_2}}, \underline{T}_{K_{EP_3}}, \underline{T}_{K_{EP_4}} \},$$

где термы $\bigcup_{j=1}^4 \underline{T}_{K_{EP_j}} = \{ \underline{T}_{K_{EP_1}}, \underline{T}_{K_{EP_2}}, \underline{T}_{K_{EP_3}}, \underline{T}_{K_{EP_4}} \} = \{ \underline{L}, \underline{M}, \underline{H}, \underline{C} \}$, а L ,

M , H и C соответственно определяется как «Низкий», «Средний», «Высокий» и «Критический» [3, 4].

Равномерный тип распределения ЛП (3.5) при $k_1=4$ и $ta=1$ характерен для эталонных значений ЛП, все термы которых отражают одинаковое предпочтение эксперта относительно указанного оценочного параметра. На основании выражения (3.5) осуществим верификацию равномерного типа распределения ЛП при $k_1=4$ и $ta=1$:

$$\Omega_{1,p} = ((b_{21} - b_{11} = b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} = b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} = b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} = b_{25} - b_{15})) \wedge ((b_{12} - b_{21} = b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} = b_{14} - b_{23})) = ((1,43 - 0 = 4,29 - 2,86) \wedge (4,29 - 2,86 = 7,15 - 5,72) \wedge (7,15 - 5,72 = 10,01 - 8,58)) \wedge ((2,86 - 1,43 = 5,72 - 4,29) \wedge (5,72 - 4,29 = 8,58 - 7,15)) = (1 \wedge 1 \wedge 1) \wedge (1 \wedge 1) = 1.$$

Как видно по полученному результату, эталонная ЛП на трапециевидных НЧ из табл. 3.1 соответствует равномерному типу распределения.

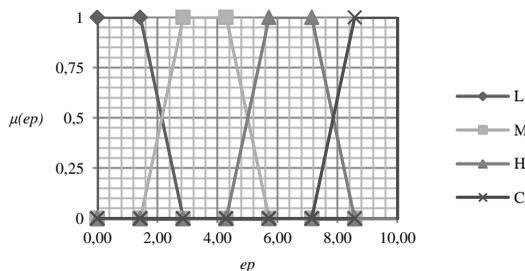


Рис. 3.1. Термы эталонных значений трапецевидных НЧ с равномерным типом распределения ЛП \mathbf{K}_{EP_j} при $m=4$ для $\underline{z}_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

Неравномерный тип распределения ЛП (3.5) при $k_1=4$ и $ta=2$, характерен для эталонных значений ЛП, в которых хотя бы один терм отражает не одинаковое предпочтение эксперта относительно любого другого терма конкретного оценочного параметра.

Таблица 3.1. Пример эталонных трапецевидных НЧ

Тип распределения ЛП \mathbf{K}_{EP_j}	НЧ $\underline{z}_{K_{EP_j}} = (a_{1j}; b_{1j}; b_{2j}; c_{1j})_{LR}$ ($j = \overline{1, 4}$)			
	$\underline{z}_{K_{EP_1}}$	$\underline{z}_{K_{EP_2}}$	$\underline{z}_{K_{EP_3}}$	$\underline{z}_{K_{EP_4}}$
Равномерный	$(0; 0; 1,43; 2,86)_{LR}$	$(1,43; 2,86; 4,29; 5,72)_{LR}$	$(4,29; 5,72; 7,15; 8,58)_{LR}$	$(7,14; 8,58; 10,01; 10,01)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 0,5; 0,9)_{LR}$	$(0,5; 0,9; 1,6; 3)_{LR}$	$(1,6; 3; 6; 8,5)_{LR}$	$(6; 8,5; 10; 10)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 0,3; 1)_{LR}$	$(0,3; 1; 1,8; 2,8)_{LR}$	$(1,8; 2,8; 4,4; 7)_{LR}$	$(4,4; 7; 10; 10)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 3,2; 5,2)_{LR}$	$(3,2; 5,2; 6,8; 8,2)_{LR}$	$(6,8; 8,2; 9,2; 9,7)_{LR}$	$(9,2; 9,7; 10; 10)_{LR}$

Например, пусть ЛП \mathbf{K}_{EP_j} , определяемая термами (при $m=4$), представленными в табл. 3.1 и на рис. 3.2 имеет неравномерный тип распределения.

Используя (3.5), осуществим проверку неравномерного типа распределения ЛП при $k_1=4$ и $ta=2$:

$$\begin{aligned} \Omega_{1,н} = & ((b_{21} - b_{11} \neq b_{22} - b_{12}) \vee (b_{22} - b_{12} \neq b_{23} - b_{13}) \vee \\ & (b_{23} - b_{13} \neq b_{24} - b_{14})) \vee ((b_{12} - b_{21} \neq b_{13} - b_{22}) \vee \\ & (b_{13} - b_{22} \neq b_{14} - b_{23})) = ((0,5 - 0 \neq 1,6 - 0,9) \vee \\ & (1,6 - 0,9 \neq 6 - 3) \vee (6 - 3 \neq 10 - 8,5)) \vee \\ & ((0,9 - 0,5 \neq 3 - 1,6) \vee (3 - 1,6 \neq 8,5 - 6)) = \end{aligned}$$

$$(1 \vee 1 \vee 1) \vee (1 \vee 1) = 1.$$

Как видим $\Omega_{1,n} = 1$, что говорит о соответствии ЛП K_{EP_i} такому типу распределения как неравномерный.

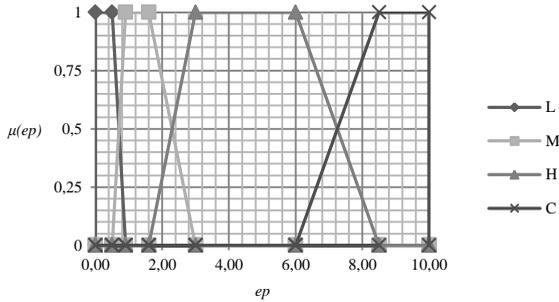


Рис. 3.2. Термы эталонных значений трапецевидных НЧ с неравномерным типом распределения ЛП K_{EP_i} при $m=4$ для $T_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

Далее, например, пусть ЛП K_{EP_i} определяется термами (при $m=4$), представленными в табл. 3.1 и на рис. 3.3, имеет возрастающий тип распределения.

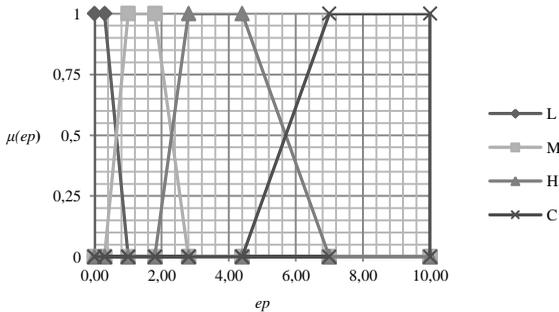


Рис. 3.3. Термы эталонных значений трапецевидных НЧ с возрастающим типом распределения ЛП K_{EP_i} при $m=4$ для $T_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

С помощью выражения (3.5) реализуем верификацию возрастающего типа распределения ЛП при $k_1=4$ и $ta=3$:

$$\Omega_{1,6} = ((b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14})) \wedge ((b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23})) = ((0,3 - 0 < 1,8 - 1) \wedge (1,8 - 1 < 4,4 - 2,8) \wedge (4,4 - 2,8 < 10 - 7)) \wedge ((1 - 0,3 < 2,8 - 1,8) \wedge (2,8 - 1,8 < 7 - 4,4)) = (1 \wedge 1 \wedge 1) \wedge (1 \wedge 1) = 1.$$

Как видно по полученному результату, $\Omega_{1,6} = 1$ при $k_1=4$ и $ta=3$, что говорит о соответствии ЛП возрастающему типу распределения.

И, наконец, пусть ЛП K_{EP_i} определяется термами (при $m=4$), представленными в табл. 3.1 и на рис. 3.4, имеет убывающий тип распределения. Проверим с помощью выражения (3.5) убывающий тип распределения ЛП при $k_1 = 4$ и $ta = 4$:

$$\Omega_{1,y} = ((b_{21} - b_{11} > b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} > b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} > b_{24} - b_{14})) \wedge ((b_{12} - b_{21} > b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} > b_{14} - b_{23})) = ((3,2 - 0 > 6,8 - 5,2) \wedge (6,8 - 5,2 > 9,2 - 8,2) \wedge (9,2 - 8,2 > 10 - 9,7)) \wedge ((5,2 - 3,2 > 8,2 - 6,8) \wedge (8,2 - 6,8 > 9,7 - 9,2)) = (1 \wedge 1 \wedge 1) \wedge (1 \wedge 1) = 1.$$

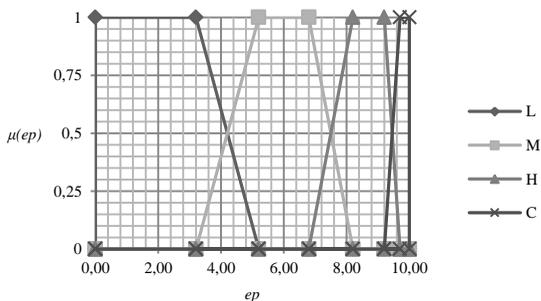


Рис. 3.4. Термы эталонных значений трапециевидных НЧ с убывающим типом распределения ЛП K_{EP_i} при $m=4$ для $T_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

Как видим, $\Omega_{1,y}$ (3.5) при $k_1=4$ и $ta=4$ истинно, значит ЛП K_{EP_i} соответствует убывающему типу распределения.

Для треугольных НЧ (при $i=2$) бинарные аналитические выражения верификации типа распределения ЛП можно представить в следующем виде:

$$\Omega_{2,ta} = \begin{cases} \Omega_{2,p} = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j = b_{j+2} - b_{j+1}), \text{ нпу } ta = 1; \\ \Omega_{2,н} = \bigvee_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j \neq b_{j+2} - b_{j+1}), \text{ нпу } ta = 2; \\ \Omega_{2,г} = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j < b_{j+2} - b_{j+1}), \text{ нпу } ta = 3; \\ \Omega_{2,у} = \bigwedge_{j=1}^{m-1} (b_{j+1} - b_j > b_{j+2} - b_{j+1}), \text{ нпу } ta = 4, \end{cases} \quad (3.6)$$

где $\Omega_{2,ta}$ (см. (3.4)) – элементы подмножества аналитических выражений для верификации типов распределения ЛП на треугольных НЧ, т.е.:

$$\Omega_2 = \left\{ \bigcup_{ta=1}^{k_2} \Omega_{2,ta} \right\} = \{ \Omega_{2,1}, \Omega_{2,2}, \Omega_{2,3}, \Omega_{2,4} \} = \{ \Omega_{2,p}, \Omega_{2,н}, \Omega_{2,г}, \Omega_{2,у} \},$$

а символы « \Rightarrow », « \neq », « $<$ » и « $>$ » выполняют функции по аналогии с (3.5).

Например, пусть ЛП K_{EP_i} «Уровень оценочного параметра EP_i » определяется термами при $m=4$, представленными в табл. 3.2 и на рис. 3.5 с равномерным типом распределения.

Таблица 3.2. Пример эталонных треугольных НЧ

Тип распределения ЛП K_{EP_i}	НЧ $\underline{T}_{K_{EP_j}} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,4})$			
	$\underline{T}_{K_{EP_1}}$	$\underline{T}_{K_{EP_2}}$	$\underline{T}_{K_{EP_3}}$	$\underline{T}_{K_{EP_4}}$
<i>Равномерный</i>	$(0; 0; 2,86)_{LR}$	$(1,43; 3,33; 5,72)_{LR}$	$(4,29; 6,66; 8,58)_{LR}$	$(7,15; 9,99; 10,01)_{LR}$
<i>Неравномерный</i>	$(0; 0; 1)_{LR}$	$(1; 3; 3)_{LR}$	$(2; 8; 9)_{LR}$	$(6; 10; 10)_{LR}$
<i>Возрастающий</i>	$(0; 0; 1)_{LR}$	$(0,3; 1; 2,8)_{LR}$	$(1,8; 4; 7)_{LR}$	$(4,4; 10; 10)_{LR}$
<i>Убывающий</i>	$(0; 0; 5,2)_{LR}$	$(3,2; 5; 8,2)_{LR}$	$(6,8; 9; 9,7)_{LR}$	$(9,2; 10; 10)_{LR}$

С помощью (3.6) осуществим верификацию равномерного типа распределения ЛП при $k_2=4$ и $ta=1$:

$$\Omega_{2,p} = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 = b_4 - b_3) = (3,33 - 0 = 6,66 - 3,33) \wedge (6,66 - 3,33 = 9,99 - 6,66) = 1 \wedge 1 = 1.$$

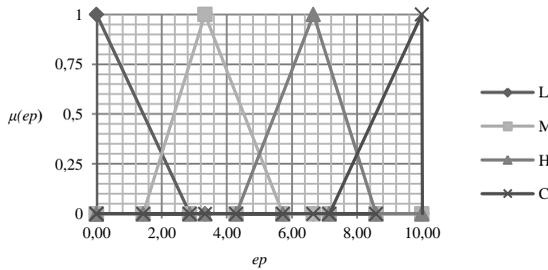


Рис. 3.5. Термы эталонных значений треугольных НЧ с равномерным типом распределения ЛП K_{EP_j} при $m=4$ для $T_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

Как видим, $\Omega_{2,p} = 1$ (значение истинно), следовательно ЛП K_{EP_j} имеет равномерный тип распределения.

Проверим с помощью (3.6) неравномерный тип распределения ЛП (см. табл. 3.2 и рис. 3.6) при $k_2=4$ и $ta=2$:

$$\Omega_{2,n} = (b_2 - b_1 \neq b_3 - b_2) \vee (b_3 - b_2 \neq b_4 - b_3) = (3 - 0 \neq 8 - 3) \vee (8 - 3 \neq 10 - 8) = 1 \vee 1 = 1.$$

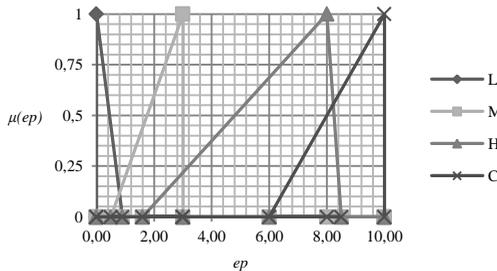


Рис. 3.6. Термы эталонных значений треугольных НЧ с неравномерным типом распределения ЛП K_{EP_j} при $m=4$ для $T_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

Из результатов вычисления видно, что оно истинно ($\Omega_{2,n}=1$), и это говорит о соответствии ЛП K_{EP_j} такому типу распределения

как неравномерный. Проверим возрастающий тип распределения (рис. 3.7) ЛП из табл. 3.2 при $k_2=4$ и $ta=3$:

$$\Omega_{2,e} = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 < b_4 - b_3) = (1 - 0 < 4 - 1) \wedge (4 - 1 < 10 - 4) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Здесь $\Omega_{2,e}=1$ – истинно, что подтверждает соответствие ЛП возрастающему типу распределения.

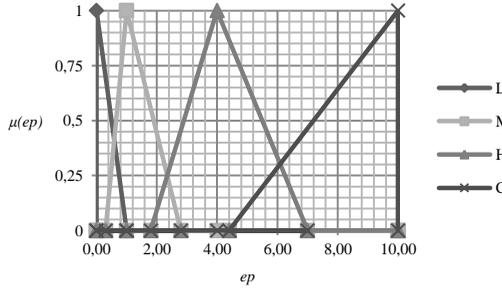


Рис. 3.7. Термы эталонных значений треугольных НЧ с возрастающим

типом распределения ЛП K_{EP_j} при $m=4$ для $\overline{T_{K_{EP_j}}}$ ($j = \overline{1, m}$)

Произведем соответствующую проверку при $k_2=4$ и $ta=4$ убывающего типа распределения ЛП на треугольных НЧ (см. табл. 3.2 и рис. 3.8):

$$\Omega_{2,y} = (b_2 - b_1 > b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 > b_4 - b_3) = (5 - 0 > 9 - 5) \wedge (9 - 5 > 10 - 9) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно $\Omega_{2,y}=1$, т.е. (3.6) при $k_2=4$ и $ta=4$ истинно, значит ЛП K_{EP_j} соответствует убывающему типу распределения.

Таким образом, в работе предложено базовые аналитические выражения, которые, за счет комбинации арифметических и логических операций с операциями сравнения над ключевыми значениями определенных классов НЧ, позволяют проверить свойства равномерности, неравномерности, возрастания и убывания ЛП до и после их функционального преобразования. Аналогичным образом можно сформировать конкретные аналитические выражения для других классов НЧ и возможные типы распределения.

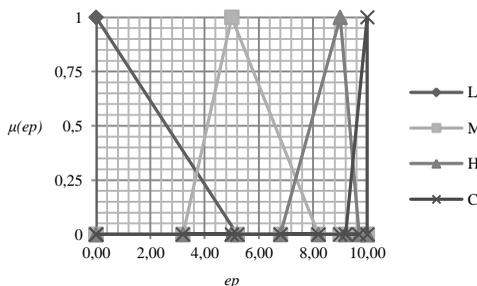


Рис. 3.8. Термы эталонных значений треугольных НЧ с убывающим типом распределения ЛП K_{EP_j} при $m=4$ для $\tilde{T}_{K_{EP_j}}$ ($j = \overline{1, m}$)

3.2. Метод преобразования интервалов в трапециевидные нечеткие числа

Предложены методы АОР ИБ [2] в которых для отображения общего результата оценки используются ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА»

(DR), которая определяется кортежем [2] $\langle DR, \underline{T}_{DR}, X_{DR} \rangle$, его осно-

ву составляют термы $\tilde{T}_{DR} = \bigcup_{j=1}^m \tilde{T}_{DR_j}$, для каждого из которых опреде-

ляется соответствующий интервал значений

$$[dr_1; dr_2], \dots, [dr_j; dr_{j+1}], \dots, [dr_m; dr_{m+1}] [2].$$

Интерпретация интервалов реализуется экспертами на основе своих заключений. На практике возникают ситуации, когда такая интерпретация (в дальнейшем АОР) может привести к неточностям при расчёте конечных результатов из-за несогласованности мнений или ошибки экспертов. Поэтому автоматизацию этого процесса, для минимизации такого рода ошибок, предлагается осуществлять с помощью разработки метода преобразования интервалов в НЧ, который в дальнейшем позволит повысить эффективность такого процесса трансформации и сведёт к минимуму влияния человеческого фактора.

Так как в указанных системах [2] чаще всего для реализации процесса анализа и оценивания рисков используются трапециевидные

НЧ, реализуем преобразование интервалов в НЧ вида $T_j = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)$, где T_j – терм-множества ($j = \overline{1, m}$, m – количество термов); a_j, c_j и b_{1j}, b_{2j} – соответственно абсциссы нижнего и верхнего основания трапециевидного НЧ.

Работу метода по преобразованию интервалов представим в виде выполнения последовательности следующих этапов:

Этап 1 – Определение корректирующих параметров:

$$h_j = \frac{k_{j+1} - k_j}{m - 1}, \quad (3.7)$$

где k_j – числовые значения интервалов для оценивания риска ($j = \overline{1, m}$).

Этап 2 – Вычисление значений абсцисс НЧ:

$$\begin{aligned} a'_j &= k_j - h_j; \\ c'_j &= k_{j+1} + h_j; \\ b'_{1j} &= k_j + h_j; \\ b'_{2j} &= k_{j+1} - h_j. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Этап 3 – Определение базового значения сдвига и поправка термов:

$$sf = b'_{11} - k_1, \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} a''_j &= a'_j - sf; \\ c''_j &= c'_j - sf; \\ b''_{1j} &= b'_{1j} - sf; \\ b''_{2j} &= b'_{2j} - sf, \end{aligned} \quad (3.10)$$

где sf – параметр сдвига.

Этап 4 – Нормирование результирующих НЧ:

$$\begin{aligned}
 a_j &= (a_j'' \times k_{m+1}) / b_{2m}'' ; \\
 c_j &= (c_j'' \times k_{m+1}) / b_{2m}'' ; \\
 b_{1j} &= (b_{1j}'' \times k_{m+1}) / b_{2m}'' ; \\
 b_{2j} &= (b_{2j}'' \times k_{m+1}) / b_{2m}'' ,
 \end{aligned}
 \tag{3.11}$$

где $j = \overline{1, m}$.

При этом

$$\bigvee_{j=1}^m (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j) < 0,$$

соответственно $a_j = b_{1j} = b_{2j} = c_j = 0$, а

$$\bigvee_{j=1}^m (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j) > k_{m+1},$$

соответственно $a_j = b_{1j} = b_{2j} = c_j = k_{m+1}$.

Рассмотрим работу метода на конкретном примере. В качестве исходных данных, с учетом возможности дальнейшей верификации, будем использовать интервалы с равномерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=5$ (см. таблицу 3.3).

Таблица 3.3. Пример интервалов значений при $m=5$ (для трапециевидных НЧ)

Тип распределения	$[dr_1; dr_2[, \dots , [dr_j; dr_{j+1}[, \dots , [dr_m; dr_{m+1}[$				
	$]dr_1; dr_2[$	$[dr_2; dr_3[$	$[dr_3; dr_4[$	$[dr_4; dr_5[$	$[dr_5; dr_6[$
Равномерный	]0; 20[	[20; 40[	[40; 60[	[60; 80[	[80; 100[
Неравномерный	]0; 18[	[18; 35[	[35; 58[	[58; 85[	[85; 100[
Возрастающий	]0; 3[	[3; 16[	[16; 33[	[33; 65[	[65; 100[
Убывающий	]0; 28[	[28; 51[	[51; 71[	[71; 87[	[87; 100[

Пример 1 – равномерный тип распределения (для трапециевидных НЧ)

Пусть ЛП DR определяется интервалами из таблицы 3.3. Для определения числовых значений T_{DR_j} , $j = \overline{1, 5}$ воспользуемся дан-

ными из табл. 3.3 с равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. п. 3.1):

$$\Omega_p = (dr_2 - dr_1 = dr_3 - dr_2) \wedge (dr_3 - dr_2 = dr_4 - dr_3) \wedge (dr_4 - dr_3 = dr_5 - dr_4) \wedge (dr_5 - dr_4 = dr_6 - dr_5) = (20 - 0 = 40 - 20) \wedge (40 - 20 = 60 - 40) \wedge (60 - 40 = 80 - 60) \wedge (80 - 60 = 100 - 80) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно условие равномерности истинно ($\Omega_p = 1$), следовательно, интервалы **DR** соответствуют равномерному типу распределения.

Для реализации трансформирования представленных интервалов, осуществим преобразования согласно (3.7)-(3.11).

Этап 1.

С помощью выражения (3.7) получим значения корректирующих параметров при $m=5$,

$$h_1 = \frac{k_2 - k_1}{4} = (20-0) / 4 = 5; h_2 = 5; h_3 = 5; h_4 = 5; h_5 = 5.$$

Этап 2.

Вычислим значений абсцисс по формуле (3.8):

$$a'_1 = k_1 - h_1 = 0 - 5 = -5; a'_2 = k_2 - h_2 = 15;$$

$$a'_3 = k_3 - h_3 = 35; a'_4 = 55; a'_5 = 75;$$

$$c'_1 = k_2 + h_1 = 25; c'_2 = 45; c'_3 = 65; c'_4 = 85; c'_5 = 105;$$

$$b'_{11} = k_1 + h_1 = 5; b'_{21} = k_2 - h_1 = 15; b'_{12} = 25; b'_{22} = 35; b'_{13} = 45; b'_{23} = 55;$$

$$b'_{14} = 65; b'_{24} = 75; b'_{15} = 85; b'_{25} = 95.$$

Этап 3.

Определим базовые значения сдвига по (3.9): $sf = b'_{11} - k_1 = 5 - 0 = 5$ и далее выполним поправку термов с учетом sf и применением (3.10), т.е.

$$a''_1 = a'_1 - sf = -5 - 5 = -10; a''_2 = 10; a''_3 = 30; a''_4 = 50; a''_5 = 70;$$

$$c''_1 = c'_1 - sf = 20; c''_2 = 40; c''_3 = 60; c''_4 = 80; c''_5 = 100;$$

$$b''_{11} = b'_{11} - sf = 0; b''_{21} = 10; b''_{12} = 20; b''_{22} = 30; b''_{13} = 40; b''_{23} = 50; b''_{14} = 60;$$

$$b''_{24} = 70; b''_{15} = 80; b''_{25} = 90.$$

Этап 4.

Реализуем нормирование результатов на основе (3.11):

$$a_1 = (a''_1 \times k_6) / b''_{25} = -11; a_2 = 11; a_3 = 33,33; a_4 = 55,55; a_5 = 77,77;$$

$$c_1 = (c''_1 \times k_6) / b''_{25} = 22,22; c_2 = 44,44;$$

$$c_3 = 66,66; c_4 = 88,88; c_5 = 111,111;$$

$$b_{11} = (b_{11}'' \times k_6) / b_{25}'' = 0; b_{21} = (b_{21}'' \times k_6) / b_{25}'' = 11,11 \text{ и т.д.}$$

По условию из (3.11) $a_1 = 0$, а $c_5 = 100$. Все полученные в результате вычисления значения занесем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4. Трапециевидные НЧ преобразованные из интервалов

Тип распределения НЧ	НЧ $T_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	T_{DR_1}	T_{DR_2}	T_{DR_3}	T_{DR_4}	T_{DR_5}
Равномерный	$(0; 0; 11,11; 22,22)_{LR}$	$(11,11; 22,22; 33,33; 44,44)_{LR}$	$(33,34; 44,44; 55,55; 66,66)_{LR}$	$(55,55; 66,66; 77,77; 88,88)_{LR}$	$(77,77; 88,88; 100; 100)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 9,81; 19,62)_{LR}$	$(10,08; 19,35; 28,61; 37,88)_{LR}$	$(26,96; 39,51; 52,04; 64,58)_{LR}$	$(50,95; 65,67; 80,38; 95,09)_{LR}$	$(83,65; 91,83; 100; 100)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 1,66; 3,32)_{LR}$	$(0; 6,08; 13,26; 20,44)_{LR}$	$(12,16; 21,55; 30,94; 40,33)_{LR}$	$(26,8; 44,48; 62,16; 79,83)_{LR}$	$(61,33; 80,66; 100; 100)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 15,6; 31,2)_{LR}$	$(16,99; 29,81; 42,62; 55,43)_{LR}$	$(43,45; 54,6; 65,74; 76,88)_{LR}$	$(66,85; 75,77; 84,68; 93,0)_{LR}$	$(85,52; 92,76; 100; 100)_{LR}$

Для проверки равномерности НЧ воспользуемся условием равномерности из п. 3.1 для $T_{DR}^{(5)}$:

$$\Omega_p = (11,11 - 0 = 33,33 - 22,22) \wedge (33,33 - 22,22 = 55,55 - 44,44) \wedge (55,55 - 44,44 = 77,77 - 66,66) \wedge (77,77 - 66,66 = 100 - 88,88) \wedge (22,22 - 11,11 = 44,44 - 33,33) \wedge (44,44 - 33,33 = 66,66 - 55,55) \wedge (66,66 - 55,55 = 88,88 - 77,77) = 1.$$

Как видим $T_{DR}^{(5)}$ имеет $\Omega_p = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований. Графическая интерпретация сформированных равномерно распределенных НЧ $T_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 3.9.

Пример 2 – неравномерный тип распределения (для трапециевидных НЧ)

Рассмотрим работу метода на примере неравномерно распределенных по оси dr интервалов с их числовыми эквивалентами из табл. 3.3, т.е. для которых будет истинным условие неравномерности (см. п. 3.1):

$$\Omega_n = (dr_2 - dr_1 \neq dr_3 - dr_2) \vee (dr_3 - dr_2 \neq dr_4 - dr_3) \vee (dr_4 - dr_3 \neq dr_5 - dr_4) \vee (dr_5 - dr_4 \neq dr_6 - dr_5) = (18 - 0 \neq 35 - 18) \vee (35 - 18 \neq 58 - 35) \vee (58 - 35 \neq 85 - 58) \vee (85 - 58 \neq 100 - 55) = 1 \vee 1 \vee 1 \vee 1 = 1.$$

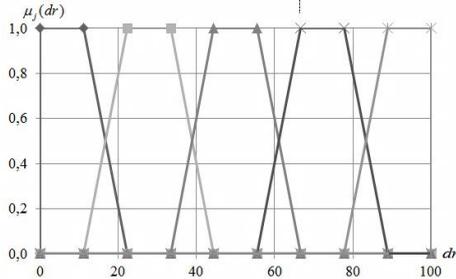


Рис. 3.9. Термы значений сформированных равномерно распределенных трапециевидных НЧ для ЛП $\mathbf{DR} \tilde{T}_{DR}^{(5)}$

Как видим условие неравномерности истинно ($\Omega_n = 1$). Это говорит о соответствии интервалов \mathbf{DR} такому типу распределения, как неравномерный.

Далее выполним, в соответствие с этапами 1-4, преобразование интервалов в НЧ.

Этап 1.

В соответствие (3.7) получим значения корректирующих параметров, $h_1 = 4,5$; $h_2 = 4,25$; $h_3 = 5,75$; $h_4 = 6,75$; $h_5 = 3,75$.

Этап 2.

Определим значения абсцисс НЧ с помощью (3.8):

$$\begin{aligned} a'_1 &= -4,5; a'_2 = 13,75; a'_3 = 29,25; a'_4 = 51,25; a'_5 = 81,25; \\ c'_1 &= 22,5; c'_2 = 39,25; c'_3 = 63,75; c'_4 = 91,75; c'_5 = 103,75; \\ b'_{11} &= 4,5; b'_{21} = 13,5; b'_{12} = 22,25; b'_{22} = 30,75; b'_{13} = 40,75; \\ b'_{23} &= 52,25; b'_{14} = 64,75; b'_{24} = 78,25; b'_{15} = 88,75; b'_{25} = 96,25. \end{aligned}$$

Этап 3.

Осуществим нахождение базового значения сдвига по формуле (3.9):

$$sf = b'_{11} - k_1 = 4,5$$

и далее выполним поправку значений абсцисс с учетом sf с помощью (3.10): $a''_1 = -9$; $a''_2 = 9,25$; $a''_3 = 24,75$; $a''_4 = 46,75$;

$$a_5'' = 76,75; c_1'' = 18; c_2'' = 34,75; c_3'' = 59,25; c_4'' = 87,25; c_5'' = 99,25;$$

$$b_{11}'' = 0; b_{21}'' = 9; b_{12}'' = 17,75; b_{22}'' = 26,25; b_{13}'' = 36,25; b_{23}'' = 47,75;$$

$$b_{14}'' = 60,25; b_{24}'' = 73,75; b_{15}'' = 84,25; b_{25}'' = 91,75.$$

Этап 4.

Реализуем нормирование результатов на основе (3.11):

$$a_1 = -9,8; a_2 = 10,08; a_3 = 26,97; a_4 = 50,95; a_5 = 83,65;$$

$$c_1 = 19,62; c_2 = 37,88; c_3 = 64,58; c_4 = 95,09; c_5 = 108,17;$$

$$b_{11} = 0; b_{21} = 9,81 \text{ и т.д.}$$

По условию из (3.11) $a_1 = 0$, а $c_5 = 100$. Все полученные результаты занесем в таблицу 3.4. После проведенных преобразований вычислим Ω_n для $\tilde{T}_{DR}^{(5)}$ (см. п. 3.1):

$$\Omega_n = (9,81 - 0 \neq 28,61 - 19,35) \vee (28,61 - 19,35 \neq 52,04 - 39,51) \vee (52,04 - 39,51 \neq 80,38 - 65,67) \vee (80,38 - 65,67 \neq 100 - 91,83) + (19,35 - 9,81 \neq 39,51 - 28,61) \vee (39,51 - 28,61 \neq 65,76 - 52,04) \vee (65,67 - 52,4 \neq 91,83 - 80,38) = 1.$$

Условие неравномерности $\tilde{T}_{DR}^{(5)}$ является истинно $\Omega_n = 1$, что говорит об эквивалентности выполненных преобразований.

Графическая интерпретация сформированных неравномерно распределенных НЧ $\tilde{T}_{DR}^{(5)}$ приведена на рис. 3.10.

Пример 3 – возрастающий тип распределения (для трапециевидных НЧ)

Покажем работу представленного метода для интервалов числовые значения которых \tilde{T}_{DR_j} , $j = \overline{1,5}$ из табл. 3.3 имеют возрастаю-

щий тип распределения по оси dr , т.е. для которого истинным является условие возрастания (см. п. 3.1):

$$\Omega_6 = (dr_2 - dr_1 < dr_3 - dr_2) \wedge (dr_3 - dr_2 < dr_4 - dr_3) \wedge (dr_4 - dr_3 < dr_5 - dr_4) \wedge (dr_5 - dr_4 < dr_6 - dr_5) = (3 - 0 < 16 - 3) \wedge (16 - 3 < 33 - 16) \wedge (33 - 16 < 65 - 33) \wedge (65 - 33 < 100 - 65) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

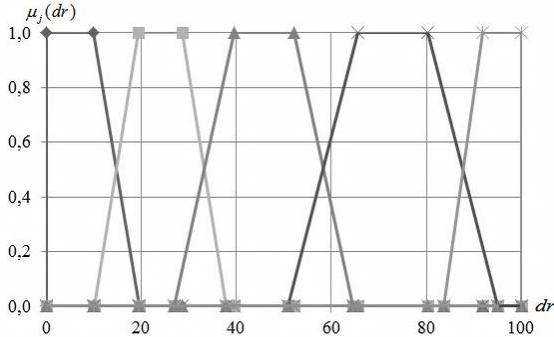


Рис. 3.10. Термы значений сформированных неравномерно распределенных трапециевидных НЧ для ЛП $DR T_{DR}^{(5)}$

Как видно, условие $\Omega_g = 1$ истинно, что говорит о соответствии интервалов возрастающему типу распределения.

По аналогии с примером для равномерно распределенных интервалов значений осуществим, в соответствие с этапами 1-4, требуемые преобразования.

Этап 1.

С помощью (3.7) определим значения корректирующих параметров, $h_1 = 0,75$; $h_2 = 3,25$; $h_3 = 4,25$; $h_4 = 8$; $h_5 = 8,75$.

Этап 2.

Далее определим значения абсцисс НЧ с помощью (3.8):

$$a'_1 = -0,75; a'_2 = -0,25; a'_3 = 11,75; a'_4 = 25; a'_5 = 56,25;$$

$$c'_1 = 3,75; c'_2 = 19,25; c'_3 = 37,25; c'_4 = 73; c'_5 = 108,75;$$

$$b'_{11} = 0,75; b'_{21} = 2,25; b'_{12} = 6,25; b'_{22} = 12,75; b'_{13} = 20,25; b'_{23} = 28,75;$$

$$b'_{14} = 41; b'_{24} = 57; b'_{15} = 73,75; b'_{25} = 91,25.$$

Этап 3.

Здесь определим базовые значения сдвига на основе (3.9):

$$sf = b'_{11} - k_1 = 0,75$$

и далее с учетом sf выполним поправку абсцисс с помощью (3.10)

т.е.,

$$a''_1 = -1,5; a''_2 = -1; a''_3 = 11; a''_4 = 24,25; a''_5 = 55,5;$$

$$c''_1 = 3; c''_2 = 18,5; c''_3 = 36,5; c''_4 = 72,25; c''_5 = 108;$$

$$b''_{11} = 0; b''_{21} = 1,5; b''_{12} = 5,5; b''_{22} = 12; b''_{13} = 19,5; b''_{23} = 28;$$

$$b''_{14} = 40,25; b''_{24} = 56,25; b''_{15} = 73; b''_{25} = 90,5.$$

Этап 4.

Осуществим нормирование результатов по выражению (3.11):

$$a_1 = -1,66; a_2 = -1,1; a_3 = 12,16; a_4 = 26,8; a_5 = 61,33;$$

$$c_1 = 3,32; c_2 = 20,44; c_3 = 40,33; c_4 = 79,83; c_5 = 119,33;$$

$$b_{11} = 0; b_{21} = 1,66 \text{ и т.д.}$$

По условию из (3.11) $a_1 = a_2 = 0$, а $c_5 = 100$. Все полученные результаты занесем в таблицу 3.4 (рис. 3.11).

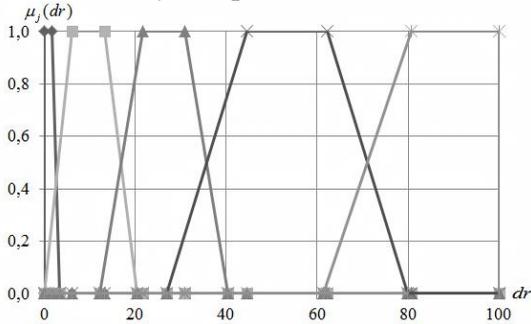


Рис. 3.11. Термы значений сформированных трапециевидных НЧ с возрастающим типом распределения для ЛП $DR \underline{T}_{DR}^{(5)}$

Далее проверим условие возрастания для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ (см. п. 3.1), т.е.:

$$\Omega_e = (b_{21} - b_{11} < b_{22} - b_{12}) \wedge (b_{22} - b_{12} < b_{23} - b_{13}) \wedge (b_{23} - b_{13} < b_{24} - b_{14}) \wedge (b_{24} - b_{14} < b_{25} - b_{15}) \wedge (b_{12} - b_{21} < b_{13} - b_{22}) \wedge (b_{13} - b_{22} < b_{14} - b_{23}) \wedge (b_{14} - b_{23} < b_{15} - b_{24}) = (1,66 - 0 < 13,26 - 6,08) \wedge (13,26 - 6,08 < 30,94 - 21,55) \wedge (30,94 - 21,55 < 62,16 - 44,48) \wedge (62,16 - 44,48 < 100 - 80,66) \wedge (6,08 - 1,66 < 21,55 - 13,26) \wedge (21,55 - 13,26 < 44,48 - 30,94) \wedge (44,48 - 30,94 < 80,66 - 62,16) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим, значения $\Omega_e = 1$ для $\underline{T}_{DR}^{(5)}$ является истинным, что говорит об адекватности выполняемых преобразований.

Пример 4 – убывающий тип распределения (для трапециевидных НЧ)

Реализуем трансформирование интервалов, которые принимают значения из табл. 4.3 и имеют убывающий тип распределения по оси dr , т.е. для которых истинным является условие убывания (см. п. 3.1), т.е.:

$$\Omega_y = (dr_2 - dr_1 > dr_3 - dr_2) \wedge (dr_3 - dr_2 > dr_4 - dr_3) \wedge (dr_4 - dr_3 > dr_5 - dr_4) \wedge (dr_5 - dr_4 > dr_6 - dr_5) = (28 - 0 > 51 - 28) \wedge (51 - 28 > 71 - 51) \wedge (71 - 51 > 87 - 71) \wedge (87 - 71 > 100 - 87) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видим условие $\Omega_y = 1$ истинно, значит интервалы соответствует убывающему типу распределения.

Реализуем в соответствии с этапами 1-4 преобразование интервалов в НЧ.

Этап 1.

С помощью (3.7) рассчитаем значения корректирующих параметров, $h_1 = 7$; $h_2 = 5,75$; $h_3 = 5$; $h_4 = 4$; $h_5 = 3,25$.

Этап 2.

Далее определим значения абсцисс НЧ с помощью (3.8):

$$\begin{aligned} a'_1 &= -7; a'_2 = 22,25; a'_3 = 46; a'_4 = 67; a'_5 = 83,75; \\ c'_1 &= 35; c'_2 = 56,75; c'_3 = 76; c'_4 = 91; c'_5 = 103,25; \\ b'_{11} &= 7; b'_{21} = 21; b'_{12} = 33,75; b'_{22} = 42,25; b'_{13} = 56; b'_{23} = 66; \\ b'_{14} &= 75; b'_{24} = 83; b'_{15} = 90,25; b'_{25} = 96,75. \end{aligned}$$

Этап 3.

Реализуем определение базового значения сдвига по формуле (3.9):

$$sf = b'_{11} - k_1 = 7$$

и далее с учетом sf выполним поправку термов с помощью (3.10),

$$\text{т.е. } a''_1 = -14; a''_2 = 15,25; a''_3 = 39; a''_4 = 60; a''_5 = 76,75;$$

$$c''_1 = 28; c''_2 = 49,75; c''_3 = 69; c''_4 = 84; c''_5 = 96,25;$$

$$b''_{11} = 0; b''_{21} = 14; b''_{12} = 26,75; b''_{22} = 38,25; b''_{13} = 49; b''_{23} = 59;$$

$$b''_{14} = 68; b''_{24} = 76; b''_{15} = 83,25; b''_{25} = 89,75.$$

Этап 4.

Здесь осуществим нормирование результатов по выражению (3.11): $a_1 = -15,6$; $a_2 = 16,99$; $a_3 = 43,45$; $a_4 = 66,85$; $a_5 = 85,52$;

$c_1 = 31,2$; $c_2 = 55,43$; $c_3 = 76,88$; $c_4 = 93,59$; $c_5 = 107,34$;

$b_{11} = 0$; $b_{21} = 15,6$ и т.д.

По условию из (3.11) $a_1 = 0$, а $c_5 = 100$. Все полученные результаты занесем в таблицу 3.4 (рис. 3.12). Проверим условие убывания для $T_{DR}^{(5)}$ (см. п. 3.1), т.е.:

$$\Omega_y = (15,6 - 0 > 42,62 - 29,81) \wedge (42,62 - 29,81 > 65,74 - 54,6) \wedge (65,74 - 54,6 > 84,68 - 75,77) \wedge (84,68 - 75,77 > 100 - 92,76) \wedge (29,81 - 15,6 > 54,6 - 42,62) \wedge (54,6 - 42,62 > 75,77 - 65,74) \wedge (75,77 - 65,74 > 92,76 - 84,68) = 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 \wedge 1 = 1.$$

Как видно значения $\Omega_y = 1$ для $T_{DR}^{(5)}$ является истинным, что поз-

воляет сделать вывод об адекватности преобразований.

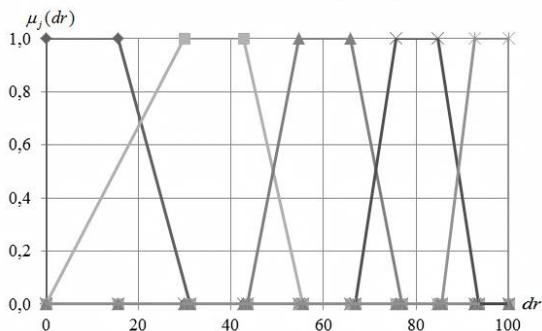


Рис. 3.12. Термы значений сформированных трапециевидных НЧ с убывающим типом распределения для ЛП $DR T_{DR}^{(5)}$

Таким образом, предложен метод преобразования интервалов в трапециевидные НЧ, в котором за счет реализации процедур корректировки параметров, формирования новых значений абсцисс, определения базового значения сдвига, поправки термов и нормирования результирующих НЧ позволяет формализовать процесс формирования эталонов без участия экспертов соответствующей предметной области. Для расширения возможностей представленного метода,

можно осуществить трансформирование интервалов в другие классы параметрических НЧ, например, треугольных.

3.3. Метод преобразования интервалов в треугольные нечеткие числа

Известны методы ОР безопасности РИС [2], в которых в качестве оценочных параметров риска используются метрики CVSS. Эти метрики задаются интервалами значений $[k_{EP_1}; k_{EP_2}]$, ..., $[k_{EP_j}; k_{EP_{j+1}}]$, ..., $[k_{EP_m}; k_{EP_{m+1}}]$, например $[0; 0,1]$, $[0,1; 4]$, $[4; 7]$, $[7; 9]$, $[9; 10]$ [3]. Преобразование таких интервалов осуществляют эксперты на основе своих умозаключений.

Часто на практике возникают ситуации, когда такое преобразование в дальнейшем может привести к неточностям при расчёте конечных результатов из-за несогласованности мнений или ошибок экспертов.

Для автоматизации этого процесса был предложен метод преобразования интервалов в НЧ для систем ОР безопасности РИС (см. п. 3.2.) [5]. Такой метод позволяет трансформировать интервалы в трапециевидные НЧ без участия экспертов. Сегодня существуют системы ОР ИБ в которых используются не только трапециевидные параметрические НЧ, а и треугольные [5, 6]. Поэтому автоматизация процесса трансформирования интервалов в треугольные НЧ для минимизации влияния человеческого фактора представляет собой актуальную задачу. Так как в известных системах [2] для реализации процесса АОР часто используются треугольные НЧ, осуществим преобразование интервалов в НЧ вида

$\underline{T}_j = (a_j; b_j; c_j)$, где \underline{T}_j – терм-множества ($j = \overline{1, m}$, m – количество термов); a_j , b_j и c_j – соответственно абсциссы основания и вершины треугольного НЧ. Работу метода по трансформированию интервалов представим в виде последовательности следующих этапов:

Этап 1 – Определение корректирующих параметров:

$$h_j = \frac{k_{j+1} - k_j}{m - 1}, \quad (3.12)$$

где k_j – числовые значения интервалов для оценивания риска ($j = \overline{1, m}$).

Этап 2 – Вычисление значений абсцисс треугольных НЧ:

$$\begin{aligned} a'_j &= k_j - h_j; \\ c'_j &= k_{j+1} + h_j; \\ b'_j &= k_j + 2h_j. \end{aligned} \quad (3.13)$$

Этап 3 – Определение базового значения сдвига и поправка термов:

$$sf = b'_1 - k_1, \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} a''_j &= a'_j - sf; \\ c''_j &= c'_j - sf; \\ b''_j &= b'_j - sf, \end{aligned} \quad (3.15)$$

где sf – параметр сдвига.

Этап 4 – Нормирование результирующих треугольных НЧ:

$$\begin{aligned} a_j &= (a''_j \times k_{m+1}) / b''_m; \\ c_j &= (c''_j \times k_{m+1}) / b''_m; \\ b_j &= (b''_j \times k_{m+1}) / b''_m; \end{aligned} \quad (3.16)$$

где $j = \overline{1, m}$.

При этом для

$$\bigvee_{j=1}^m (a_j, b_j, c_j) < 0$$

соответственно $a_j = b_j = c_j = 0$, а для

$$\bigvee_{j=1}^m (a_j, b_j, c_j) > k_{m+1}$$

соответственно $a_j = b_j = c_j = k_{m+1}$.

Для иллюстрации работы метода в качестве примера используем исходные данные (см. табл. 3.5), отображающие интервалы с рав-

номерным, неравномерным, возрастающим и убывающим типом распределения при $m=5$.

Таблица 3.5. Пример интервалов значений при $m=5$ (для треугольных НЧ)

Тип распределения	$[k_{EP1}; k_{EP2}[, \dots, [k_{EPj}; k_{EPj+1}[, \dots, [k_{EPm}; k_{EPm+1}[$				
	$[k_{EP1}; k_{EP2}[$	$[k_{EP2}; k_{EP3}[$	$[k_{EP3}; k_{EP4}[$	$[k_{EP4}; k_{EP5}[$	$[k_{EP5}; k_{EP6}[$
Равномерный	[0; 2[	[2; 4[	[4; 6[	[6; 8[	[8; 10]
Неравномерный	[0; 0,1[	[0,1; 4[	[4; 7[	[7; 9[	[9; 10]
Возрастающий	[0; 0,3[	[0,3; 1,6[	[1,6; 3,3[	[3,3; 6,5[	[6,5; 10]
Убывающий	[0; 2,8[	[2,8; 5,1[	[5,1; 7,1[	[7,1; 8,7[	[8,7; 10]

Пример 1 – равномерный тип распределения (для треугольных НЧ)

Пусть для отображения общего результата оценки используется ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО ПАРАМЕТРА» (EP_i), которая определяется кортежем $[2] \langle EP_i, \underline{T}_{EP_i}, X_{EP_i} \rangle$, $\underline{T}_{EP_i} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{EP_{ij}}$. Для

каждого из термов $\underline{T}_{EP_{i1}}, \dots, \underline{T}_{EP_{ij}}, \dots, \underline{T}_{EP_{im}}$ задается свой интервал значений.

Например, ЛП EP_i определяется интервалами из таблицы 3.5. Для определения числовых значений $\underline{T}_{EP_{ij}}$, $j = \overline{1,5}$ воспользуемся

данными из табл. 3.5 с равномерным типом распределения НЧ, т.е. для которых будет истинным условие равномерности (см. п. 3.1):

$$\Omega_p = (EP_2 - EP_1 = EP_3 - EP_2) \wedge (EP_3 - EP_2 = EP_4 - EP_3) = (2 - 0 = 4 - 2) \wedge (4 - 2 = 6 - 4) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Исходя из того, что $\Omega_p = 1$, то интервалы EP_i [2] соответствуют равномерному типу распределения.

Далее воспользуемся выражениями (3.12) – (3.16) для реализации процедуры трансформирования заданных интервалов.

Этап 1. На основе выражения (3.12) определим корректирующие параметры при $m=5$,

$$h_1 = \frac{k_2 - k_1}{4} = \frac{20 - 0}{4} = 0,5;$$

$$h_2 = 0,5; h_3 = 0,5; h_4 = 0,5; h_5 = 0,5.$$

Этап 2. Определим абсциссы по выражению (3.13):

$$a'_1 = k_1 - h_1 = 0 - 0,5 = -0,5; a'_2 = k_2 - h_2 = 1,5; a'_3 = k_3 - h_3 = 3,5; a'_4 = 5,5;$$

$$a'_5 = 7,5; c'_1 = k_2 + h_1 = 2,5; c'_2 = 4,5; c'_3 = 6,5; c'_4 = 8,5; c'_5 = 10,5;$$

$$b'_1 = k_1 + 2h_1 = 1; b'_2 = k_2 + 2h_2 = 3; b'_3 = 5; b'_4 = 7; b'_5 = 9.$$

Этап 3. Вычислим значения сдвига по выражению (3.14): $sf = b'_1 - k_1 = 1 - 0 = 1$ и осуществим поправку с учетом sf на основе (3.15) т.е.,

$$a''_1 = a'_1 - sf = -0,5 - 1 = -1,5; a''_2 = 0,5; a''_3 = 2,5; a''_4 = 4,5; a''_5 = 6,5;$$

$$c''_1 = c'_1 - sf = 1,5; c''_2 = 3,5; c''_3 = 5,5; c''_4 = 7,5; c''_5 = 9,5;$$

$$b''_1 = b'_1 - sf = 0; b''_2 = 2; b''_3 = 4; b''_4 = 6; b''_5 = 8.$$

Этап 4. Выполним нормирование полученных значений по формуле (3.16):

$$a_1 = (a''_1 \times k_6) / b''_5 = -1,88; a_2 = 0,63; a_3 = 3,13; a_4 = 5,63; a_5 = 8,13;$$

$$c_1 = (c''_1 \times k_6) / b''_5 = 1,88; c_2 = 4,38; c_3 = 6,88; c_4 = 9,38; c_5 = 11,88;$$

$$b_1 = (b''_1 \times k_6) / b''_5 = 0 \text{ и т.д.}$$

Исходя из (3.16), $a_1 = 0$ и $c_5 = 10$, а все полученные значения отобразим в табл. 3.6.

Таблица 3.6. Треугольные НЧ преобразованные из интервалов

Тип распределения НЧ	НЧ $T_{EP_j} = (a_j, b_j, c_j)_{LR} (j = \overline{1,5})$				
	T_{EP_1}	T_{EP_2}	T_{EP_3}	T_{EP_4}	T_{EP_5}
Равномерный	$(0; 0; 1,88)_{LR}$	$(0,63; 2,5; 4,38)_{LR}$	$(3,13; 5; 6,88)_{LR}$	$(5,63; 7,5; 9,38)_{LR}$	$(8,13; 10; 10)_{LR}$
Неравномерный	$(0; 0; 0,08)_{LR}$	$(0; 2; 5,21)_{LR}$	$(3,39; 6; 8,15)_{LR}$	$(6,83; 8; 10)_{LR}$	$(9,21; 10; 10)_{LR}$
Возрастающий	$(0; 0; 0,28)_{LR}$	$(0; 1; 2,19)_{LR}$	$(1,27; 3; 4,41)_{LR}$	$(2,9; 6; 8,83)_{LR}$	$(6,76; 10; 10)_{LR}$
Убывающий	$(0; 0; 2,64)_{LR}$	$(1,04; 3; 5,38)_{LR}$	$(4,03; 6; 7,8)_{LR}$	$(6,67; 8; 9,6)_{LR}$	$(8,77; 10; 10)_{LR}$

Верификацию равномерности НЧ осуществим на основе условия равномерности из п. 3.1 для $T_{EP_i}^{(5)}$:

$$\Omega_p = (b_2 - b_1 = b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 = b_4 - b_3) = (2,5 - 0 = 5 - 2,5) \wedge (5 - 2,5 = 7,5 - 5) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Очевидно, что для $T_{EP_i}^{(5)}$ значение $\Omega_p = 1$. Это свидетельствует об эквивалентности осуществленного преобразования.

На рис. 3.13 отображены полученные равномерно распределенные НЧ $T_{EP_i}^{(5)}$.

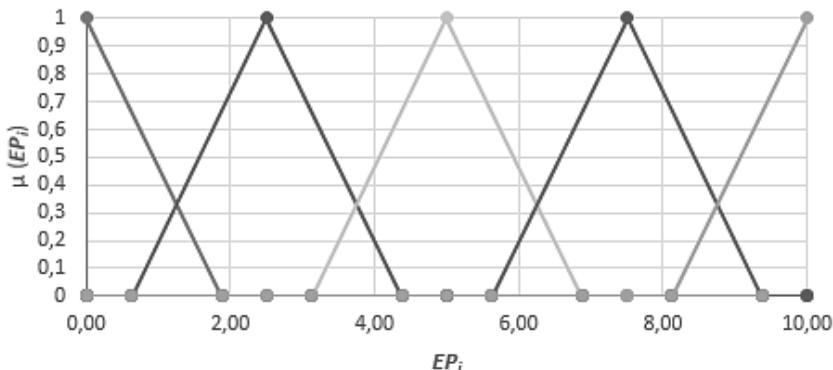


Рис. 3.13. Термы значений сформированных равномерно распределенных треугольных НЧ для ЛП EP_i ; $T_{EP_i}^{(5)}$

Пример 2 – неравномерный тип распределения (для треугольных НЧ)

Проиллюстрируем метод на примере неравномерно распределенных по оси EP интервалов с их числовыми эквивалентами (см. табл. 3.5), т.е. для которых будет истинным условие неравномерности из п. 3.1):

$$\Omega_n = (EP_2 - EP_1 \neq EP_3 - EP_2) \wedge (EP_3 - EP_2 \neq EP_4 - EP_3) = (0,1 - 0 \neq 4 - 0,1) \vee (4 - 0,1 \neq 7 - 4) = 1 \vee 1 = 1.$$

Исходя из того, что $\Omega_n = 1$, то интервалы EP_i соответствуют неравномерному типу распределения.

В соответствие с этапами 1–4, выполним преобразование интервалов в НЧ.

Этап 1. На основе (3.12) определим значения корректирующих параметров: $h_1 = 0,03$; $h_2 = 0,98$; $h_3 = 0,75$; $h_4 = 0,5$; $h_5 = 0,25$.

Этап 2. Определим значения абсцисс треугольных НЧ по формуле (3.13):

$$\begin{aligned} a'_1 &= -0,03; a'_2 = -0,88; a'_3 = 3,25; a'_4 = 6,5; a'_5 = 8,75; \\ c'_1 &= 0,13; c'_2 = 4,98; c'_3 = 7,75; c'_4 = 9,5; c'_5 = 10,25; \\ b'_1 &= 0,05; b'_2 = 2,05; b'_3 = 5,5; b'_4 = 8; b'_5 = 9,5. \end{aligned}$$

Этап 3. Вычислим величину сдвига по выражению (3.14)

$$sf = b'_1 - k_1 = 0,05$$

и осуществим поправку значений абсцисс с учетом sf на основе (3.15):

$$\begin{aligned} a''_1 &= -0,08; a''_2 = -0,93; a''_3 = 3,2; a''_4 = 6,45; a''_5 = 8,7; \\ c''_1 &= 0,08; c''_2 = 4,93; c''_3 = 7,7; c''_4 = 9,45; c''_5 = 10,2; \\ b''_1 &= 0; b''_2 = 2; b''_3 = 5,45; b''_4 = 7,95; b''_5 = 9,45. \end{aligned}$$

Этап 4. Выполним нормирование полученных значений с помощью (3.16):

$$\begin{aligned} a_1 &= -0,08; a_2 = -0,98; a_3 = 3,39; a_4 = 6,83; a_5 = 9,21; \\ c_1 &= 0,08; c_2 = 5,21; c_3 = 8,15; c_4 = 10; c_5 = 10,79; b_1 = 0; b_2 = 2 \text{ и т.д.} \end{aligned}$$

По условию из (3.16) $a_1 = a_2 = 0$, а $c_5 = 10$. Все основные результаты вычислений занесены в табл. 3.6.

Далее осуществим вычисление Ω_n для $T_{EP_i}^{(5)}$ по условию неравномерности из п. 3.1:

$$\Omega_n = (2-0 \neq 6-2) \vee (6-2 \neq 8-6) = 1.$$

Очевидно, что для $T_{EP_i}^{(5)}$ значение $\Omega_p = 1$. Исходя из этого можно говорить об эквивалентности осуществленного преобразования. На рис. 3.14 отображены полученные неравномерно распределенные треугольные НЧ $T_{EP_i}^{(5)}$.

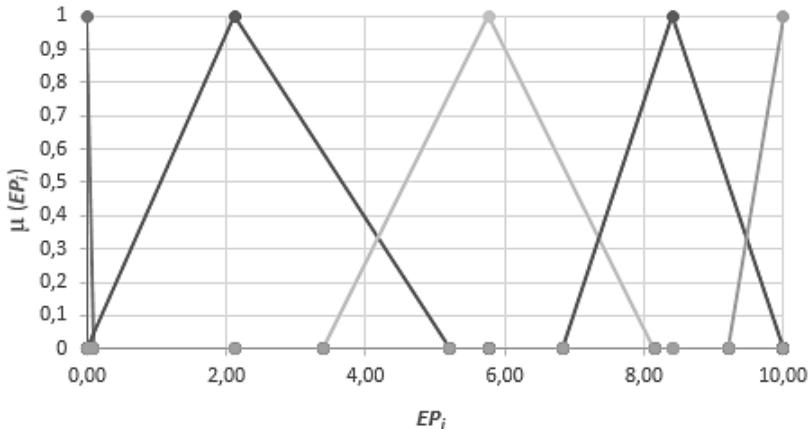


Рис. 3.14. Термы значений сформированных неравномерно распределенных треугольных НЧ для ЛП EP_i $T_{EP_i}^{(5)}$

Пример 3 – возрастающий тип распределения (для треугольных НЧ)

Представим работу метода для интервалов, числовые значения которых $T_{EP_{ij}}$, $j = \overline{1,5}$ из табл. 3.5 имеют возрастающий тип рас-

пределения по оси EP , т.е. для которых истинным является условие возрастания из п. 3.1:

$$\Omega_g = (EP_2 - EP_1 < EP_3 - EP_2) \wedge (EP_3 - EP_2 < EP_4 - EP_3) = (0,3 - 0 < 1,6 - 0,3) \wedge (1,6 - 0,3 < 3,3 - 1,6) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Видно, что условие $\Omega_g = 1$ истинно. Это говорит о соответствии интервалов возрастающему типу распределения.

Воспользуемся выражениями (3.12) – (3.16) для реализации процедуры трансформирования заданных интервалов.

Этап 1. На основе (3.12) определим значения корректирующих параметров $h_1 = 0,08$; $h_2 = 0,33$; $h_3 = 0,43$; $h_4 = 0,8$; $h_5 = 0,88$.

Этап 2. Определим абсциссы треугольных НЧ с помощью (3.13):

$$a'_1 = -0,08; a'_2 = -0,03; a'_3 = 1,18; a'_4 = 2,5; a'_5 = 5,63; \\ c'_1 = 0,38; c'_2 = 1,93; c'_3 = 3,73; c'_4 = 7,3; c'_5 = 10,88;$$

$$b'_1=0,15; b'_2=0,95; b'_3=2,45; b'_4=4,9; b'_5=8,25.$$

Этап 3. Здесь вычислим значения сдвига на основе (3.14)

$$sf = b'_1 - k_1 = 0,15$$

и далее с учетом sf выполним поправку значений с помощью (3.15), т.е.:

$$a''_1 = -0,23; a''_2 = -0,18; a''_3 = 1,03; a''_4 = 2,35; a''_5 = 5,48;$$

$$c''_1 = 0,23; c''_2 = 1,78; c''_3 = 3,58; c''_4 = 7,15; c''_5 = 10,73;$$

$$b''_1 = 0; b''_2 = 0,8; b''_3 = 2,3; b''_4 = 4,75; b''_5 = 8,1.$$

Этап 4. Выполним нормирование полученных результатов с помощью (3.16):

$$a_1 = -0,28; a_2 = -0,22; a_3 = 1,27; a_4 = 2,9; a_5 = 6,76;$$

$$c_1 = 0,28; c_2 = 2,19; c_3 = 4,41; c_4 = 8,83; c_5 = 13,24; b_1 = 0; b_2 = 1 \text{ и т.д.}$$

Исходя из (3.16) $a_1 = a_2 = 0$ и $c_5 = 10$, а все полученные значения отобразим в табл. 3.6.

Верификацию возрастания треугольных НЧ осуществим на основе условия из п. 3.1 для $T_{EP_i}^{(5)}$:

$$\Omega_g = (b_2 - b_1 < b_3 - b_2) \wedge (b_3 - b_2 < b_4 - b_3) = (1 - 0 < 3 - 1) \wedge (3 - 1 < 6 - 3) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Очевидно, что для $T_{EP_i}^{(5)}$ значение $\Omega_p = 1$. Это подтверждает эк-

вивалентность осуществленного преобразования. На рис. 3.15 отображены полученные треугольные НЧ $T_{EP_i}^{(5)}$ с возрастающим

типом распределения.

Пример 4 – убывающий тип распределения

Осуществим трансформирование интервалов, которые принимают значения из табл. 3.5 и имеют убывающий тип распределения по оси EP , т.е. для которых истинным является условие убывания (см. п. 3.1), т.е.:

$$\Omega_y = (EP_2 - EP_1 > EP_3 - EP_2) \wedge (EP_3 - EP_2 > EP_4 - EP_3) =$$

$$(2,8 - 0 > 5,1 - 2,8) \wedge (5,1 - 2,8 > 7,1 - 5,1) = 1 \wedge 1 = 1.$$

Исходя из того, что $\Omega_y = 1$ то интервалы EP_i соответствует убывающему типу распределения.

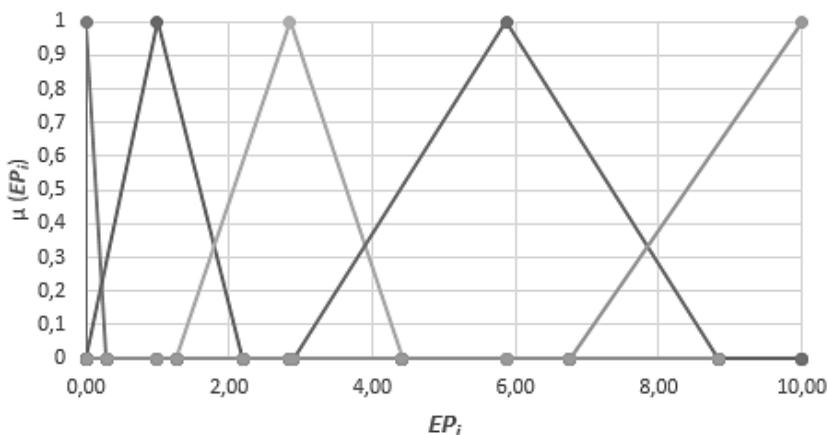


Рис. 3.15. Термы значений сформированных треугольных НЧ с возрастающим типом распределения для ЛП $EP_i T_{DR}^{(5)}$

Используем выражения (3.12) – (3.16) для реализации процедуры трансформирования заданных интервалов.

Этап 1. На основе (3.12) рассчитаем корректирующие параметры $h_1 = 0,7$; $h_2 = 0,58$; $h_3 = 0,5$; $h_4 = 0,4$; $h_5 = 0,33$.

Этап 2. Определим абсциссы треугольных НЧ по формуле (3.13):

$$a'_1 = -0,7; a'_2 = 2,23; a'_3 = 4,6; a'_4 = 6,7; a'_5 = 8,38;$$

$$c'_1 = 3,5; c'_2 = 5,68; c'_3 = 7,6; c'_4 = 9,1; c'_5 = 10,33;$$

$$b'_1 = 1,4; b'_2 = 3,95; b'_3 = 6,1; b'_4 = 7,9; b'_5 = 9,35.$$

Этап 3. Вычислим значения сдвига на основе (3.14)

$$sf = b'_1 - k_1 = 1,4$$

и осуществим поправку sf с учетом (3.15), т.е.:

$$a''_1 = -2,1; a''_2 = 0,83; a''_3 = 3,2; a''_4 = 5,3; a''_5 = 6,98;$$

$$c''_1 = 2,1; c''_2 = 4,28; c''_3 = 6,2; c''_4 = 7,7; c''_5 = 8,93;$$

$$b''_1 = 0; b''_2 = 2,55; b''_3 = 4,7; b''_4 = 6,5; b''_5 = 7,95.$$

Этап 4. Выполним нормирование полученных значений с использованием (3.16):

$$a_1 = -2,64; a_2 = 1,04; a_3 = 4,03; a_4 = 6,67; a_5 = 8,77;$$

$c_1 = 2,64; c_2 = 5,38; c_3 = 7,8; c_4 = 9,69; c_5 = 11,23; b_1 = 0; b_2 = 3$ и т.д.

Исходя из, (3.16) $a_1 = 0$ и $c_5 = 10$, а все полученные значения отобразим в табл. 3.6. Проверим условие убывания для $T_{EP_i}^{(5)}$ (см. п.

3.1), т.е.: $\Omega_y = (3-0 > 6-3) \wedge (6-3 > 8-6) = 1 \wedge 1 = 1$.

Очевидно, что для $T_{EP_i}^{(5)}$ значение $\Omega_p = 1$. Это говорит об эквива-

лентности осуществленного преобразования. На рис. 3.16 отображены полученные треугольные НЧ $T_{EP_i}^{(5)}$ с убывающим типом рас-

пределения.

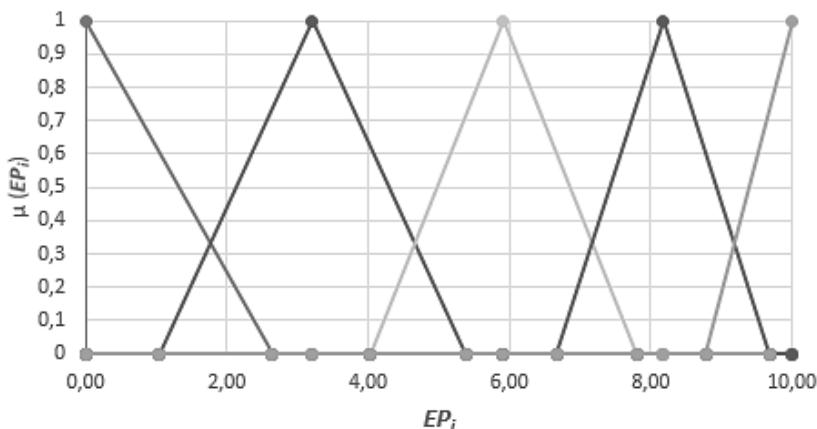


Рис. 3.16. Термы значений сформированных треугольных НЧ с убывающим типом распределения для ЛП $EP_i T_{DR}^{(5)}$

Таким образом, впервые разработан метод преобразования интервалов в треугольные НЧ для систем АОР ИБ, который за счет реализации процедур корректировки параметров, формирования новых значений абсцисс для соответствующих параметрических чисел, определения базового значения смещения, поправки термов и нормирования результата, позволяет формализовать процесс формирования эталонов без участия экспертов соответствующей предметной области.

3.4. Детерминированный метод анализа и оценивания рисков потери информационных ресурсов

Для расширения соответствующих возможностей современных систем АОР предлагается использовать подход, основанный на суждениях экспертов. При этом будем учитывать первую ситуацию, когда эксперт имеет четкие (бинарные) предпочтения относительно значений оцениваемых параметров, так и вторую ситуацию – с зоной неуверенности, когда эксперт сомневается в однозначности своих приоритетов. В соответствие с этим предлагается два метода оценивания – детерминированный (DetM), основанный на бинарных оценках, и нечеткий (FuzM).

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 параметров интегрированного представления риска (п. 2.1):

K_{EK_i} – 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 $[1, 2]$, а

$$\tilde{T}_{DR} = \bigcup_{j=1}^m \tilde{T}_{DR_j}$$

(например, термы для $m=5$ – $\bigcup_{j=1}^5 \tilde{T}_{DR_j} = \{\text{«Незначительный риск}$

нарушения ИБ» (НР), «Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН), «Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС), «Степень риска

нарушения ИБ высокая» (PB), «Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)}, при этом они могут быть отображены на универсальное множество $\underline{X}_{DR} \in \{0, \max_{DR}\}$.

Для каждого из термов $\underline{T}_{DR_1}, \dots, \underline{T}_{DR_j}, \dots, \underline{T}_{DR_m}$ определяется свой интервал значений $[dr_{min}; dr_1[, \dots, [dr_j; dr_{j+1}[, \dots, [dr_m; dr_{max}]$. Например, при $m=5$ для $\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5}$ определим интервалы с использованием шкалы Харрингтона [7], которую модифицируем увеличением ее градуированных значений в два порядка, т.е. интервалам

$$[dr_{min}; dr_1[, [dr_2; dr_3[, [dr_4; dr_5[, [dr_6; dr_7[, [dr_8; dr_{max}]$$

будут соответствовать значения

$$[0; 20[, [20; 40[, [40; 60[, [60; 80[, [80; 100].$$

Далее, для создания возможности эксперту при оценивании использовать более широкий спектр величин, воспользуемся разработанной моделью параметров для этого случая определим полное множество оценочных компонент

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

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

$$EK_{3Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\} = \{P, F, L, D\}.$$

Введем ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА EK_i »

(K_{EK_i}), которая определяется кортежем $[1, 2] < K_{EK_i}, \underline{T}_{K_{EK_i}}, \underline{X}_{EK_i} >$,

где базовые терм-множества задаются m термами

$$\underline{T}_{K_{EK_i}} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{K_{EK_i j}}$$

(например, при $m=5 - \bigcup_{j=1}^5 \tilde{T}_{K_{EK_j}} = \{ \text{«очень низкий» (ОН), «низкий»$

(Н), «средний» (С), «высокий» (В), «очень высокий» (ОВ) } термы в лингвистической форме характеризуют уровень оценочного компонента и могут быть отображены на универсальное множество

$$\tilde{X}_{EK_i} \in \{0, \max_{K_{EK_j}}\}.$$

Для $\tilde{T}_{K_{EK_1}}, \dots, \tilde{T}_{K_{EK_j}}, \dots, \tilde{T}_{K_{EK_m}}$ соответственно определяется свой интервал величин 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 $\tilde{T}_{K_{EK_3 1}}, \tilde{T}_{K_{EK_3 2}}, \tilde{T}_{K_{EK_3 3}}, \tilde{T}_{K_{EK_3 4}}, \tilde{T}_{K_{EK_3 5}}$

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 компонент через интервалы допустимых значений воспользуемся табл. 3.7.

Таблица 3.7. Отображение значений оценочных компонент

EK_i	Интервалы значений K_{EK_i} для $\tilde{T}_{K_{EK_1}} - \tilde{T}_{K_{EK_m}}$				
	$\tilde{T}_{K_{EK_1}}$	...	$\tilde{T}_{K_{EK_j}}$	...	$\tilde{T}_{K_{EK_m}}$
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_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	$[k_{EK_g, \min}; k_{EK_g, 1} [$	...	$[k_{EK_g, j}; k_{EK_g, j+1} [$	...	$[k_{EK_g, m}; k_{EK_g, \max}]$

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 $ek \in \{ek_i\} (i = \overline{1, g})$.

Шаг 2 (Описание оценочных компонент)

На этом шаге производится описание набора используемых оценочных компонент, 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 компонент, 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

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

Шаг 3 (Оценка уровня значимости оценочных компонент)

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

$$LS_i \geq LS_{i+1}, \quad (3.17)$$

то значимость i -го компонента определяется по правилу Фишберна [8]:

$$LS_i = \frac{2(g-i+1)}{(g-1)g}. \quad (3.18)$$

Согласно этому правилу у эксперта отсутствует информация (кроме условия (3.17)) о значимости компонента и тогда (3.18) 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:

$$LS_i = 1/g. \quad (3.19)$$

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 компонент)

Здесь 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. 3.8).

Таблица 3.8. Пример определения эталонных значений оценочных компонент

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

Шаг 6 (Оценка текущих значений компонент)

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.

$$ek_i^{A_a} = \{ ek_1^{A_a}, ek_2^{A_a}, ek_3^{A_a}, ek_4^{A_a}, ek_5^{A_a}, ek_6^{A_a} \}.$$

Значения выставляются на основании предпочтений экспертов, статистической информации и др. данных.

В табл. 3.9 показан пример определения текущих значений для $A \in \{A_a\}$ ($a = \overline{1,5}$), описанных на шаге 1 при $g=4$, а

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

Таблица 3.9. Пример 1 – определение текущих значений оценочных компонент

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

Шаг 7 (Классификация текущих значений)

При прохождении этого шага определяется принадлежность $ek_i^{A_a}$ заданному диапазону, по которому формируется бинарное значение λ :

$$\lambda_{ij}^{(A_a)} = \begin{cases} 1, \text{ при } ek_i^{A_a} \in [k_{EK_i(j-1)}; k_{EK_i,j}]; \\ 0, \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [k_{EK_i(j-1)}; k_{EK_i,j}]; \end{cases} \quad (3.20)$$

отражающее предпочтение эксперта относительно значений оценочных параметров, а результаты вычислений для удобства заносятся в табл. 3.10.

Таблица 3.10. Классификация текущих значений оценочных компонент

EK_i	$\lambda_{ij}^{(A_a)}$ для $\underline{T}_{K_{EK_i}} \quad (i = \overline{1, g}, j = \overline{1, m})$				
	$\underline{T}_{K_{EK_i1}}$	...	$\underline{T}_{K_{EK_ij}}$	...	$\underline{T}_{K_{EK_im}}$
EK_1	λ_{11}	...	λ_{1j}	...	λ_{1m}
...
EK_i	λ_{ij}	...	λ_{ij}	...	λ_{im}
...
EK_g	λ_{g1}	...	λ_{gj}	...	λ_{gm}

Аналогичные преобразования производятся для всех A , например, для тех, которые определены на шаге 1 все вычисленные значения $\lambda_{ij}^{(A_1)}, \lambda_{ij}^{(A_2)} \dots \lambda_{ij}^{(A_5)}$ занесем в табл. 3.11.

Таблица 3.11. Пример 1 – классификация текущих значений компонент

EK	Значение λ для $A \in \{A_a\} (a=\overline{1,5})$																																						
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для $T_{\sim K_{EK,im}}$ ($i=\overline{1,4}, j=\overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для $T_{\sim K_{EK,im}}$ ($i=\overline{1,4}, j=\overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для $T_{\sim K_{EK,im}}$ ($i=\overline{1,4}, j=\overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для $T_{\sim K_{EK,im}}$ ($i=\overline{1,4}, j=\overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_5)}$ для $T_{\sim K_{EK,im}}$ ($i=\overline{1,4}, j=\overline{1,5}$)																						
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	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	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	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	
D	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	

Шаг 8 (Оценка степени риска)

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

$$dr^{(A_a)} = \sum_{j=1}^m \left(dr_j \sum_{i=1}^g LS_i \lambda_{ij}^{(A_a)} \right), \quad (3.21)$$

где $dr_j=90-20(j-1)$, $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ определяется по формуле (3.20) для каждой $A_a (a=\overline{1,n})$, а $LS_i (i=\overline{1,g})$ – по формуле (3.19) или (3.18) ($j=\overline{1,m}$).

Шаг 9 (Лингвистическое распознавание)

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

$$\tilde{T}_{DR} = \begin{cases} HP, \text{ ну } dr^{(A_a)} \in [dr_{\min}; dr_1]; \\ PH, \text{ ну } dr^{(A_a)} \in [dr_2; dr_3]; \\ PC, \text{ ну } dr^{(A_a)} \in [dr_4; dr_5]; \\ PB, \text{ ну } dr^{(A_a)} \in [dr_6; dr_7]; \\ PP, \text{ ну } dr^{(A_a)} \in [dr_8; dr_{\max}], \end{cases} \quad (3.22)$$

где DR отображает вычисленное $dr^{(A_a)}$ с помощью значений термножеств ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА».

Также по выражению (3.23) можно вычислить среднее значение $dr^{(cp)}$ по оцениваемому ресурсу:

$$dr^{(cp)} = \left(\sum_{a=1}^n dr^{(A_a)} \right) / n . \quad (3.23)$$

Рассмотрим пример АОР на основе использования такого ресурса (актива) информационной системы, как почтовый сервер, воспользовавшись при этом примером для параметров E и A , определенных на шаге 1. Их идентификацию наиболее часто осуществляют на основе суждений экспертов или с помощью запросов посредством составленных экспертами вопросников [1, 2]. Приведем пример запросов в соответствие стандарта ISO/IEC 27002:

1) Существует ли в организации определенная, внедренная и утвержденная процедура получения разрешения относительно использования новых средств обработки информации (пункт 6.1.4 стандарта) [9]?

Для ответа на данный запрос предлагается выбрать ответ ДА или НЕТ. Если эксперт отвечает ДА, тогда происходит уточнение, как эта процедура организована на предприятии.

1.1) Одобрены ли новые средства обработки информации со стороны:

а) руководства пользователей; если ответ ДА – переход к следующему, если НЕТ – могут быть реализованы все A_a ($a = \overline{1,5}$);

б) администраторов средств управления; если ответ ДА – переход к следующему, если НЕТ – могут быть реализованы A_3-A_5 ;

в) менеджером локальной информационной системы. Если эксперт ответил ДА – переход к следующему, если НЕТ – могут быть реализованы A_2-A_5 ;

1.2) Проверена ли совместимость с другими компонентами системы? Если ДА – переход к следующему, если НЕТ – могут быть реализованы A_3-A_5 ;

1.3) Используются ли средства обработки информации личной или частной собственности: портативные компьютеры, домашние компьютеры или приборы, для обработки деловой информации и определены, внедрены ли необходимые меры контроля?

Если ответ ДА – переход к следующему, если НЕТ – могут быть реализованы все A_a .

В случае если экспертом был дан ответ НЕТ на запрос 1 то это может привести к E_7 и ко всем A .

Проведём опрос по данному запросу и обработаем варианты ответов. Предположим, что на запрос 1 эксперт дал положительный ответ, следовательно, перешел к уточнению данных, на что дал следующие ответы:

- 1.1 а – ДА;
- 1.1 б – ДА;
- 1.1 в – НЕТ;
- 1.2 – ДА;
- 1.3 – НЕТ.

Шаг 1

Произведем обработку ответов и определение идентифицирующих компонент. И так, относительно данного актива могут быть направлены все A_a ($a = \overline{1,5}$), при реализации которых возможно наступления определенных E , что описывается связками:

- $A_1 \Rightarrow E_5 = \langle \text{НЦД} \rangle$;
- $A_2 \Rightarrow E_7 = \langle \text{НКЦД} \rangle$;
- $A_3 \Rightarrow E_5 = \langle \text{НЦД} \rangle$;
- $A_4 \Rightarrow E_7 = \langle \text{НКЦД} \rangle$;
- $A_5 \Rightarrow E_3 = \langle \text{НД} \rangle$

(например, последняя связка интерпретируется так: относительно почтового сервера может быть реализовано действие (реализация потенциальных угроз) приводящее к отказу в обслуживании и инициирующее событие нарушения доступности ресурса).

Таким образом, имеем множество E для данного актива $E = \{E_3, E_5, E_7\}$. При оценки степени риска используем соответствующую ЛП с терм-множеством и интервалами значений, которые в качестве примера, рассмотрены на шаге 1.

Шаг 2

Воспользуемся оценочными компонентами определенными в примере шага 1 при $g=4$,

$EK_{3Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1 - \text{вероятность (P)}, EK_2 - \text{частота (F)}, EK_3 - \text{затраты и потери (L)}, EK_4 - \text{опасность (D)}\}$.

Шаг 3

Оценку LS осуществим по формуле (3.19) $LS_i = 1/g = 0,25$ ($i = \overline{1,4}$).

Шаг 4

Для определения эталонных значений степени риска воспользуемся примером, описанным на шаге 1 где $[dr_{min}; dr_{max}]$ соответствует $[0; 100]$.

Шаг 5

На основе предварительного экспертного анализа получаем эталонные значения K_{EK_i} с заданными интервалами. Для этого воспользуемся данными из примера на шаге 1 и табл. 3.8, где разбиение на интервалы компонента F основывается на шкале Харрингтона [7], а P – на ее модификации путем увеличения в два порядка градуированных значений. Диапазон значений L и D определяется по усмотрению экспертов.

Шаг 6

Текущее состояние ИБ актива характеризуется значениями оценочных компонент ek по каждому A (табл. 3.9), которые определяются на основе экспертных суждений. Для осуществления дальнейших расчетов будут использоваться данные представленные в табл. 3.9.

Шаг 7

Для каждого A_a ($a = \overline{1,5}$) на основании (3.20) относительно заданных диапазонов (см. табл. 3.8) осуществляется классификация текущих значений ek_i^A (см. табл. 3.10) с помощью бинарной переменной $\lambda_{ij}^{(A_a)}$, конкретные значения которой занесены в табл. 3.7.

Шаг 8

Произведем вычисления показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.21), где $m = 5$, $j = \overline{1,5}$, $i = \overline{1,4}$, $a = \overline{1,5}$,

$$dr_1=10,$$

$$dr_2=30,$$

$$dr_3=50,$$

$$dr_4=70,$$

$$dr_5=90,$$

тогда $dr^{(A)} = 0+35+25+0+0=60$,

$$dr^{(A_2)} = 60,$$

$$dr^{(A_3)} = 50,$$

$$dr^{(A_4)} = 80,$$

$$dr^{(A_5)} = 50.$$

Шаг 9

Для лингвистического распознавания полученного значения $dr^{(A_a)}$ воспользуемся формулой (3.22), где $[dr_{min}; dr_{max}]$ соответствует $[0; 100]$, а

$$\underline{T}_{DR} = \begin{cases} HP, \text{ нпу } dr^{(A_a)} \in [0; 20[; \\ PH, \text{ нпу } dr^{(A_a)} \in [20; 40[; \\ PC, \text{ нпу } dr^{(A_a)} \in [40; 60[; \\ PB, \text{ нпу } dr^{(A_a)} \in [60; 80[; \\ PP, \text{ нпу } dr^{(A_a)} \in [80; 100], \end{cases}$$

Тогда показателям $dr^{(A_1)}$, $dr^{(A_2)}$, $dr^{(A_3)}$, $dr^{(A_4)}$, $dr^{(A_5)}$ соответственно определены значения ЛП: «РВ», «РВ», «РС», «ПР», «РС».

Также для данного актива по выражению (3.23) вычисляется среднее значение степени риска

$$dr^{(cp)} = \left(\sum_{a=1}^5 dr^{(A_a)} \right) / 5 = (60+60+50+80+50)/5=60,$$

и далее, по формуле (3.22) определяется его лингвистический эквивалент – «РВ».

В целях верификации метода выполним аналогичные вычисления при среде окружения заданного ресурса с повышенным уровнем риска, то есть экспертами было оценено текущее значения ek_i^A для всех A_a на уровне $\underline{T}_{KEK_i,4} = \{\langle\langle B \rangle\rangle\}$ и $\underline{T}_{KEK_i,5} = \{\langle\langle OB \rangle\rangle\}$ (см. пример шага 1).

Результаты вычислений (по аналогии с табл. 3.8) занесем в табл. 3.12.

Далее проводится классификация текущих значений ek_i^A по формуле (3.20), а результаты заносятся в табл. 3.13.

Таблица 3.12. Пример 2 – определение текущих значений оценочных компонент

EK_i	$ek_i^{A_1}$	$\underline{T}_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_2}$	$\underline{T}_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_3}$	$\underline{T}_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_4}$	$\underline{T}_{K_{EK_i}}$	$ek_i^{A_5}$	$\underline{T}_{K_{EK_i}}$
P , (<i>i=1</i>)	80	В	79	В	95	ОВ	86	ОВ	71	В
F , (<i>i=2</i>)	0,92	ОВ	0,83	В	0,9	ОВ	0,61	В	0,82	В
L , (<i>i=3</i>)	0,44	ОВ	0,39	В	0,45	ОВ	0,48	В	0,43	ОВ
D , (<i>i=4</i>)	8,4	В	9	ОВ	7	В	8,3	ОВ	9	ОВ

Осуществим вычисления показателя степени риска по формуле (3.21)

$$dr^{(A_1)} = 85,$$

$$dr^{(A_2)} = 80,$$

$$dr^{(A_3)} = 85,$$

$$dr^{(A_4)} = 80,$$

$$dr^{(A_5)} = 85$$

и для лингвистического распознавания полученных результатов воспользуемся формулой (3.22), тогда всем показателям $dr^{(A_1)}$, $dr^{(A_2)}$, $dr^{(A_3)}$, $dr^{(A_4)}$, $dr^{(A_5)}$ соответствует значения ЛП: «ПР».

Таблица 3.13. Пример 2 – классификация текущих значений компонент

EK_i	Значение λ для $A \in \{A_a\}$ ($a = \overline{1,5}$)																																															
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для $\underline{T}_{K_{EK_{jm}}}$				$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для $\underline{T}_{K_{EK_{jm}}}$				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для $\underline{T}_{K_{EK_{jm}}}$				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для $\underline{T}_{K_{EK_{jm}}}$				$\lambda_{ij}^{(A_5)}$ для $\underline{T}_{K_{EK_{jm}}}$																															
	$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$																															
P	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1		
F	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
L	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	
D	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1			

Далее вычисляется среднее значение степени риска

$$dr^{(cp)} = (85+80+85+80+85)/5 = 83$$

и по формуле (3.22) определяется его лингвистический эквивалент – «ПР». Как видно, при увеличении агрессивности среды окружения соответственно увеличился, как средний риск, так и отдельные значения по A_a ($a = \overline{1,5}$).

3.5. Метод анализа и оценивания рисков в нечеткой среде

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 неопределенностью эксперта, которая возникает в процессе 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 $T_{DR_1}, \dots, T_{DR_j}, \dots,$

T_{DR_m} представляются трапециевидными НЧ с ФП соответственно $\mu_1(dr), \dots, \mu_j(dr), \dots, \mu_m(dr)$, которые вычисляются по выражению (3.24) (см. п. 2.1) [1, 2]:

$$\mu_j(dr) = \begin{cases} L\left(\frac{b_j - dr}{b_j - a_j}\right), & dr \in [a_j, b_j]; \\ 1, & dr \in [b_j, b_{2j}]; \\ R\left(\frac{dr - b_{2j}}{c_j - b_{2j}}\right), & dr \in [b_{2j}, c_j], \end{cases} \quad (3.24)$$

где $a_j < b_{1j} \leq b_{2j} < c_j$, при $j = \overline{1, m}$, $\{a_1, c_m\} = \{\emptyset\}$, а $L(dr), R(dr)$ – функции (невозрастающие на множестве не положительных чисел), которые удовлетворяют свойствам:

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

Для целей компактного описания трапециевидные ФП $\mu(dr)$ удобно описывать трапециевидными НЧ вида

$$\underset{\sim}{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR},$$

где a_j и c_j – абсциссы нижнего основания, а b_{1j} и b_{2j} – абсциссы верхнего основания трапеции (рис. 3.17), задающей $\mu_j(dr)$ в области с ненулевой принадлежностью носителя dr соответствующему нечеткому подмножеству.

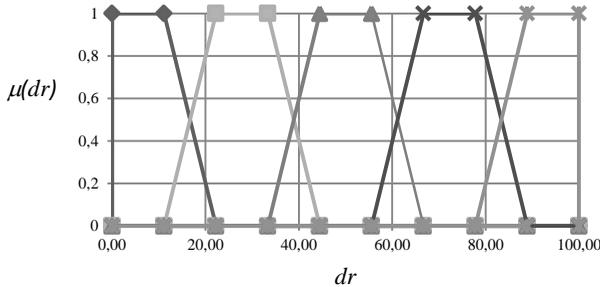


Рис. 3.17. Эталонны значений для ЛП DR

После определения ЛП эксперт может использовать ее как математический объект в соответствующих операциях и методах. Продемонстрируем это на примере FuzM.

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

$$\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5}.$$

Шаг 2 и Шаг 3 совпадают соответственно с шагами 2 и 3 DetM (п. 3.4).

Шаг 4 (Определение эталонных значений степени риска)

Здесь экспертами на основе выражения (3.24) 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 (3.24) 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. 3.14.

Таблица 3.14. Пример значений интервалов и $\mu_j(dr)$

Интервалы	Термы	$\mu_j(dr)$
$[b_{11}; b_{21}[= [0; 10[$	\underline{T}_{DR_1}	1
$[b_{21}; b_{12}[= [10; 20[$	\underline{T}_{DR_1}	$\mu_1(dr) = (20 - dr)/10$
	\underline{T}_{DR_2}	$\mu_2(dr) = 1 - \mu_1(dr)$
$[b_{12}; b_{22}[= [20; 30[$	\underline{T}_{DR_2}	1
$[b_{22}; b_{13}[= [30; 40[$	\underline{T}_{DR_2}	$\mu_2(dr) = (40 - dr) / 10$
	\underline{T}_{DR_3}	$\mu_3(dr) = 1 - \mu_2(dr)$
$[b_{13}; b_{23}[= [40; 50[$	\underline{T}_{DR_3}	1
$[b_{23}; b_{14}[= [50; 60[$	\underline{T}_{DR_3}	$\mu_3(dr) = (60 - dr) / 10$
	\underline{T}_{DR_4}	$\mu_4(dr) = 1 - \mu_3(dr)$
$[b_{14}; b_{24}[= [60; 70[$	\underline{T}_{DR_4}	1
$[b_{24}; b_{15}[= [70; 80[$	\underline{T}_{DR_4}	$\mu_4(dr) = (80 - dr) / 10$
	\underline{T}_{DR_5}	$\mu_5(dr) = 1 - \mu_4(dr)$
$[b_{15}; b_{25}] = [80; 100]$	\underline{T}_{DR_5}	1

Шаг 5 (Определение эталонных значений оценочных компонент)

На этом шаге экспертами производится определение эталонных значений для K_{EK_i} , аналогично шагу 5 DetM (см. табл. 3.8) с тем отличием, что здесь осуществляется разбиение полного множества указанных значений на нечеткие подмножества.

Для удобства отображения оценочных компонент через НЧ воспользуемся табл. 3.15.

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. 3.16.

Таблица 3.15. Отображение значений НЧ оценочных компонент

EK_i	НЧ $\tilde{X}_{K_{EK_i,j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\tilde{T}_{K_{EK_i,1}} - \tilde{T}_{K_{EK_i,m}}$ ($j = \overline{1,m}$)				
	$\tilde{T}_{K_{EK_i,1}}$	...	$\tilde{T}_{K_{EK_i,j}}$	...	$\tilde{T}_{K_{EK_i,m}}$
EK_1	$(a_{1min}; b_{11min}; b_{21}; c_1)$	...	$(a_{1j}; b_{1j}; b_{2j+1}; c_{j+1})$	...	$(a_{1m}; b_{11m}; b_{2max}; c_{1max})$
...
EK_i	$(a_{imin}; b_{i1min}; b_{i2}; c_i)$	...	$(a_{ij}; b_{ij}; b_{i2j+1}; c_{j+1})$	...	$(a_{im}; b_{i1m}; b_{i2max}; c_{imax})$
...
EK_g	$(a_{gmin}; b_{g1min}; b_{g2}; c_g)$	...	$(a_{gj}; b_{gj}; b_{g2j+1}; c_{g,j+1})$	...	$(a_{gm}; b_{g1m}; b_{g2max}; c_{gmax})$

Таблица 3.16. Пример определения эталонных значений НЧ оценочных компонент

EK_i	НЧ $\tilde{X}_{K_{EK_i,j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\tilde{T}_{K_{EK_i,1}} - \tilde{T}_{K_{EK_i,5}}$ ($j = \overline{1,5}$)				
	$\tilde{T}_{K_{EK_i,1}}$	$\tilde{T}_{K_{EK_i,2}}$	$\tilde{T}_{K_{EK_i,3}}$	$\tilde{T}_{K_{EK_i,4}}$	$\tilde{T}_{K_{EK_i,5}}$
	$(a_1; b_{11}; b_{21}; c_1)$	$(a_2; b_{12}; b_{22}; c_2)$	$(a_3; b_{13}; b_{23}; c_3)$	$(a_4; b_{14}; b_{24}; c_4)$	$(a_5; b_{15}; b_{25}; c_5)$
$EK_1=P$	(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)

Также НЧ для K_{EK_i} можно отобразить относительно интервалов значений

$$[b_{11}; b_{21}[, [b_{21}; b_{12}[, [b_{12}; b_{22}[, \dots, [b_{2j-1}; b_{1j}[, [b_{1j}; b_{2j}[, \dots,$$

$$[b_{2m-1}; b_{1m}[, [b_{1m}; b_{2m}] (j=\overline{1, m})$$

и ФП $\mu_j(ek_i^{A_u})$.

Конкретные данные для рассматриваемого примера при $m = 5$ (интервалы значений и ФП заданных термов) занесены в табл. 3.17.

Таблица 3.17. Пример значений интервалов и $\mu_j(ek_i^{A_u})$ ($i=\overline{1,4}$, $j=\overline{1,5}$)

Интервалы для EK_i				Термы	$\mu_j(ek_i^{A_u})$			
P	F	L	D		$T_{K_{EK_i j}}$	$\mu_j(ek_1^{A_u})$	$\mu_j(ek_2^{A_u})$	$\mu_j(ek_3^{A_u})$	$\mu_j(ek_4^{A_u})$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
[0;10]	[0;0,1]	[0;0,1]	[0;1]	$T_{K_{EK_i 1}}$	$\mu_1(ek_1^{A_u})=1$	$\mu_1(ek_2^{A_u})=1$	$\mu_1(ek_3^{A_u})=1$	$\mu_1(ek_4^{A_u})=1$
[10;20]	[0,1;0,2]	[0,1;0,15]	[1;2]	$T_{K_{EK_i 1}}$	$\mu_1(ek_1^{A_u}) = (20 - ek_1^{A_u}) / 10$	$\mu_1(ek_2^{A_u}) = (0,2 - ek_2^{A_u}) * 10$	$\mu_1(ek_3^{A_u}) = (0,15 - ek_3^{A_u}) * 20$	$\mu_1(ek_4^{A_u}) = (2 - ek_4^{A_u})$
				$T_{K_{EK_i 2}}$	$\mu_2(ek_1^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_1^{A_u})$	$\mu_2(ek_2^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_2^{A_u})$	$\mu_2(ek_3^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_3^{A_u})$	$\mu_2(ek_4^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_4^{A_u})$
[20;30]	[0,2;0,3]	[0,15;0,2]	[2;3]	$T_{K_{EK_i 2}}$	$\mu_2(ek_1^{A_u}) = 1$	$\mu_2(ek_2^{A_u}) = 1$	$\mu_2(ek_3^{A_u}) = 1$	$\mu_2(ek_4^{A_u}) = 1$
[30;40]	[0,3;0,4]	[0,2;0,25]	[3;4]	$T_{K_{EK_i 2}}$	$\mu_2(ek_1^{A_u}) = (40 - ek_1^{A_u}) / 10$	$\mu_2(ek_2^{A_u}) = (0,4 - ek_2^{A_u}) * 10$	$\mu_2(ek_3^{A_u}) = (0,25 - ek_3^{A_u}) * 20$	$\mu_2(ek_4^{A_u}) = (4 - ek_4^{A_u})$
				$T_{K_{EK_i 3}}$	$\mu_3(ek_1^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_1^{A_u})$	$\mu_3(ek_2^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_2^{A_u})$	$\mu_3(ek_3^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_3^{A_u})$	$\mu_3(ek_4^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_4^{A_u})$
[40;50]	[0,4;0,5]	[0,25;0,3]	[4;5]	$T_{K_{EK_i 3}}$	$\mu_3(ek_1^{A_u}) = 1$	$\mu_3(ek_2^{A_u}) = 1$	$\mu_3(ek_3^{A_u}) = 1$	$\mu_3(ek_4^{A_u}) = 1$

Продолжение табл. 3.17.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
[50;60]	[0,5;0,6]	[0,3;0,35]	[5;6]	$T_{\sim K_{EK_1,3}}$	$\mu_3(ek_1^{A_a}) =$ $(60 - ek_1^{A_a})$ /10	$\mu_3(ek_2^{A_a}) =$ $(0,6 - ek_2^{A_a})$ *10	$\mu_3(ek_3^{A_a}) =$ $(0,35 -$ $ek_3^{A_a}) *20$	$\mu_3(ek_4^{A_a}) =$ $(6 -$ $ek_4^{A_a})$
				$T_{\sim K_{EK_1,4}}$	$\mu_4(ek_1^{A_a}) =$ $1 - \mu_3$ $(ek_1^{A_a})$	$\mu_4(ek_2^{A_a}) =$ $1 - \mu_3$ $(ek_2^{A_a})$	$\mu_4(ek_3^{A_a}) =$ $1 - \mu_3$ $(ek_3^{A_a})$	$\mu_4(ek_4^{A_a}) =$ $1 - \mu_3$ $(ek_4^{A_a})$
[60;70]	[0,6;0,7]	[0,35;0,4]	[6;7]	$T_{\sim K_{EK_1,4}}$	$\mu_4(ek_1^{A_a}) = 1$	$\mu_4(ek_2^{A_a}) = 1$	$\mu_4(ek_3^{A_a}) = 1$	$\mu_4(ek_4^{A_a}) = 1$
[70;80]	[0,7;0,8]	[0,4;0,45]	[7;8]	$T_{\sim K_{EK_1,4}}$	$\mu_4(ek_1^{A_a}) =$ $(80 - ek_1^{A_a})$ /10	$\mu_4(ek_2^{A_a}) =$ $(0,8 - ek_2^{A_a})$ *10	$\mu_4(ek_3^{A_a}) =$ $(0,45 -$ $ek_3^{A_a}) *20$	$\mu_4(ek_4^{A_a}) =$ $(8 -$ $ek_4^{A_a})$
				$T_{\sim K_{EK_1,5}}$	$\mu_5(ek_1^{A_a}) =$ $1 - \mu_4(ek_1^{A_a})$	$\mu_5(ek_2^{A_a}) = 1 -$ μ_4 $(ek_2^{A_a})$	$\mu_5(ek_3^{A_a}) = 1 -$ μ_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]	$T_{\sim K_{EK_1,5}}$	$\mu_5(ek_1^{A_a}) = 1$	$\mu_5(ek_2^{A_a}) = 1$	$\mu_5(ek_3^{A_a}) = 1$	$\mu_5(ek_4^{A_a}) = 1$

Шаг 6 (Оценка текущих значений компонент).

Совпадает с шагом 6 DetM.

Шаг 7 (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 λ с помощью выражения (3.25).

Результаты проведенного вычисления для удобства заносятся в табл. 3.10, где $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ – уровень принадлежности носителя $ek_i^{A_a}$ нечеткому подмножеству K_{EK_i} .

$$\begin{aligned}
\lambda_{i_1}^{(A_a)} &= \begin{cases} 1 \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [bi_{11}, bi_{12}]; \\ 0 \text{ нпу } ek_i^{A_a} \notin [bi_{11}, ci_1]; \\ \mu_1(ek_i^{A_a}) \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [bi_{12}, ci_1]; \end{cases} \\
&\dots \\
\lambda_{ij}^{(A_a)} &= \begin{cases} \mu_j(ek_i^{A_a}) \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [ai_j, bi_{1j}]; \\ 1 \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [bi_{1j}, bi_{2j}]; \\ \mu_j(ek_i^{A_a}) \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [bi_{2j}, ci_j]; \\ 0 \text{ нпу } ek_i^{A_a} \notin [ai_j, ci_j]; \end{cases} \quad (3.25) \\
&\dots \\
\lambda_{im}^{(A_a)} &= \begin{cases} \mu_m(ek_i^{A_a}) \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [ai_m, bi_{1m}]; \\ 1 \text{ нпу } ek_i^{A_a} \in [bi_{1m}, bi_{2m}]; \\ 0 \text{ нпу } ek_i^{A_a} \notin [ai_m, bi_{2m}]. \end{cases} \\
&\quad (j = \overline{2, m-1}).
\end{aligned}$$

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

Шаг 9 (Формирование структурированного параметра риска)

На основании вычисленного значения $dr^{(A_a)}$ и построенных этапов (см. рис. 3.17, (3.24)) формируем структурированный параметр степени риска SP по выражению (3.26):

$$SP^{(A_a)} = \begin{cases} (dr^{(A_a)}; \underline{T}_{DR_j}) \text{ нпу } \mu_j(dr) = 1 \\ (dr^{(A_a)}; \underline{T}_{DR_j}(\mu_j(dr)); \underline{T}_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(dr))) \text{ нпу } \mu_j(dr), \mu_{j+1}(dr) \neq 1, \end{cases} \quad (3.26)$$

где $(dr^{(A_a)}, \underline{T}_{DR_j})$ словесно интерпретируется, как – степень риска

\underline{T}_{DR_j} с числовым эквивалентом $dr^{(A_a)}$, а $(dr^{(A_a)}; \underline{T}_{DR_j}(\mu_j(dr));$

$\underline{T}_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(dr)))$, как – степень риска с числовым эквивалентом

$dr^{(A_a)}$ граничит между \underline{T}_{DR_j} и $\underline{T}_{DR_{j+1}}$ с уверенностью эксперта по границе $\underline{T}_{DR_j} - \mu_j(dr)$ и $\underline{T}_{DR_{j+1}} - \mu_{j+1}(dr)$.

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

Рассмотрим работу метода на конкретном примере. По аналогии с DetM воспользуемся тем же активом и множествами E, A . Проведем классификацию текущих значений $ek_i^{A_a}$ по критерию табл. 3.17 и (3.25). Для A_a ($a = \overline{1,5}$) формула (3.25) принимает следующий вид:

$$\lambda_{i1}^{(A_a)} = \begin{cases} 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{11}, bi_{21}]; \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [bi_{11}, ci_1]; \\ \mu_1(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{12}, ci_1]; \end{cases}$$

$$\lambda_{i2}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_2(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [ai_2, bi_{12}]; \\ 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{12}, bi_{22}]; \\ \mu_2(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{22}, ci_2]; \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [ai_2, ci_2]; \end{cases}$$

$$\lambda_{i3}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_3(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [ai_3, bi_{13}]; \\ 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{13}, bi_{23}]; \\ \mu_3(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{23}, ci_3]; \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [ai_3, ci_3]; \end{cases}$$

$$\lambda_{i_4}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_4(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [ai_4, bi_{14}]; \\ 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{14}, bi_{24}]; \\ \mu_4(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{24}, ci_4]; \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [ai_4, ci_4]; \end{cases}$$

$$\lambda_{i_5}^{(A_a)} = \begin{cases} \mu_5(ek_i^{A_a}) \text{ при } ek_i^{A_a} \in [ai_5, bi_{15}]; \\ 1 \text{ при } ek_i^{A_a} \in [bi_{15}, bi_{25}]; \\ 0 \text{ при } ek_i^{A_a} \notin [ai_5, bi_{25}], \end{cases}$$

а вычисленные с ее помощью значения на основании табл. 3.10 заносятся в табл. 3.18. Теперь произведем оценку степени риска ИБ по формуле (3.21).

Таблица 3.18. Пример 1 – классификация текущих значений компонент

EK_i	Значение λ для $A \in \{A_a\}$ ($a=1,5$)																								
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для				$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для				$\lambda_{ij}^{(A_5)}$ для								
	$T_{EK,m}^{K_{EK,m}}$				$T_{EK,m}^{K_{EK,m}}$				$T_{EK,m}^{K_{EK,m}}$				$T_{EK,m}^{K_{EK,m}}$				$T_{EK,m}^{K_{EK,m}}$								
	$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5})$								
P	0	0	0	0,8	0,2	0	0	0,2	0,8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
F	0	0	0	0,8	0,2	0	0	0,2	0,8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
L	0	0,4	0,6	0	0	0	0	0,4	0,6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,2	0,8	0	0
D	0	0	0,6	0,4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,5	0,5	0

В результате получим следующие значения:

$$dr^{(A_1)} = 62,$$

$$dr^{(A_2)} = 66,$$

$$dr^{(A_3)} = 50,$$

$$dr^{(A_4)} = 75,$$

$$dr^{(A_5)} = 61,5$$

и далее на основе (3.24) и (3.26) формируются $SP^{(A_a)}$:

$$SP^{(A_1)} = (dr^{(A_1)}; T_{DR_1}) = (62; PB),$$

$$SP^{(A_2)} = (66; \text{PB}),$$

$$SP^{(A_3)} = (50; \text{PC}),$$

$$SP^{(A_4)} = (dr^{(A_4)}; T_{DR_4}(\mu_4(dr); T_{DR_5}(\mu_5(dr)))) = (75; \text{PB}(0,5); \text{ПР}(0,5)),$$

$$SP^{(A_5)} = (61,5; \text{PB}),$$

где, например, (62; PB) словесно интерпретируется, как – степень риска высокая с числовым эквивалентом 62, а (75; PB(0,5); ПР(0,5)), как – степень риска с числовым эквивалентом 75 граничит между высоким риском и придельным риском с уверенностью эксперта по границе PB – 0,5 и ПР – 0,5.

Также для данного актива по аналогии с DetM (шаг 9) на основе (3.23), можно вычислить среднее значение степени риска:

$$dr^{(cp)} = (62+66+50+75+61,5)/5=62,9$$

и сформировать для него

$$SP^{(cp)} = (62,9; \text{PB}).$$

Аналогично (в целях верификации метода) выполним вычисления при среде окружения заданного ресурса с повышенным уровнем риска (на основании данных табл. 3.12 DetM).

Произведем классификацию текущих значений оценочных компонент, а результаты занесем в табл. 3.19. Вычисляем степени риска по формуле (3.21), в результате чего получим следующие значения:

$$dr^{(A_1)} = 89,$$

$$dr^{(A_2)} = 84,5,$$

$$dr^{(A_3)} = 85,$$

$$dr^{(A_4)} = 85,$$

$$dr^{(A_5)} = 83,4,$$

$$SP^{(A_1)} = (89; \text{ПР}),$$

$$SP^{(A_2)} = (84,5; \text{ПР}),$$

$$SP^{(A_3)} = (85; \text{ПР}),$$

$$SP^{(A_4)} = (85; \text{ПР}),$$

$$SP^{(A_5)} = (83,4; \text{ПР}),$$

а также определяются

$$dr^{(cp)} = (89+84,5+85+85+83,4)/5=85,4 \text{ и } SP^{(cp)} = (85,4; \text{ПР}).$$

Как видно, при увеличении агрессивности среды окружения соответственно увеличился, как средний риск с «РВ» до «ПР», так и отдельные значения по A_a ($a = \overline{1,5}$), например – A_1 с «РВ» до «ПР».

Таблица 3.19. Пример 2 – классификация текущих значений компонент

EK_i	Значение λ для $A \in \{A_a\}$ ($a = \overline{1,5}$)																									
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для $T_{K_{EK,m}}$ ($i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для $T_{K_{EK,m}}$ ($i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для $T_{K_{EK,m}}$ ($i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для $T_{K_{EK,m}}$ ($i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_5)}$ для $T_{K_{EK,m}}$ ($i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,5}$)									
	P	F	L	D																						
P	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0,1	0,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0,9	0,1
F	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
L	0	0	0	0,2	0,8	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0,4	0,6	
D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1		

Также следует сказать, что при ситуации с зоной неуверенности (когда эксперт сомневается в однозначности своих приоритетов) FuzM дает возможность эксперту, при дальнейшей обработке рисков, использовать не только фиксированное значение показателей, а и допустимые интервалы, расширяющие возможности по принятию соответствующих решений.

3.6. Интегрированный метод анализа и оценивания рисков информационной безопасности

Как отмечалось, в процессе АОР возникают ситуации, при которых эксперт не всегда четко может оценить ту или иную угрозу ИБ. Для решения такого рода задач применяются детерминированный или нечеткий методы АОР п. 3.4 и п. 3.5, на основе которых были разработаны соответствующие системы [2]. Они применяются для АОР в различных условиях среды оценивания, например, в детерминированной среде используют Det-АОР систему, а в нечеткой – Fuz-АОР [1, 2].

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, рассмотренных в книге 1, не реализуется указанные интегрированные возможности.

В связи с этим, предлагается интегрированный метод АОР, который позволит реализовать оценивание в детерминированных и нечетких средах. В основу метода положены разработки, проведенные в работе [1, 2] и возможности осуществления трансформирования эталонных терм-множеств рассмотренных в главе 2. Предлагаемый интегрированный метод содержит 10 шагов. Рассмотрим детально его работу.

Шаг 1 (Определение множества угроз)

На первом шаге экспертами согласно идентифицированным ИП определяется множество их угроз. Для создания этого множества в качестве основы используем модель параметров интегрированного представления рисков [2], где $A \in \{A_a\} (a = \overline{1, n})$ – множество действий, элементы которых могут привести к множеству событий нарушения ИБ $E \in \{E_e\} (e = \overline{1, 7})$ – например, E отражается значением $E_7 =$ «НКЦД», а при $n=5$ эксперты могут идентифицировать, следующие $A \in \{A_a\} (a = \overline{1, 5})$: $A_1 =$ «Кража документов по договорным отношениям»; $A_2 =$ «Кража сервера с конфиденциальной информацией»; $A_3 =$ «Случайное удаление сотрудником отдела базы данных или файлов с сервера»; $A_4 =$ «Нарушение атомарности транзакций»; $A_5 =$ «Разрушения программного обеспечения».

Шаг 2 (Определение множества параметров для оценивания риска)

Для отображения общего результата АОР воспользуемся ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА» (DR), которая была описана в п. 3.4 шаг 1 метода DetM. Также здесь по аналогии с шагом 1 метода DetM (п. 3.4), определяется полное множество оценочных компонент, вводится ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА EK_i » (K_{EK_i}), которая была описана в шаге 1 метода DetM. Для отобра-

жения значений оценочных компонент воспользуемся табл. 3.15 представленную на шаге 5 в описании FuzM метода (п. 3.5).

Шаг 3 (Определение количества терм-множеств)

Для эквивалентного преобразования m -мерных термов НЧ ЛП $DR^{(m)}$ в $DR^{(m-n)}$ или $DR^{(m+n)}$ и $K_{EK_i}^{(m)}$ в $K_{EK_i}^{(m-n)}$ или $K_{EK_i}^{(m+n)}$ предлагается воспользоваться методом трансформирования термов (см. главу 2). Например, пусть исходная ЛП $DR^{(m)}$ имеет вид:

$$DR^{(m)} \{ \underset{\sim}{T}_{DR_1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{DR_j}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{DR_m}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR} \}, \text{ а преобразованная } -$$

$$DR^{(m-1)} \{ \underset{\sim}{T}_{DR_1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_{11}^{(m-1)}; b_{21}^{(m-1)}; c^{(m-1)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{DR_j}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{DR_{m-1}}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR} \} (j = \overline{1, m}, i = \overline{1, 2}) \text{ и}$$

$$K_{EK_i}^{(m)} \{ \underset{\sim}{T}_{EK_1}^{(m)} = (a_1^{(m)}; b_{11}^{(m)}; b_{21}^{(m)}; c_1^{(m)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{EK_j}^{(m)} = (a_j^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; b_{ij}^{(m)}; c_j^{(m)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{EK_m}^{(m)} = (a_m^{(m)}; b_{im}^{(m)}; b_{im}^{(m)}; c_m^{(m)})_{LR} \}, \text{ а преобразованная } -$$

$$K_{EK_i}^{(m-1)} \{ \underset{\sim}{T}_{EK_1}^{(m-1)} = (a_1^{(m-1)}; b_{11}^{(m-1)}; b_{21}^{(m-1)}; c^{(m-1)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{EK_j}^{(m-1)} = (a_j^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; b_{ij}^{(m-1)}; c_j^{(m-1)})_{LR}, \dots, \underset{\sim}{T}_{EK_{m-1}}^{(m-1)} = (a_{m-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; b_{im-1}^{(m-1)}; c_{m-1}^{(m-1)})_{LR} \} (j = \overline{1, m}, i = \overline{1, 2}), \text{ тогда функцию трансформирования}$$

ЛП на минус один порядок обозначим через $FT^{-1}(LPII)$. Так, например, уменьшение $DR^{(m)}$ и $K_{EK_i}^{(m)}$ на один порядок можно представить как:

$$DR^{(m-1)} = FT^{-1}(DR^{(m)}), \text{ и } K_{EK_i}^{(m-1)} = FT^{-1}(K_{EK_i}^{(m)}).$$

Данный метод реализуется с различным типом распределения НЧ по оси dr (см. главу 2).

Шаг 4, 6, 7 и 9 соответственно взаимосвязаны с шагами 3, 4, 6 и 8 DetM (см. п. 3.4), а шаги 5, 8 и 10 соответственно коррелируются с шагами 5, 7 и 9 FuzM (см. п. 3.5)

Рассмотрим на конкретном примере работу предложенного метода. Пусть эксперты определили ИР для АОР $ИР_1 = \text{«Файловый сервер»}$.

Шаг 1.

Относительно этого ресурса были идентифицированы угрозы $A \in \{A_a\} (a = \overline{1,5})$:

$A_1 = \text{«Кража документов по договорным отношениям»};$

$A_2 = \text{«Кража сервера с конфиденциальной информацией»};$

$A_3 = \text{«Случайное удаление сотрудником отдела базы данных или файлов с сервера»};$

$A_4 = \text{«Нарушение атомарности транзакций»};$

$A_5 = \text{«Разрушения программного обеспечения»}$ и т.д.

Шаг 2.

Для оценивания риска определены следующие множества: DR , $K_{EK_i}^{(m)}$, воспользуемся множеством оценочных компонент с шестнадцатеричным кодом 3Ch, тогда $EK_{3Ch} \in \{EK_i\} = \{EK_1, EK_2, EK_3, EK_4\} = \{P, F, L, D\}$.

Шаг 3.

Определим количества необходимых терм-множеств для АОР, пусть $m=5$.

Шаг 4.

Оценку LS осуществим по формуле (3.19) т.е., $LS_i = 1/g = 0,25 (i = \overline{1,4})$.

Шаг 5 и 6.

Рассмотрим случай, когда эксперты определили для оценивания базовые терм-множества 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) } (см. табл. 3.10), и

$$\bigcup_{j=1}^5 T_{K_{EK_i,j}} = \{ \text{«Очень низкий» (ОН)}, \text{«Низкий» (Н)},$$

«Средний» (С), «Высокий» (В), «Очень высокий» (ОВ)}
(см. табл. 3.16 и 3.17).

Шаг 7.

Текущее состояние ИБ IP_1 характеризуется значениями оценочных компонент ek по каждому A , которые определяются на основе экспертных суждений. Для осуществления дальнейших расчетов будут использоваться данные представленные в табл. 3.20.

Таблица 3.20. Определение текущих значений оценочных компонент

EK_i	$ek_i^{A_1}$	$ek_i^{A_2}$	$ek_i^{A_3}$	$ek_i^{A_4}$	$ek_i^{A_5}$
$P, (i=1)$	76	59	66	75	62
$F, (i=2)$	0,76	0,59	0,66	0,75	0,62
$L, (i=3)$	0,23	0,33	0,12	0,4	0,2
$D, (i=4)$	5,4	6	2,2	9	5,5

Шаг 8.

Далее проводится классификация текущих значений ek_i^A по формуле (3.25), а результаты заносятся в табл. 3.21.

Таблица 3.21. Классификация текущих значений компонент

EK_i	Значение λ для $A \in \{A_a\}$ ($a = \overline{1,5}$)																								
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для $T_{KEK,m}$ ($i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$)						$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для $T_{KEK,m}$ ($i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для $T_{KEK,m}$ ($i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для $T_{KEK,m}$ ($i = \overline{1,4}, j = \overline{1,5}$)										
	0	0	0	0,4	0,6	0	0	0	0,1	0,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	1	0
P	0	0	0	0,4	0,6	0	0	0	0,1	0,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	1	0
F	0	0	0	0,4	0,6	0	0	0	0,1	0,9	0	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0,5	0	0	0	1	0
L	0	0,4	0,6	0	0	0	0	0,4	0,6	0	0,6	0,4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
D	0	0	0,6	0,4	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,5	0,5	0

Шаг 9.

Произведем вычисления показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.21), где $m = 5, j = \overline{1,5}, i = \overline{1,4}, a = \overline{1,5}, dr_1=10, dr_2=30, dr_3=50, dr_4=70, dr_5=90$, тогда $dr^{(A_1)} = 66, dr^{(A_2)} = 67, dr^{(A_3)} = 47, dr^{(A_4)} = 80, dr^{(A_5)} = 57,5$.

Шаг 10.

С помощью (3.26) формируются $SP^{(A_a)}$:

$$SP^{(A_1)} = (dr^{(A_1)}; T_{DR_1}) = (66; PB), SP^{(A_2)} = (dr^{(A_2)}; T_{DR_1}) = (67; PB),$$

$SP^{(A_3)} = (47; PC), SP^{(A_4)} = (80; PP), SP^{(A_5)} = (dr^{(A_5)}; T_{\sim DR_3}(\mu_3(dr);$

$T_{\sim DR_4}(\mu_4(dr))) = (57,5; PC(0,25); PB(0,75))$, где, например, (66; PB)

словесно интерпретируется, как – степень риска высокая с числовым эквивалентом 66, а (57,5; PC(0,25); PB(0,75)), как – степень риска с числовым эквивалентом 57,5 граничит между средним риском и высоким риском с уверенностью эксперта по границе PC – 0,25 и PB – 0,75.

Также для данного ИП на основе выражения из п. 3.4, можно вычислить среднее значение степени риска:

$dr^{(cp)} = (66+67+47+80+57,5)/5=63,5$ и сформировать для него $SP^{(cp)} = (63,5; PB)$.

Аналогично (в целях верификации метода) выполним вычисления при $m=4$ НЧ. Для этого выполним, в соответствии с выражениями представленными в главе 2 декрементирование порядка ЛП, т.е. $DR^{(4)} = FT^{-1}(DR^{(5)})$ и $K_{EK_i}^{(4)} = FT^{-1}(K_{EK_i}^{(5)})$. В результате трансформирования термов ЛП, получим, например, для $DR^{(4)}$ следующие значения:

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

числовые эквиваленты, которых приведены в табл. 3.22.

Таблица 3.22. Пример эталонных трапецевидных НЧ при $m=4$

НЧ ЛП	НЧ $T_{\sim DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,4})$ и $T_{\sim K_{EK_i j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR} (j = \overline{1,4})$			
	$T_{\sim DR_1}, T_{\sim K_{EK_{11}}}$	$T_{\sim DR_2}, T_{\sim K_{EK_{22}}}$	$T_{\sim DR_3}, T_{\sim K_{EK_{33}}}$	$T_{\sim DR_4}, T_{\sim K_{EK_{44}}}$
DR	$(0; 0; 13,33; 29,41)_{LR}$	$(17,65; 26,67; 40; 52,94)_{LR}$	$(41,18; 53,33; 66,67; 76,47)_{LR}$	$(64,71; 80; 100; 100)_{LR}$
P	$(0; 0; 13,33; 29,41)_{LR}$	$(17,65; 26,67; 40; 52,94)_{LR}$	$(41,18; 53,33; 66,67; 76,47)_{LR}$	$(64,71; 80; 100; 100)_{LR}$
F	$(0; 0; 0,13; 0,29)_{LR}$	$(0,18; 0,27; 0,4; 0,53)_{LR}$	$(0,41; 0,53; 0,67; 0,76)_{LR}$	$(0,65; 0,8; 1; 1)_{LR}$
L	$(0; 0; 0,1; 0,18)_{LR}$	$(0,12; 0,17; 0,23; 0,29)_{LR}$	$(0,24; 0,3; 0,37; 0,41)_{LR}$	$(0,35; 0,43; 0,5; 0,5)_{LR}$
D	$(0; 0; 1,33; 2,94)_{LR}$	$(1,76; 2,67; 4; 5,29)_{LR}$	$(4,12; 5,33; 6,67; 7,65)_{LR}$	$(6,47; 8; 10; 10)_{LR}$

А для $K_{EK_i}^{(4)}$ в результате трансформирования термов ЛП, получим, например, следующие значения:

$$\bigcup_{j=1}^4 T_{K_{EK_i,j}} = \{\text{«очень низкий» (ОН),} \\ \text{«средний» (С), «высокий» (В),} \\ \text{«очень высокий» (ОВ)}\},$$

числовые эквиваленты, которых приведены в табл. 3.22.

На основе полученных данных после трансформации реализуем АОР. Воспользуемся аналогичным ИР и идентифицированными угрозами. Сформируем интервалы значений и μ_j при $m=4$ для DR и $K_{EK_i}^{(m)}$, а результаты отразим в табл. 3.23 и 3.24 соответственно.

Таблица 3.23. Пример значений интервалов и $\mu_j(dr)$ при $m=4$

Интервалы	Термы	$\mu_j(dr)$
[0; 13,33[	\underline{T}_{DR_1}	1
[13,33; 26,67[	\underline{T}_{DR_1}	$\mu_1(dr)=(26,67-dr)/10$
	\underline{T}_{DR_2}	$\mu_2(dr)=1-\mu_1(dr)$
[26,67; 40[	\underline{T}_{DR_2}	1
[40; 53,33[	\underline{T}_{DR_2}	$\mu_2(dr)=(53,33-dr)/10$
	\underline{T}_{DR_3}	$\mu_3(dr)=1-\mu_2(dr)$
[53,33; 66,67[	\underline{T}_{DR_3}	1
[66,67; 80[	\underline{T}_{DR_3}	$\mu_3(dr)=(80-dr)/10$
	\underline{T}_{DR_4}	$\mu_4(dr)=1-\mu_3(dr)$
[80; 100[	\underline{T}_{DR_4}	1

Для определения текущих значений оценочных компонент воспользуемся табл. 3.21.

Таблица 3.24. Пример значений интервалов и $\mu_j(ek_i^{A_u})$ ($i = \overline{1,4}$, $j = \overline{1,4}$)

Интервалы для EK_i				Термы $\tilde{T}_{K_{EK_i,j}}$	$\mu_j(ek_i^{A_u})$			
P	F	L	D		$\mu_1(ek_1^{A_u})$	$\mu_2(ek_2^{A_u})$	$\mu_3(ek_3^{A_u})$	$\mu_4(ek_4^{A_u})$
[0;13,33[	[0;0,13[	[0;0,1[	[0;1,33[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,1}}$	$\mu_1(ek_1^{A_u}) = 1$	$\mu_1(ek_2^{A_u}) = 1$	$\mu_1(ek_3^{A_u}) = 1$	$\mu_1(ek_4^{A_u}) = 1$
[13,33;26,67[	[0,13;0,27[	[0,1;0,17[	[1,33;2,67[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,1}}$	$\mu_1(ek_1^{A_u}) = (29,41 - ek_1^{A_u}) / 10$	$\mu_1(ek_2^{A_u}) = (0,27 - ek_2^{A_u}) * 10$	$\mu_1(ek_3^{A_u}) = (0,17 - ek_3^{A_u}) * 20$	$\mu_1(ek_4^{A_u}) = (2,67 - ek_4^{A_u})$
				$\tilde{T}_{K_{EK_1,2}}$	$\mu_2(ek_1^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_1^{A_u})$	$\mu_2(ek_2^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_2^{A_u})$	$\mu_2(ek_3^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_3^{A_u})$	$\mu_2(ek_4^{A_u}) = 1 - \mu_1(ek_4^{A_u})$
[26,67;40[	[0,27;0,4[	[0,17;0,23[	[2,67;4[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,2}}$	$\mu_2(ek_1^{A_u}) = 1$	$\mu_2(ek_2^{A_u}) = 1$	$\mu_2(ek_3^{A_u}) = 1$	$\mu_2(ek_4^{A_u}) = 1$
[40;53,33[	[0,4;0,53[	[0,23;0,3[	[4;5,33[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,2}}$	$\mu_2(ek_1^{A_u}) = (53,33 - ek_1^{A_u}) / 10$	$\mu_2(ek_2^{A_u}) = (0,53 - ek_2^{A_u}) * 10$	$\mu_2(ek_3^{A_u}) = (0,3 - ek_3^{A_u}) * 20$	$\mu_2(ek_4^{A_u}) = (5,33 - ek_4^{A_u})$
				$\tilde{T}_{K_{EK_1,3}}$	$\mu_3(ek_1^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_1^{A_u})$	$\mu_3(ek_2^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_2^{A_u})$	$\mu_3(ek_3^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_3^{A_u})$	$\mu_3(ek_4^{A_u}) = 1 - \mu_2(ek_4^{A_u})$
[53,33;66,67[	[0,53;0,67[	[0,3;0,37[	[5,33;6,67[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,3}}$	$\mu_3(ek_1^{A_u}) = 1$	$\mu_3(ek_2^{A_u}) = 1$	$\mu_3(ek_3^{A_u}) = 1$	$\mu_3(ek_4^{A_u}) = 1$
[66,67;80[	[0,67;0,8[	[0,37;0,43[	[6,67;8[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,3}}$	$\mu_3(ek_1^{A_u}) = (80 - ek_1^{A_u}) / 10$	$\mu_3(ek_2^{A_u}) = (0,8 - ek_2^{A_u}) * 10$	$\mu_3(ek_3^{A_u}) = (0,43 - ek_3^{A_u}) * 20$	$\mu_3(ek_4^{A_u}) = (8 - ek_4^{A_u})$
				$\tilde{T}_{K_{EK_1,4}}$	$\mu_4(ek_1^{A_u}) = 1 - \mu_3(ek_1^{A_u})$	$\mu_4(ek_2^{A_u}) = 1 - \mu_3(ek_2^{A_u})$	$\mu_4(ek_3^{A_u}) = 1 - \mu_3(ek_3^{A_u})$	$\mu_4(ek_4^{A_u}) = 1 - \mu_3(ek_4^{A_u})$
[80;100[	[0,8;1[	[0,43;0,5[	[8;10[	$\tilde{T}_{K_{EK_1,4}}$	$\mu_4(ek_1^{A_u}) = 1$	$\mu_4(ek_2^{A_u}) = 1$	$\mu_4(ek_3^{A_u}) = 1$	$\mu_4(ek_4^{A_u}) = 1$

Произведем классификацию текущих значений по формуле (3.25), а полученные результаты занесем в таблицу 3.25.

Реализуем вычисления показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.21), где $m = 4$, $j = 1, 4$, $i = 1, 4$, $a = 1, 5$, $dr_1=10$, $dr_2=37$, $dr_3=63$, $dr_4=90$, тогда $dr^{(A_1)} = 64,7$, $dr^{(A_2)} = 63,3$, $dr^{(A_3)} = 40,2$, $dr^{(A_4)} = 79,3$, $dr^{(A_5)} = 56,7$.

С помощью (3.26) формируются $SP^{(A_a)}$:

$$SP^{(A_1)} = (dr^{(A_1)}; T_{DR_3}) = (64,7; \text{PB}),$$

$$SP^{(A_2)} = (dr^{(A_2)}; T_{DR_3}) = (63,3; \text{PB}),$$

$$SP^{(A_3)} = (dr^{(A_3)}; T_{DR_2}) = (40,2; \text{PC}),$$

$$SP^{(A_4)} = (79,3; \text{ПР}),$$

$$SP^{(A_5)} = (56,7; \text{PB}).$$

Таблица 3.25. Классификация текущих значений компонент

EK_i	Значение λ для $A \in \{A_a\}$ ($a = \overline{1,5}$)																			
	$\lambda_{ij}^{(A_1)}$ для $T_{K EK_{jm}}$				$\lambda_{ij}^{(A_2)}$ для $T_{K EK_{jm}}$				$\lambda_{ij}^{(A_3)}$ для $T_{K EK_{jm}}$				$\lambda_{ij}^{(A_4)}$ для $T_{K EK_{jm}}$				$\lambda_{ij}^{(A_5)}$ для $T_{K EK_{jm}}$			
	$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4})$				$(i = \overline{1,4}, j = \overline{1,4})$			
P	0	0	0,4	0,6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0,5	0	0	1	0
F	0	0	0,4	0,6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0,5	0,5	0	0	1	0
L	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0,6	0,4	0	1	0	0
D	0	0	1	0	0	0	1	0	0,47	0,53	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

Также для данного ИР на основе выражения из п. 3.4, можно вычислить среднее значение степени риска:

$$dr^{(cp)} = (64,7 + 63,3 + 40,2 + 79,3 + 56,7) / 5 = 60,84$$

и сформировать для него

$$SP^{(cp)} = (60,84; \text{PB}).$$

Как видно на рис. 3.18 при изменении количества термножеств $m = 5$ на $m = 4$ среднее значение степени риска остается на уровне «PB».

С целью упрощения расчетов рисков и усовершенствования методов в работе рассматривается интегрированный метод АОР, который в отличие от известных (см. книгу 1) предоставляет возмож-

ность оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами с выбором необходимого количества терм-множеств (см. рис. 3.18), а изменение терм-множеств не влияет на конечный результат и при тех же входящих параметрах он остается адекватным.

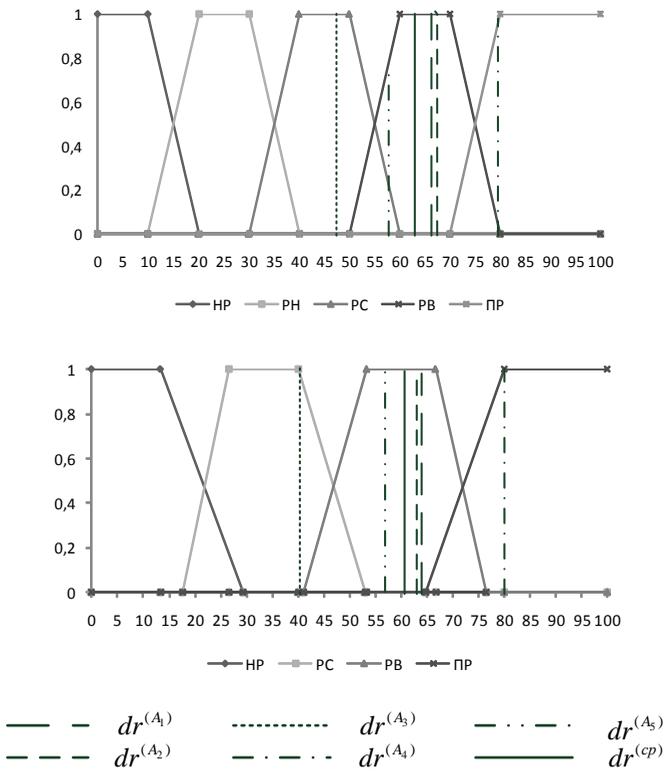


Рис. 3.18 Сравнение результатов АОР при $m = 5$ и $m = 4$

3.7. Качественно-количественный метод оценивания рисков

Часто при АОР не всегда имеется возможность привлечения соответствующих специалистов, а также возникают ситуации, при которых эксперт не всегда однозначно может оценить ту или иную уязвимость РИС. Для этого предлагается использовать соответствующие БД уязвимостей (в которых представлены их количественные оценки), например, такие как National Vulnerability

Database (NVD), банк данных угроз безопасности информации, Open Sourced Vulnerability Database (OSVDB), IBM X-Force, US-CERT VND, SecurityFocus и т.д. (см. книгу 1). Базовой составляющей таких БД являются CVSS – показатели, которые можно использовать в качестве альтернативы оценкам экспертов.

В связи с этим, реализуем разработку метода ОР, который позволит осуществить альтернативное оценивание рисков с использованием известных БД не привлекая экспертов соответствующей предметной области.

В основу такого метода положены исследования проведенные в [1, 2]. Предложенный метод основывается на 11 шагах.

Шаг 1 (Определение полного множества идентификаторов РИС и уязвимостей)

На первом шаге определяется полное множество идентификаторов всех РИС, т.е.

$$RIS = \left\{ \bigcup_{rs=1}^r RIS_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, r}),$$

где r – количество всех ресурсов (и соответственно их идентификаторов), а также полное множество уязвимостей

$$V = \left\{ \bigcup_{uz=1}^n V_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n}),$$

где n – количество всех уязвимостей (и соответственно их идентификаторов). На основе **RIS** и **V** эксперты могут определять множества РИС и уязвимостей по оцениваемому объекту. Для создания соответствующих множеств (в качестве основы), например, может использоваться известная БД уязвимостей NVD (см. книгу 1).

Шаг 2 (Определение множества идентификаторов РИС и уязвимостей для объекта оценивания)

Здесь на основе множества **RIS** для конкретного объекта оценивания экспертами определяется требуемое множество РИС (и соответственно их идентификаторов) **RISO** ($RISO \subset RIS$), т.е.

$$RISO = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} RISO_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro}),$$

где ro – количество оцениваемых РИС на объекте. Далее относительно всех $RISO_{rs}$ определяются множества их уязвимостей $V_{rs} \subset V$ (и соответственно их идентификаторов), т.е.

$$\left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} V_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} V_{rs,uz} \right\} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro}, \quad uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

где n_{rs} – возможное количество идентифицированных уязвимостей rs -того оцениваемого РИС ($RISO_{rs}$).

Шаг 3 (Определение множества параметров оценивания риска)

Введем множество оценок риска LR для определенного на втором шаге $RISO$, т.е.

$$LR = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} LR_{rs} \right\} = \{LR_1, \dots, LR_{rs}\} \quad (rs = \overline{1, ro}).$$

Также для ОП по каждой уязвимости, отображенной идентификатором $V_{rs,uz}$ введем множества LRV_{rs} , т.е.

$$\left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} LRV_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} LRV_{rs,uz} \right\} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro}, \quad uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

где $LRV_{rs,uz}$ – количественная оценка риска по каждой uz -той уязвимости rs -того РИС на объекте.

Для отображения результата ОП воспользуемся ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА» (DR), представленной в п. 4.2.

Далее, для обеспечения процесса оценивания, берутся за основу показатели CVSS [3] из NVD (см. книгу 1). Для этого определим необходимые множества параметров EP_i , ($i = \overline{1, g}$), используемых для оценивания, т.е.

$$EP = \left\{ \bigcup_{i=1}^g EP_i \right\} = \{EP_1, EP_2, \dots, EP_g\},$$

где g – количество множеств таких параметров.

Отметим, например, что для версии 2 оценок CVSS (при $g=3$) [3] могут быть определены следующие множества значений –

$$\left\{ \bigcup_{i=1}^3 EP_i \right\} = \{EP_1, EP_2, EP_3\} = \{B, T, E\} \quad (i = \overline{1, 3}),$$

где:

B – базовые (Base) метрики, представляемые в виде множества

$$B = \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} B_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

члены которых определяются посредством группы множеств параметров

$$AV_{uz}, AC_{uz}, AU_{uz}, C_{uz}, I_{uz}, A_{uz} \quad (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

где:

AV_{uz} – вектор доступа, который отображается в виде множества

$$AV_{uz} = \left\{ \bigcup_{av=1}^3 AV_{uz,av} \right\} = \{AV_{uz,1}, AV_{uz,2}, AV_{uz,3}\} = \{L, A, N\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, av = \overline{1, 3})$, где: L – «Локальный доступ» = 0,395; A – «Сопряженная сеть» = 0,646; N – «Сеть» = 1;

AC_{uz} – сложность доступа, представляемая множеством

$$AC_{uz} = \left\{ \bigcup_{ac=1}^3 AC_{uz,ac} \right\} = \{AC_{uz,1}, AC_{uz,2}, AC_{uz,3}\} = \{H, M, L\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ac = \overline{1, 3})$, где: H – «Высокая» = 0,35; M – «Средняя» = 0,61; L – «Низкая» = 0,71;

AU_{uz} – аутентификация, которая представляется множеством

$$AU_{uz} = \left\{ \bigcup_{u=1}^3 AU_{uz,u} \right\} = \{AU_{uz,1}, AU_{uz,2}, AU_{uz,3}\} = \{M, S, N\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, u = \overline{1, 3})$, где: M – «Многоразовая» = 0,45; S – «Одноразовая» = 0,56; N – «Отсутствующая» = 0,704;

C_{uz} – воздействие на конфиденциальность, определяемое в виде множества

$$C_{uz} = \left\{ \bigcup_{c=1}^3 C_{uz,c} \right\} = \{C_{uz,1}, C_{uz,2}, C_{uz,3}\} = \{N, P, C\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, c = \overline{1, 3})$, где: N – «Отсутствующее» = 0; P – «Частичное» = 0,275; C – «Полное» = 0,66;

I_{uz} – воздействие на целостность, которое представляется множеством

$$I_{uz} = \left\{ \bigcup_{in=1}^3 I_{uz,in} \right\} = \{I_{uz,1}, I_{uz,2}, I_{uz,3}\} = \{N, P, C\}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $in = \overline{1, 3}$), где: N – «Отсутствующее» = 0; P – «Частичное» = 0,275; C – «Полное» = 0,66;

A_{uz} – воздействие на доступность, которое может представляться множеством

$$A_{uz} = \left\{ \bigcup_{ai=1}^3 A_{uz,ai} \right\} = \{A_{uz,1}, A_{uz,2}, A_{uz,3}\} = \{N, P, C\}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $ai = \overline{1, 3}$), где: N – «Отсутствующее» = 0; P – «Частичное» = 0,275; C – «Полное» = 0,66;

T – **временные (Temporal) метрики**, представленные в виде множества

$$T = \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} T_{uz} \right\}, (uz = \overline{1, n_{rs}})$$

члены которых определяются посредством группы множеств параметров:

$$EX_{uz}, RL_{uz}, RC_{uz}, (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

где

EX_{uz} – возможность использования, которая может представляться как множество

$$EX_{uz} = \left\{ \bigcup_{ex=1}^5 EX_{uz,ex} \right\} = \{EX_{uz,1}, \dots, EX_{uz,5}\} = \{U, POC, F, H, X\}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $ex = \overline{1, 5}$), где: U – «Теоретическая (нет доказательств)» = 0,85; POC – «Экспериментальная» = 0,9; F – «Функциональная» = 0,95; H – «Высокая» = 1; X – «Неопределённая» = 1;

RL_{uz} – уровень исправления (показатель степени готовности решения), определяемый в виде множества

$$RL_{uz} = \left\{ \bigcup_{rl=1}^5 RL_{uz,rl} \right\} = \{RL_{uz,1}, \dots, RL_{uz,5}\} = \{OF, TF, W, U, X\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, rl = \overline{1, 5})$, где: OF – «Официальный патч» = 0,87; TF – «Временное решение» = 0,9; W – «Решение на основе советов и рекомендаций» = 0,95; U – «Отсутствующий» = 1; X – «Неопределенный» = 1;

RC_{uz} – достоверность отчета (показатель степени достоверности информации), которая представляется множеством

$$RC_{uz} = \left\{ \bigcup_{rc=1}^4 RC_{uz,rc} \right\} = \{RC_{uz,1}, \dots, RC_{uz,4}\} = \{UC, UR, C, X\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, rc = \overline{1, 4})$, где: UC – «Носит предположительный характер» = 0,9; UR – «Не работает» = 0,95; C – «Подтверждена» = 1; X – «Не определена» = 1;

E – метрики среды окружения (Environmental), представляемые в виде множества

$$E = \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} E_{uz} \right\}, (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

члены которых определяются посредством группы множеств параметров:

$$CDP_{uz}, TD_{uz}, CR_{uz}, IR_{uz}, AR_{uz} \quad (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

где

CDP_{uz} – вероятность косвенного ущерба, имеющая вид множества

$$CDP_{uz} = \left\{ \bigcup_{cdp=1}^6 CDP_{uz,cdp} \right\} = \{CDP_{uz,1}, \dots, CDP_{uz,6}\} = \{N, L, LM, MH, H, X\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, cdp = \overline{1, 6})$, где: N – «Отсутствует» = 0; L – «Низкий» = 0,1; LM – «Низкий – средний» = 0,3; MH – «Средний – Высокий» = 0,4; H – «Высокий» = 0,5; X – «Не определен» = 0;

TD_{uz} – целераспределение, которое представляться множеством

$$TD_{uz} = \left\{ \bigcup_{td=1}^5 TD_{uz,td} \right\} = \{TD_{uz,1}, \dots, TD_{uz,5}\} = \{N, L, M, H, X\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, td = \overline{1, 5})$, где: N – «Отсутствует» = 0; L – «Низкое» = 0,25; M – «Среднее» = 0,75; H – «Высокое» = 1; X – «Неопределенное» = 1;

CR_{uz} – требования к конфиденциальности, определяемые в виде множества

$$CR_{uz} = \left\{ \bigcup_{cr=1}^4 CR_{uz,cr} \right\} = \{CR_{uz,1}, \dots, CR_{uz,4}\} = \{L, M, H, X\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, sr = \overline{1, 4})$, где: L – «Низкие» = 0,5; M – «Средние» = 1; H – «Высокие» = 1,51; X – «Неопределенные» = 1;

IR_{uz} – требования к целостности, представляемые множеством

$$IR_{uz} = \left\{ \bigcup_{ir=1}^4 IR_{uz,ir} \right\} = \{IR_{uz,1}, \dots, IR_{uz,4}\} = \{L, M, H, X\},$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ir = \overline{1, 4})$, где: L – «Низкие» = 0,5; M – «Средние» = 1; H – «Высокие» = 1,51; X – «Неопределённые» = 1;

AR_{uz} – требования к доступности, которые представляются в виде множества

$$AR_{uz} = \left\{ \bigcup_{ar=1}^4 AR_{uz,ar} \right\} = \{AR_{uz,1}, \dots, AR_{uz,4}\} = \{L, M, H, X\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ar = \overline{1, 4})$, где: L – «Низкие» = 0,5; M – «Средние» = 1; H – «Высокие» = 1,51; X – «Неопределённые» = 1.

Далее введем ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО ПАРАМЕТРА EP_i » (K_{EP_i}), которая определяется по аналогии с методом DetM шаг 1 п. 3.4. Далее с помощью соответствующего метода [5, 6] (см. п. 3.2), который реализуется посредством четырех этапов осуществим преобразование интервалов в НЧ – $T_{K_{EP_i}} = (ai_j; bi_{1j}; bi_{2j}; ci_j)$.

Оценка значимости EP_i выполняется с помощью параметров из множества

$$LS \in \{LS_i\}, (i = \overline{1, g})$$

(см. п. 3.4 шаг 3), а оценка текущего значения оценочного параметра – с помощью множества

$$ep \in \{ep_{uz,i}\}, (uz = \overline{1, n_{rs}}, i = \overline{1, g}).$$

Шаг 4 (Определение количества терм-множеств)

Здесь реализуется определение количества терм-множеств, которые будут использоваться в процессе ОР. При необходимости можно изменить начальное количество терм-множеств. С этой целью для эквивалентного преобразования m -мерных термов НЧ ЛП $DR^{(m)}$ в $DR^{(m-n)}$ (см. п. 2.3) или $DR^{(m+n)}$ (см. п. 2.7) 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 которые представлены в главе 2.

Шаг 5 (Оценка уровня значимости оценочных параметров)

Совпадает с шагом 3 метода DetM (п. 3.4).

Шаг 6 (Определение эталонных значений степени риска)

На этом шаге определяются эталонные значения для ЛП DR , т.е.

задается количество термов в базовом терм-множестве \underline{T}_{DR} , где ставиться им в соответствие заданный интервал значений, лежащий в диапазоне от dr_{min} до dr_{max} .

Шаг 7 (Определение эталонных значений оценочных параметров)

Здесь экспертами производится определение эталонных значений для ЛП K_{EP_i} , т.е. задается количество термов в терм-множестве $\underline{T}_{K_{EP_i}}$. Для преобразования интервалов в НЧ воспользуемся предложенным в [5, 6] методом. Для удобства отображения оценочных параметров через НЧ используем табл. 3.26.

С помощью (3.24), (см. п. 3.5) для интервалов EP_i можно сформировать значения $\mu_j (ep_{uz,i})$.

Шаг 8 (Оценка текущих значений параметров)

На этом шаге по каждому оценочному параметру

$$\left\{ \bigcup_{i=1}^3 EP_i \right\} = \{EP_1, EP_2, EP_3\} = \{B, T, E\} (i = \overline{1, 3})$$

эксперты соответствующей предметной области определяют $ep_{uz,i}$ для всех $V_{rs,uz}$, ($rs = \overline{1,ro}$, $uz = \overline{1,n_{rs}}$), т.е.

$$\{ep_{uz,i}\} = \{ep_{uz,B}, ep_{uz,T}, ep_{uz,E}\}.$$

Таблица 3.26. Определение значений НЧ оценочных параметров

EP_i	НЧ $\underline{T}_{K_{EP_j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\underline{T}_{K_{EP_1}} - \underline{T}_{K_{EP_m}}$, ($j = \overline{1,m}$)				
	$\underline{T}_{K_{EP_1}}$	...	$\underline{T}_{K_{EP_j}}$	...	$\underline{T}_{K_{EP_m}}$
EP_1	$(a_{11}; b_{111}; b_{121}; c_{11})$	...	$(a_{1j}; b_{11j}; b_{12j}; c_{1j})$	...	$(a_{1m}; b_{11m}; b_{12m}; c_{1m})$
...
EP_i	$(a_{i1}; b_{i11}; b_{i21}; c_{i1})$	...	$(a_{ij}; b_{i1j}; b_{i2j}; c_{ij})$	...	$(a_{im}; b_{i1m}; b_{i2m}; c_{im})$
...
EP_g	$(a_{g1}; b_{g11}; b_{g21}; c_{g1})$	...	$(a_{gj}; b_{g1j}; b_{g2j}; c_{gj})$	...	$(a_{gm}; b_{g1m}; b_{g2m}; c_{gm})$

Значения каждого из параметров, можно импортировать из известных баз данных [11] или определить по соответствующим описаниям [3]:

$$B_{uz} = \text{round}(0,6IM_{uz} + 0,4EXb_{uz} - 1,5)f(IM_{uz}),$$

где: $\text{round}()$ – функция округления до одной десятой;

$$IM_{uz} = 10,41(1 - (1 - C_{uz,c})(1 - I_{uz,in})(1 - A_{uz,ai}));$$

$C_{uz,c}$, $I_{uz,in}$ и $A_{uz,ai}$ определяются на шаге 3 метода,

$$EXb_{uz} = 20AV_{uz,av} \cdot AC_{uz,ac} \cdot AU_{uz,u};$$

$$f(IM_{uz}) = \begin{cases} 0 \text{ при } IM_{uz} = 0, \\ 1,176 \text{ при } IM_{uz} \neq 0; \end{cases}$$

$$T_{uz} = \text{round}(B_{uz} \cdot EX_{uz,ex} \cdot RL_{uz,rl} \cdot RC_{uz,rc}),$$

$EX_{uz,ex}$, $RL_{uz,rl}$ и $RC_{uz,rc}$ формируются на шаге 3 метода;

$$E_{uz} = \text{round}((AT_{uz} + (10 - AT_{uz})CDP_{uz,cdp})TD_{uz,td}),$$

где:

$$AT_{uz} = \text{round}(AB_{uz} \cdot EX_{uz,ex} \cdot RL_{uz,rl} \cdot RC_{uz,rc})$$

при

$$AB_{uz} = round((0,6AIM_{uz}) + (0,4EXb_{uz}) - 1,5) f(AIM_{uz})$$

и

$$AIM_{uz} = \min(10; 10,41 (1 - (1 - C_{uz,c} \cdot CR_{uz,cr}) (1 - I_{uz,in} \cdot IR_{uz,ir}) (1 - A_{uz,an} \cdot AR_{uz,ar}))) ,$$

а

$$f(AIM_{uz}) = \begin{cases} 0 & \text{при } AIM_{uz} = 0, \\ 1,176 & \text{при } AIM_{uz} \neq 0. \end{cases}$$

Отметим, что E_{uz} является корректирующим оценочным параметром, который переопределяет B_{uz} и T_{uz} .

Шаг 9 (Классификация текущих значений)

Совпадает с шагом 7 метода FuzM (п. 3.5). Для наглядности результаты выполненных вычислений занесены в табл. 3.27, где $\lambda_{uz,ij}$ – уровень принадлежности носителя $ep_{uz,i}$ нечеткому подмножеству $\underline{T}_{K_{EP_j}}$.

Аналогичные преобразования осуществляются для всех $V_{rs,uz}$.

Таблица 3.27. Классификация текущих значений оценочных параметров

EP_i	$\lambda_{uz,ij}$ для $\underline{T}_{K_{EP_j}}$ ($uz = \overline{1, n_{rs}}, i = \overline{1, g}, j = \overline{1, m}$)				
	$\underline{T}_{K_{EP_1}}$	...	$\underline{T}_{K_{EP_j}}$	...	$\underline{T}_{K_{EP_m}}$
EP_1	$\lambda_{uz,11}$	...	$\lambda_{uz,1j}$	...	$\lambda_{uz,1m}$
...
EP_i	$\lambda_{uz,i1}$	...	$\lambda_{uz,ij}$	...	$\lambda_{uz,im}$
...
EP_g	$\lambda_{uz,g1}$	...	$\lambda_{uz,gj}$	...	$\lambda_{uz,gm}$

Шаг 10 (Оценка степени риска)

На этом шаге производится вычисление показателей степени риска для каждой уязвимости, отображенной идентификатором $V_{rs,uz}$ по формуле:

$$LRV_{rs,uz} = \sum_{j=1}^m \left(K_{lr_j} \sum_{i=1}^g (ks \cdot LS_i) \lambda_{uz,ij} \right), \quad (3.27)$$

где $K_{lr_j} = 90 - 20(m - j)$, $ks = \frac{1}{(LS_1 + \dots + LS_i)}$ – коэффициент нормирования, $\lambda_{uz,ij}$ ($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $i = \overline{1, g}$, $j = \overline{1, m}$) определяется по выражению (3.25) (см. п. 3.5) для каждой $V_{rs,uz}$ ($rs = \overline{1, ro}$, $uz = \overline{1, n_{rs}}$), а LS_i , ($i = \overline{1, g}$), в зависимости от значимости параметра, вычисляется по формуле (3.18) или (3.19) (см. п. 3.4).

Шаг 11 (Формирование структурированного параметра риска)

На основании вычисленного значения $LRV_{rs,uz}$ и построенных эталонов формируем структурированный параметр степени риска SP по выражению (3.28):

$$SP_{uz} = \begin{cases} (LRV_{rs,uz}; \underline{T}_{DR_j}) \text{ при } \mu_j(LRV_{rs,uz}) = 1; \\ (LRV_{rs,uz}; \underline{T}_{DR_j}(\mu_j(LRV_{rs,uz})); \underline{T}_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(LRV_{rs,uz}))) \\ \text{при } \mu_j(LRV_{rs,uz}) \neq 1 \wedge \mu_{j+1}(LRV_{rs,uz}) \neq 1, \end{cases} \quad (3.28)$$

где $(LRV_{rs,uz}; \underline{T}_{DR_j})$ словесно интерпретируется как – «Степень риска

ка \underline{T}_{DR_j} с числовым эквивалентом $LRV_{rs,uz}$ », а $(LRV_{rs,uz};$

$\underline{T}_{DR_j}(\mu_j(LRV_{rs,uz})); \underline{T}_{DR_{j+1}}(\mu_{j+1}(LRV_{rs,uz})))$, как – «Степень риска с

числовым эквивалентом $LRV_{rs,uz}$ граничит между \underline{T}_{DR_j} и $\underline{T}_{DR_{j+1}}$ по границе $\underline{T}_{DR_j} - \mu_j(LRV_{rs,uz})$ и $\underline{T}_{DR_{j+1}} - \mu_{j+1}(LRV_{rs,uz})$ ».

С помощью SP можно получить как числовое значение степени риска, так и его лингвистическую интерпретацию.

Также по выражению (3.29) можно вычислить среднее значение LR_{rs} по оцениваемому ресурсу:

$$LR_{rs} = \left(\sum_{uz=1}^{n_{rs}} LRV_{rs,uz} \right) / n_{rs}. \quad (3.29)$$

Рассмотрим работу предложенного метода на конкретном примере.

Пример 1

Шаг 1.

Определяются полные множества всех РИС и уязвимостей, при $r = r_{BD}$ и $n = n_{NVD}$, т.е.

$$RIS = \left\{ \bigcup_{rs=1}^r RIS_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, r})$$

и

$$V = \left\{ \bigcup_{uz=1}^n V_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n}),$$

где r_{BD} и n_{NVD} – количество РИС, например, в государственных или частных БД и количество уязвимостей в NVD (см. книгу 1) соответственно.

Шаг 2.

Посредством множества RIS эксперты определяют содержимое $RISO$ для конкретного объекта оценивания, например, при $ro = 5$, т.е. –

$$RISO = \left\{ \bigcup_{rs=1}^5 RISO_{rs} \right\} = \{RISO_1, \dots, RISO_5\} \quad (rs = \overline{1, 5}),$$

где, например,

$RISO_1$ = «Файловый сервер»,

$RISO_2$ = «Банк данных»,

$RISO_3$ = «Архив данных»,

$RISO_4$ = «Маршрутизатор»,

$RISO_5$ = «Web-сервер».

Далее, относительно **RISO**, например, при $n_1 = 5$, $n_2 = 3$, $n_3 = 7$, $n_5 = 4$, $n_6 = 2$, эксперты с помощью NVD (см. книгу 1) идентифицировали следующие уязвимости –

$$\left\{ \bigcup_{rs=1}^5 \mathbf{V}_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^5 \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} V_{rs,uz} \right\} \right\} = \{ \{V_{1,1}, V_{1,2}, V_{1,3}, V_{1,4}, V_{1,5}\}, \{V_{2,1}, V_{2,2}, V_{2,3}\}, \\ \{V_{3,1}, V_{3,2}, V_{3,3}, V_{3,4}, V_{3,5}, V_{3,6}, V_{3,7}\}, \{V_{4,1}, V_{4,2}, V_{4,3}, V_{4,4}\}, \{V_{5,1}, V_{5,2}\} \}.$$

Далее, например, при $rs = 1$ реализуем ОР относительно $RISO_1$, по которому экспертами идентифицировано следующие уязвимости:

$V_{1,1}$ = «CVE-2013-1324» – на основе стека переполнения буфера в Microsoft Office 2003 SP3, 2007 SP3, 2010 SP1 и SP2, 2013 и 2013 RT уязвимость позволяет удаленному злоумышленнику выполнить произвольный код с помощью файла созданного WordPerfect документ (.wpd), также известный как «Word Stack Buffer Overwrite Vulnerability». Оценка CVSS Severity (v2) = 9,3 (HIGH);

$V_{1,2}$ = «CVE-2015-2516» – уязвимость в журналах Windows в Microsoft Windows Vista SP2, Windows Server 2008 SP2 и R2 SP1, Windows 7 SP1, Windows 8, Windows 8.1, Windows Server 2012 Gold и R2, Windows RT Gold и 8.1, и Windows 10 позволяет удаленному злоумышленнику вызвать отказ в сервисе (потеря данных) с помощью созданного JNT-файла, также известный как «Windows Journal DoS уязвимости». Оценка CVSS Severity (v2) = 4,3 (MEDIUM);

$V_{1,3}$ = «CVE-2016-2386» – уязвимость SQL инъекций сервера UDDI в SAP NetWeaver J2EE Engine 7.40 позволяет удаленному злоумышленнику выполнить произвольные команды SQL с помощью неопределенных векторов (SAP Security Note 2101079). Оценка CVSS Severity (v2) = 7,5 (HIGH);

$V_{1,4}$ = «CVE-2015-1830» – каталог обхода уязвимости в загрузке файла сервера/загрузки функциональности для Blob сообщений в Apache ActiveMQ 5.x до 5.11.2 для Windows, позволяет удаленным

злоумышленникам создавать JSP-файлы в произвольных каталогах посредством неопределённого вектора. Оценка CVSS Severity (v2) = 5,0 (MEDIUM);

$V_{1,5}$ = «CVE-2016-0497» – неуказанная уязвимость в компоненте Oracle Agile Engineering – управление данными в Oracle Supply Chain Products Suite, 6.1.2.2, 6.1.3.0 и 6.2.0.0 позволяет удалённому злоумышленнику повлиять на целостность с помощью неизвестных векторов, связанных с веб-клиентом. Оценка CVSS Severity (v2) = 4,3 (MEDIUM).

Шаг 3.

Далее, например, определим множество параметров ОР при $go = 1$ (т.е. для LR_1) и при $n_1 = 5$ (т.е. для $\{\bigcup_{uz=1}^5 LRV_{1,uz}\} = \{LRV_{1,1}, LRV_{1,2}, LRV_{1,3}, LRV_{1,4}, LRV_{1,5}\}$). Отображение результатов ОР для LR_1 и $LRV_{1,uz}$ ($uz = \overline{1,5}$) при $m = 5$ выполним посредством термов

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

- «Степень риска нарушения ИБ низкая» (РН),
- «Степень риска нарушения ИБ средняя» (РС),
- «Степень риска нарушения ИБ высокая» (РВ),
- «Предельный риск нарушения ИБ» (ПР)}.

В последствии для каждого $\underline{T}_{DR_1}, \underline{T}_{DR_2}, \underline{T}_{DR_3}, \underline{T}_{DR_4}, \underline{T}_{DR_5}$ определяются интервалы с использованием модифицированной шкалы Харрингтона [2, 7] т.е. $[dr_1; dr_2[, [dr_2; dr_3[, [dr_3; dr_4[, [dr_4; dr_5[$ и $[dr_5; dr_6]$ будут соответственно принимать значения $[0; 20[, [20; 40[, [40; 60[, [60; 80[$ и $[80; 100]$.

Далее воспользуемся множеством оценочных параметров

$$EP = \{B, T, E\}.$$

Определим для ЛП K_{EP} при $m = 5$ следующие термы –

$$\bigcup_{j=1}^5 \underline{T}_{K_{EP_j}} = \{\text{«Отсутствует» (N), «Низкий» (L),$$

«Средний» (М), «Высокий» (Н), «Критический» (С)}.

Далее для каждого терма $\underline{T}_{K_{EP_1}}$, $\underline{T}_{K_{EP_2}}$, $\underline{T}_{K_{EP_3}}$, $\underline{T}_{K_{EP_4}}$, $\underline{T}_{K_{EP_5}}$ оценочных параметров [2], определим интервалы

$$[k_{EP_1}; k_{EP_2}], [k_{EP_2}; k_{EP_3}], [k_{EP_3}; k_{EP_4}], [k_{EP_4}; k_{EP_5}], [k_{EP_5}; k_{EP_6}],$$

которым будут соответствовать значения

$$[2, 11] - [0; 0,1], [0,1; 4], [4; 7], [7; 9], [9; 10].$$

Шаг 4.

Получим количество необходимых терм-множеств для ОР ЛП $DR^{(m)}$ и $K_{EP_i}^{(m)}$, при $m = 5$ (см. табл. 3.28 и 3.29 соответственно).

Таблица 3.28. Определение эталонных значений (DR) (пример)

ЛП	НЧ $\underline{X}_{DR_j} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\underline{T}_{DR_1} \div \underline{T}_{DR_5}$, ($j = \overline{1,5}$)				
	\underline{T}_{DR_1} ($a_1; b_{11};$ $b_{21}; c_1$)	\underline{T}_{DR_2} ($a_2; b_{12}; b_{22};$ c_2)	\underline{T}_{DR_3} ($a_3; b_{13}; b_{23};$ c_3)	\underline{T}_{DR_4} ($a_4; b_{14}; b_{24};$ c_4)	\underline{T}_{DR_5} ($a_5; b_{15};$ $b_{25}; c_5$)
DR	(0;0; 11,11; 22,22)	(11,11; 22,22; 33,33; 44,44)	(33,33; 44,44; 55,55; 66,66)	(55,55; 66,66; 77,77; 88,88)	(77,77; 88,88; 100; 100)

В случае необходимости можем с помощью методов из главы 3 реализовать инкрементирование или декрементирование соответствующих терм-множеств.

Таблица 3.29. Определение эталонных значений (НЧ) оценочных параметров В, Т, Е (пример)

EP _i	НЧ $\underline{T}_{K_{EP_i}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\underline{T}_{K_{EP_1}} \div \underline{T}_{K_{EP_5}}$, ($j = \overline{1,5}$, $i = \overline{1, g}$)				
	$\underline{T}_{K_{EP_1}}$ ($ai_1; bi_{11}; bi_{21};$ ci_1)	$\underline{T}_{K_{EP_2}}$ ($ai_2; bi_{12}; bi_{22};$ ci_2)	$\underline{T}_{K_{EP_3}}$ ($ai_3; bi_{13}; bi_{23};$ ci_3)	$\underline{T}_{K_{EP_4}}$ ($ai_4; bi_{14}; bi_{24};$ ci_4)	$\underline{T}_{K_{EP_5}}$ ($ai_5; bi_{15}; bi_{25};$ ci_5)
В, Т, Е	(0;0;0,051;0,103)	(0;1,08;3, 085;5,09)	(3,316;4,859;6,40 1;7,943)	(6,658;7,686;8, 715;9,743)	(8,972;9,486;10; 10)

Шаг 5.

На этом шаге определим значимость оценочных параметров. Так как для всех оценочных параметров, по мнению экспертов, справедливо отношение порядка $LS_1 \geq LS_2 \geq LS_3$ (3.17), тогда оценку LS осуществим с помощью (3.18), т.е.

$$LS_1 = 2(g - i + 1) / (g - 1)g = 2(3 - 1 + 1) / (3 - 1)3 = 1;$$

$$LS_2 = 2(3 - 2 + 1) / (3 - 1)3 = 0,67;$$

$$LS_3 = 2(3 - 3 + 1) / (3 - 1)3 = 0,33, (i = \overline{1,3}).$$

Шаг 6.

Сформируем эталонные значения для ЛП **DR**. С помощью выражений (3.7)–(3.11) (см. п. 3.2 [5, 6]) представим для $T_{DR_j} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)$ числовые значения, которые заносятся в таблицу 3.28. Их графическая интерпретация отображена на рис. 3.19.

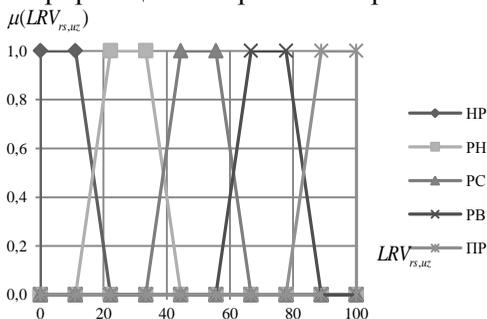


Рис. 3.19. Пример эталонных НЧ для ЛП **DR**

Шаг 7.

Далее определим эталонные значения для ЛП K_{EP_i} . Преобразование интервалов в НЧ $T_{K_{EP_j}} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)$ реализуем с помощью четырех этапов предложенного в п. 3.2 [5, 6] метода.

Этап 1. Посредством выражения (3.7) (см. п. 3.2 [5, 6]) получим значения корректирующих параметров:

$$h_{i_1} = (k_{EP_2} - k_{EP_1}) / 4 = (0,1 - 0) / 4 = 0,025;$$

$$h_{i_2} = (k_{EP_3} - k_{EP_2}) / 4 = (4 - 0,1) / 4 = 0,975;$$

$$h_{i_3} = (k_{EP_4} - k_{EP_3}) / 4 = (7 - 4) / 4 = 0,75;$$

$$h_{i_4} = (k_{EP_5} - k_{EP_4}) / 4 = (9 - 7) / 4 = 0,5;$$

$$h_{i_5} = (k_{EP_6} - k_{EP_5}) / 4 = (10 - 9) / 4 = 0,25.$$

Этап 2. Вычислим значения абсцисс НЧ по формуле (3.8) (см. п. 3.2 [5, 6]):

$$a'_{i_1} = k_{EP_1} - h_{i_1} = 0 - 0,025 = -0,025;$$

$$a'_{i_2} = k_{EP_2} - h_{i_2} = -0,875;$$

$$a'_{i_3} = k_{EP_3} - h_{i_3} = 3,25;$$

$$a'_{i_4} = 6,5;$$

$$a'_{i_5} = 8,75;$$

$$c'_{i_1} = k_{EP_2} + h_{i_1} = 0,125;$$

$$c'_{i_2} = k_{EP_3} + h_{i_2} = 4,975;$$

$$c'_{i_3} = 7,75;$$

$$c'_{i_4} = 9,5;$$

$$c'_{i_5} = 10,25,$$

$$b'_{i_{11}} = k_{EP_1} + h_{i_1} = 0,025;$$

$$b'_{i_{21}} = k_{EP_2} - h_{i_1} = 0,075;$$

$$b'_{i_{12}} = 1,075;$$

$$b'_{i_{22}} = 3,025;$$

$$b'_{i_{13}} = 4,75;$$

$$b'_{i_{23}} = 6,25;$$

$$b'_{i_{14}} = 7,5;$$

$$b'_{i_{24}} = 8,5;$$

$$b'_{i_{15}} = 9,25;$$

$$b'_{i_{25}} = 9,75.$$

Этап 3. Здесь по выражению (3.9) (см. п. 3.2 [5, 6]) определим базовое значение сдвига $sf_i = b'_{i_{11}} - k_{EP_1} = 0,03 - 0 = 0,03$ и далее реализуем поправку термов по формуле (3.10) (см. п. 3.2 [5, 6]):

$$a''_{i_1} = a'_{i_1} - sf_i = -0,025 - 0,025 = -0,05;$$

$$\begin{aligned}
a''_{i_2} &= -0,9; \\
a''_{i_3} &= 3,225; \\
a''_{i_4} &= 6,475; \\
a''_{i_5} &= 8,725; \\
c''_{i_1} &= c'_{i_1} - sfi = 0,1; \\
c''_{i_2} &= 4,95; \\
c''_{i_3} &= 7,725; \\
c''_{i_4} &= 9,475; \\
c''_{i_5} &= 10,225; \\
b''_{i_{11}} &= b'_{i_{11}} - sfi = 0; \\
b''_{i_{21}} &= 0,05; \\
b''_{i_{12}} &= 1,05; \\
b''_{i_{22}} &= 3; \\
b''_{i_{13}} &= 4,725; \\
b''_{i_{23}} &= 6,225; \\
b''_{i_{14}} &= 7,475; \\
b''_{i_{24}} &= 8,475; \\
b''_{i_{15}} &= 9,225; \\
b''_{i_{25}} &= 9,725.
\end{aligned}$$

Этап 4. реализуем нормирование результатов по выражению (3.11) (п. 3.2 [5, 6]):

$$\begin{aligned}
a_{i_1} &= (a''_{i_1} \cdot k_{EP,6}) / b''_{i_{25}} = -0,051; \\
a_{i_2} &= -0,925; \\
a_{i_3} &= 3,316; \\
a_{i_4} &= 6,658; \\
a_{i_5} &= 8,972; \\
c_{i_1} &= (c''_{i_1} \cdot k_{EP,6}) / b''_{i_{25}} = 0,103; \\
c_{i_2} &= 5,09; \\
c_{i_3} &= 7,943; \\
c_{i_4} &= 9,743; \\
c_{i_5} &= 10,514;
\end{aligned}$$

$$b_{i_{11}} = (b''_{i_{11}} \cdot k_{EP,6}) / b''_{i_{25}} = 0;$$

$$b_{i_{21}} = (b''_{i_{21}} \cdot k_{EP,6}) / b''_{i_{25}} = 0,051 \text{ и т.д.}$$

Далее по условию (из той же формулы (3.11) (п. 3.2 [5, 6]) $a_{i_1} = a_{i_2} = 0$, а $c_{i_5} = 10$. Все полученные в результате вычисления значения занесены в таблицу 3.29, а их графическая интерпретация отображена на рис. 3.20.

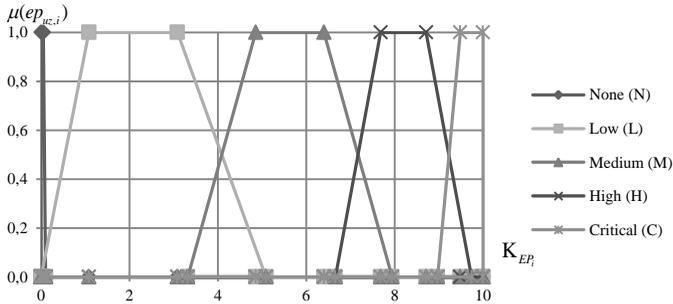


Рис. 3.20. Пример эталонных НЧ для оценочных параметров B_{uz} , T_{uz} , E_{uz} , ($uz = \overline{1,5}$)

Шаг 8.

Текущее состояние $RISO_1$ характеризуется значениями оценочных параметров $ep_{uz,i}$ по каждому $V_{rs,uz}$, которые определяются с помощью оценок CVSS представленных на сайте NVD (см. книгу 1).

Поскольку не всегда все значения оценочных параметров по уязвимостям присутствуют в базе NVD, то для получения недостающих воспользуемся формулами из шага 7.

Расчет для $V_{1,1} = \text{«CVE-2013-1324»}$:

– для B_1 , исходя из того, что величинам $AV_{1,3}$, $AC_{1,2}$, $AU_{1,3}$, $C_{1,3}$, $I_{1,3}$ и $A_{1,3}$ соответствуют определенные значения «N», «M», «N», «C», «C» и «C», то $AV_{1,3} = 1$, $AC_{1,2} = 0,61$, $AU_{1,3} = 0,704$, $C_{1,3} = 0,66$, $I_{1,3} = 0,66$ и $A_{1,3} = 0,66$. На основе этого вычисляем $EXb_1 = 20AV_{1,3} \cdot AC_{1,2} \cdot AU_{1,3} = 20 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 0,704 = 8,6$,

$$IM_1 = 10,41 (1 - (1 - C_{1,3}) (1 - I_{1,3})(1 - A_{1,3})) = 10,41(1 - (1 - 0,66)(1 - 0,66)(1 - 0,66)) = 10$$

и тогда $f(IM_1) = 1,176$, а $B_1 = \text{round}(0,6IM_1 + 0,4EXb_1 - 1,5)$
 $f(IM_1) = \text{round}(0,6 \cdot 10 + 0,4 \cdot 8,6 - 1,5) 1,176 = 9,3$;

– для T_1 в базе NVD отсутствуют определенные значения, поэтому, например, на основе суждений экспертов определим значения для $EX_{1,3} = \langle F \rangle$, $RL_{1,1} = \langle OF \rangle$, $RC_{1,3} = \langle C \rangle$ и тогда $EX_{1,3} = 0,95$, $RL_{1,1} = 0,87$, $RC_{1,3} = 1$, $T_1 = \text{round}(B_1 \cdot EX_{1,3} \cdot RL_{1,1} \cdot RC_{1,3}) = \text{round}(9,3 \cdot 0,95 \cdot 0,87 \cdot 1) = 7,7$;

– для E_1 , по аналогии с T_1 , значения также определяются с помощью экспертов. Если $CDP_{1,4} = \langle MH \rangle$, $TD_{1,2} = \langle L \rangle$, $CR_{1,2} = \langle M \rangle$, $IR_{1,2} = \langle M \rangle$ и $AR_{1,2} = \langle M \rangle$ то $CDP_{1,4} = 0,4$, $TD_{1,2} = 0,25$, $CR_{1,2} = 1$, $IR_{1,2} = 1$ и $AR_{1,2} = 1$. На основе этого находим

$$AIM_1 = \min(10; 10,41 (1 - (1 - C_{1,3} \cdot CR_{1,2}) (1 - I_{1,3} \cdot IR_{1,2})$$

$$(1 - A_{1,3} \cdot AR_{1,2}))) = \min(10; 10,41 (1 - (1 - 0,66 \cdot 1) (1 - 0,66 \cdot 1) (1 - 0,66 \cdot 1))) = 10,$$

$$AB_1 = \text{round}((0,6AIM_1) + (0,4EXb_1) - 1,5) f(AIM_1) = \text{round}((0,6 \cdot 10) + (0,4 \cdot 10) - 1,5) 1,176 = 10,$$

$$AT_1 = \text{round}(AB_1 \cdot EX_{1,3} \cdot RL_{1,1} \cdot RC_{1,3}) = \text{round}(10 \cdot 0,95 \cdot 0,87 \cdot 1) = 8,3,$$

$$E_1 = \text{round}((AT_1 + (10 - AT_1) CDP_{1,4}) TD_{1,2}) = \text{round}((8,3 + (10 - 8,3) 0,4) 0,25) = 2,2.$$

Полученное значение E_1 скорректировало параметры B_1 и T_1 .

Расчет для $V_{1,2} = \langle \text{CVE-2015-2516} \rangle$:

– для B_2 определены следующие значения $AV_{2,3} = \langle N \rangle$, $AC_{2,2} = \langle M \rangle$, $AU_{2,3} = \langle N \rangle$, $C_{2,1} = \langle N \rangle$, $I_{2,1} = \langle N \rangle$, $A_{2,2} = \langle P \rangle$, тогда $AV_{2,3} = 1$, $AC_{2,2} = 0,61$, $AU_{2,3} = 0,704$, $C_{2,1} = I_{2,1} = 0$, $A_{2,2} = 0,275$. Вычисляем $EXb_2 = 20 \cdot 1 \cdot 0,61 \cdot 0,704 = 8,6$,

$$IM_2 = 10,41 (1 - (1 - 0) (1 - 0) (1 - 0,275)) = 2,9$$

и тогда $f(IM) = 1,176$, $B_2 = \text{round}(0,6 \cdot 2,9 + 0,4 \cdot 8,6 - 1,5) 1,176 = 4,3$;

– для T_2 в базе NVD отсутствуют определенные значения, поэтому с помощью суждений экспертов, например, определим значения для $EX_{2,1} = \langle U \rangle$, $RL_{2,2} = \langle TF \rangle$, $RC_{2,1} = \langle UC \rangle$ и тогда $EX_{2,1} = 0,85$, $RL_{2,2} = 0,9$, $RC_{2,1} = 0,9$, $T_2 = \text{round}(4,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,9) = 3$;

– для E_2 , по аналогии с T_2 , значения определяются также с помощью экспертов, если $CDP_{2,4} = \langle MH \rangle$, $TD_{2,3} = \langle M \rangle$, $CR_{2,2} = \langle M \rangle$, $IR_{2,2} = \langle M \rangle$, $AR_{2,3} = \langle H \rangle$, то $CDP_{2,4} = 0,4$, $TD_{2,3} = 0,75$, $CR_{2,2} = 1$, $IR_{2,2} = 1$, $AR_{2,3} = 1,51$. На основе этого вычисляем

$$AIM_2 = \min(10; 10,41(1 - (1 - 0 \cdot 1)(1 - 0 \cdot 1)(1 - 0,275 \cdot 1,51))) = 4,3,$$

$$AB_2 = \text{round}((0,6 \cdot 4,3) + (0,4 \cdot 8,6) - 1,5) = 1,176 = 5,3,$$

$$AT_2 = \text{round}(5,3 \cdot 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,9) = 3,7,$$

$$E_2 = \text{round}((3,7 + (10 - 3,7) \cdot 0,4) \cdot 0,75) = 4,6.$$

Полученное значение E_2 скорректировало параметры B_2 и T_2 .

По аналогии с предыдущими уязвимостями для $V_{1,3} = \langle \text{CVE-2016-2386} \rangle$, $V_{1,4} = \langle \text{CVE-2015-1830} \rangle$, $V_{1,5} = \langle \text{CVE-2016-0497} \rangle$ также были сформированы оценочные параметры (см. рис. 3.21). Их значения занесены в таблицу 3.30.

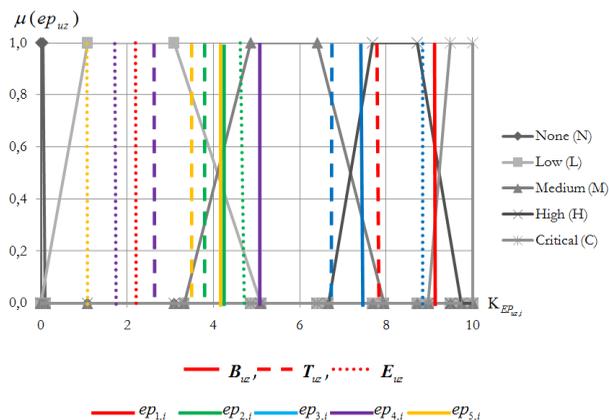


Рис. 3.21. Результаты вычисления числовых значений для оценочных параметров

Таблица 3.30. Определение текущих значений НЧ оценочных параметров (пример)

EP_i	$ep_{1,i}$	$ep_{2,i}$	$ep_{3,i}$	$ep_{4,i}$	$ep_{5,i}$
$B, (i=1)$	9,3	4,3	7,5	5	4,3
$T, (i=2)$	7,7	3	6,8	3,8	3,5
$E, (i=3)$	2,2	4,6	8,8	1,7	1,2

Шаг 9.

Осуществим классификацию текущих значений $ep_{uz,i}$ по формуле (3.24) и (3.25) при $m = 5$, результаты которых заносятся в табл. 3.31:

$$\mu_1(ep_{uz,i}) = \begin{cases} L\left(\frac{a_{i1} - ep_{uz,i}}{a_{i1} - b_{i11}}\right), & ep_{uz,i} \in [a_{i1}, b_{i11}]; \\ 1, & ep_{uz,i} \in [b_{i11}, b_{i21}]; \\ R\left(\frac{ep_{uz,i} - c_{i1}}{b_{i21} - c_{i1}}\right), & ep_{uz,i} \in [b_{i21}, c_{i1}], \end{cases}$$

$$\mu_2(ep_{uz,i}) = \begin{cases} L\left(\frac{a_{i2} - ep_{uz,i}}{a_{i2} - b_{i12}}\right), & ep_{uz,i} \in [a_{i2}, b_{i12}]; \\ 1, & ep_{uz,i} \in [b_{i12}, b_{i22}]; \\ R\left(\frac{ep_{uz,i} - c_{i2}}{b_{i22} - c_{i2}}\right), & ep_{uz,i} \in [b_{i22}, c_{i2}], \end{cases}$$

$$\mu_3(ep_{uz,i}) = \begin{cases} L\left(\frac{a_{i3} - ep_{uz,i}}{a_{i3} - b_{i13}}\right), & ep_{uz,i} \in [a_{i3}, b_{i13}]; \\ 1, & ep_{uz,i} \in [b_{i13}, b_{i23}]; \\ R\left(\frac{ep_{uz,i} - c_{i3}}{b_{i23} - c_{i3}}\right), & ep_{uz,i} \in [b_{i23}, c_{i3}], \end{cases}$$

$$\mu_4(ep_{uz,i}) = \begin{cases} L\left(\frac{a_{i_4} - ep_{uz,i}}{a_{i_4} - b_{i_{14}}}\right), & ep_{uz,i} \in [a_{i_4}, b_{i_{14}}]; \\ 1, & ep_{uz,i} \in [b_{i_{14}}, b_{i_{24}}]; \\ R\left(\frac{ep_{uz,i} - c_{i_4}}{b_{i_{24}} - c_{i_4}}\right), & ep_{uz,i} \in [b_{i_{24}}, c_{i_4}], \end{cases}$$

$$\mu_5(ep_{uz,i}) = \begin{cases} L\left(\frac{a_{i_5} - ep_{uz,i}}{a_{i_5} - b_{i_{15}}}\right), & ep_{uz,i} \in [a_{i_5}, b_{i_{15}}]; \\ 1, & ep_{uz,i} \in [b_{i_{15}}, b_{i_{25}}]; \\ R\left(\frac{ep_{uz,i} - c_{i_5}}{b_{i_{25}} - c_{i_5}}\right), & ep_{uz,i} \in [b_{i_{25}}, c_{i_5}]. \end{cases}$$

Таблица 3.31. Классификация текущих значений оценочных параметров (пример)

EP_i	Значение $\lambda_{uz,ij}$ для $\{\bigcup_{uz=1}^5 V_{1,uz}\}, (uz = \overline{1,5})$																								
	$\lambda_{1,ij}$ для $\mathcal{T}_{K_{EP1}}$ ($i = \overline{1,3} \quad j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{2,ij}$ для $\mathcal{T}_{K_{EP2}}$ ($i = \overline{1,3} \quad j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{3,ij}$ для $\mathcal{T}_{K_{EP3}}$ ($i = \overline{1,3} \quad j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{4,ij}$ для $\mathcal{T}_{K_{EP4}}$ ($i = \overline{1,3} \quad j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{5,ij}$ для $\mathcal{T}_{K_{EP5}}$ ($i = \overline{1,3} \quad j = \overline{1,5}$)								
B	0	0	0	0,43	0,64	0	0,39	0,64	0	0	0	0,29	0,82	0	0	0	1	0	0	0	0,39	0,64	0	0	
T	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0,74	0,14	0	0	0,64	0,31	0	0	0	0,79	0,12	0	0	
E	0	1	0	0	0	0	0,24	0,83	0	0	0	0	0	0,92	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0

Шаг 10.

Произведем вычисление показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.27), где $m = 5$, $j = \overline{1,5}$, $i = \overline{1,3}$, $n_1 = \overline{1,5}$,

$$K_{lr_1} = 10, K_{lr_2} = 30, K_{lr_3} = 50, K_{lr_4} = 70, K_{lr_5} = 90, ks = 0,5$$

и тогда $LRV_{1,1} = 71,95$, $LRV_{1,2} = 39,94$, $LRV_{1,3} = 62,25$, $LRV_{1,4} = 41,57$, $LRV_{1,5} = 36,75$.

Шаг 11.

По аналогии с шагом 8 по формуле (3.24) вычислим $\mu_j(LRV_{1,uz})$, ($uz = \overline{1,5}$),

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

Далее с помощью (3.28) формируются SP_{uz} :

$$SP_1 = (LRV_{1,1}; \underline{T}_{DR_4}(\mu_4(LRV_{1,1}))) = (71,95; PB),$$

$$SP_2 = (LRV_{1,2}; \underline{T}_{DR_2}(\mu_2(LRV_{1,2})); \underline{T}_{DR_3}(\mu_3(LRV_{1,2}))) = (39,94; PH(0,41); PC(0,59)),$$

$$SP_3 = (LRV_{1,3}; \underline{T}_{DR_3}(\mu_3(LRV_{1,3})); \underline{T}_{DR_4}(\mu_4(LRV_{1,3}))) = (62,25; PC(0,4); PB(0,6)),$$

$$SP_4 = (LRV_{1,4}; \underline{T}_{DR_2}(\mu_2(LRV_{1,4})); \underline{T}_{DR_3}(\mu_3(LRV_{1,4}))) = (41,57; PH(0,26); PC(0,74)),$$

$$SP_5 = (LRV_{1,5}; \underline{T}_{DR_2}(\mu_2(LRV_{1,5})); \underline{T}_{DR_3}(\mu_3(LRV_{1,5}))) = (36,75; PH(0,69); PC(0,31)),$$

где, например, (62,25; PC(0,4); PB(0,6)) словесно интерпретируется, как – «Степень риска с числовым эквивалентом 62,25 граничит между средним риском и высоки риском по границе PC – 0,4 и PB – 0,6». Также для данного $RISO_1$ на основе (3.29), можно вычислить среднее значение степени риска: $LR_1 = (71,95 + 39,94 + 62,25 + 41,57 + 36,75) / 5 = 50,5$ и сформировать для него $SP = (50,5; PC)$.

Для верификации представленного метода осуществим моделирование нескольких состояний среды оценивания:

1-е состояние – установим показатели параметров, которые характеризуют среду окружения с меньшим уровнем угроз относи-

тельно текущего состояния значения всех оценочных параметров (см. табл. 3.32 и 3.33);

Таблица 3.32. 1-е состояние значений оценочных параметров

EP_i	$ep_{1,i}$	$ep_{2,i}$	$ep_{3,i}$	$ep_{4,i}$	$ep_{5,i}$
$B, (i=1)$	8,3	3,3	6,5	4	3,3
$T, (i=2)$	6,7	2	5,8	2,8	2,5
$E, (i=3)$	1,2	3,6	7,8	0,7	0,2

2-е состояние – установим показатели параметров, которые характеризуют среду окружения с большим уровнем угроз относительно текущего состояния значения всех оценочных параметров (см. табл. 3.34 и 3.35).

Таблица 3.33. Классификация 1-го состояния значений оценочных параметров

EP_i	Значение $\lambda_{uz,ij}$ для $\{\bigcup_{uz=1}^5 V_{1,uz}\}, (uz = \overline{1,5})$																								
	$\lambda_{1,ij}$ для $\underline{T}_{K_{EP1}} (i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5})$				$\lambda_{2,ij}$ для $\underline{T}_{K_{EP2}} (i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5})$				$\lambda_{3,ij}$ для $\underline{T}_{K_{EP3}} (i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5})$				$\lambda_{4,ij}$ для $\underline{T}_{K_{EP4}} (i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5})$				$\lambda_{5,ij}$ для $\underline{T}_{K_{EP5}} (i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5})$								
	B	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0,94	0	0	0	0,54	0,44	0	0	0	0,89	0	0	0
T	0	0	0,81	0,04	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
E	0	1	0	0	0	0	0,74	0,18	0	0	0	0	0	1	0	0	0,65	0	0	0	0	0,19	0	0	0

Пример 2 (1-е состояние)

Согласно 1-го состояния при $m = 5$ оценочные параметры принимают значения, которые отражены в табл. 3.32. Реализуем классификацию значений $ep_{uz,i}$ по формуле (3.24) и (3.25), результаты которой занесены в табл. 3.33.

Произведем вычисление показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.27), где $m = 5, j = \overline{1,5}, i = \overline{1,3}, n_1 = \overline{1,5}, K_{lr_1} = 10, K_{lr_2} = 30, K_{lr_3} = 50, K_{lr_4} = 70, K_{lr_5} = 90, ks = 0,5$ и тогда $LRV_{1,1} = 54,46, LRV_{1,2} = 30,2, LRV_{1,3} = 51,98, LRV_{1,4} = 32,37, LRV_{1,5} = 24,34.$

По формуле (3.24) вычислим $\mu_j(LRV_{1,uz})$ ($uz = \overline{1,5}$). С помощью (3.28) формируются SP_{uz} :

$$SP_1 = (LRV_{1,1}; \underline{T}_{DR_3}(\mu_3(LRV_{1,1}))) = (54,46; PC),$$

$$SP_2 = (LRV_{1,2}; \underline{T}_{DR_2}(\mu_2(LRV_{1,2}))) = (30,2; PH),$$

$$SP_3 = (LRV_{1,3}; \underline{T}_{DR_3}(\mu_3(LRV_{1,3}))) = (51,8; PC),$$

$$SP_4 = (LRV_{1,4}; \underline{T}_{DR_2}(\mu_2(LRV_{1,4}))) = (32,37; PH),$$

$$SP_5 = (LRV_{1,5}; \underline{T}_{DR_2}(\mu_2(LRV_{1,5}))) = (24,34; PH).$$

Далее, на основе (3.29) для $RISO_1$, можно вычислить среднее значение степени риска, т.е. $LR_1 = 38,64$ и сформировать для него

$$SP = (38,64; PH(0,52); PC(0,48)).$$

Пример 3 (2-е состояние)

Согласно 2-го состояния при $m = 5$ оценочные параметры принимают значения, которые отражены в табл. 3.34.

Таблица 3.34. 2-е состояние значений оценочных параметров

EP_i	$ep_{1,i}$	$ep_{2,i}$	$ep_{3,i}$	$ep_{4,i}$	$ep_{5,i}$
$B, (i=1)$	10	5,3	8,5	6	5,3
$T, (i=2)$	8,7	4	7,8	4,8	4,5
$E, (i=3)$	3,2	5,6	9,8	2,7	2,2

Произведем классификацию значений $ep_{uz,i}$ по формуле (3.24) и (3.25), результаты которой занесены в табл. 3.35.

Далее, аналогично первому состоянию, вычислим показатель риска нарушения ИБ с помощью (3.27), т.е. $LRV_{1,1} = 73,1$, $LRV_{1,2} = 46,05$, $LRV_{1,3} = 73,3$, $LRV_{1,4} = 47,44$, $LRV_{1,5} = 45,76$.

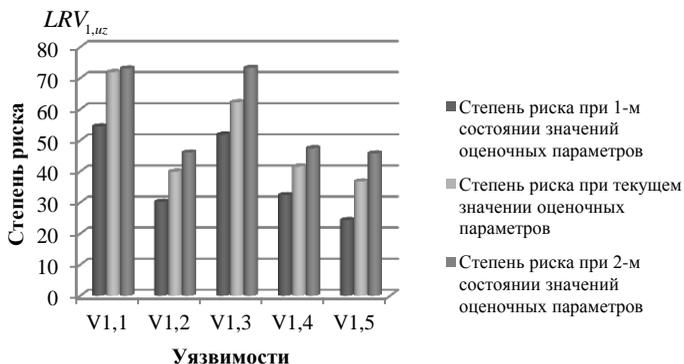


Рис. 3.23. Результаты вычисления значений для $LRV_{1,uz}$ при разных состояниях

Как видно из полученных результатов, предлагаемый метод адекватно реагирует на изменения выходных значений оценочных параметров, т.е. при их улучшении показатели степени риска уменьшаются, а при ухудшении – увеличиваются.

Среднее значение степени риска

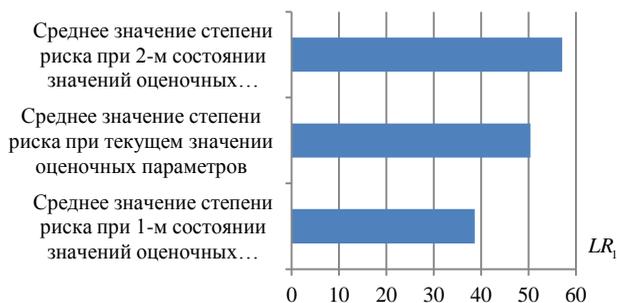


Рис. 3.24. Результаты вычисления значений для LR_1 при разных состояниях

Таким образом, представленный качественно-количественный метод оценивания рисков информационной безопасности за счет модификации процедур определения множества параметров оценивания риска и оценки текущих значений параметров с возможностью интеграции (в качестве альтернативы оценок экспертов) зна-

чений CVSS показателей, которые представлены в соответствующих базах данных, позволяет автоматизировать процесс оценивания уязвимостей без привлечения экспертов необходимой предметной области.

3.8. Метод оценивания рисков информационной безопасности на основе открытых баз данных уязвимостей

Проблема, которая связана с эффективной реализацией процесса АОР ИБ, согласно требованиям международных или государственных стандартов [10] частично решается с помощью методов ОР (см. пп. 3.4-3.7 и [2]), которые основываются на экспертных оценках. Часто при ОР не всегда имеется возможность привлечения экспертов соответствующей предметной области. На практике, например, могут возникать ситуации, при которых необходимо реализовывать оперативное оценивание и мониторинг (в реальном времени) рисков без привлечения указанных экспертов, а доступные методы и средства ОР (см. пп. 3.4-3.7 и [2]) не дают такой возможности. Для этого (как и в п. 3.7) предлагается использовать соответствующие открытые БД уязвимостей РИС (см. книгу 1), в которых представлены их количественные оценки.

Разработаем метод ОР, который позволит осуществить оценивание рисков в реальном времени с использованием открытых БД не привлекая экспертов соответствующей предметной области. В основу такого метода положены исследования, проведенные в пп. 3.4-3.7 и [2]. Рассмотрим детально его работу, которая основывается на 11 шагах.

Шаг 1 (Определение полного множества идентификаторов РИС и уязвимостей) и Шаг 2 (Определение множества идентификаторов РИС и уязвимостей для объекта оценивания) реализуется аналогично качественно-количественному методу ОР ИБ описанному в п. 3.7.

Шаг 3 (Определение множества параметров оценивания риска)

Здесь введем множество оценок риска LR для определенного на втором шаге (см. п. 3.7) $RISO$, т.е. при $rs = 1, ro$

$$\exists LR = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} LR_{rs} \right\} = \{LR_1, \dots, LR_{rs}\}.$$

Также для ОР по каждой уязвимости, отображенной идентификатором $V_{rs,uz}$ введем множества LRV_{rs} при $rs = \overline{1, ro}$ и $uz = \overline{1, n_{rs}}$, т.е.

$$\exists \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} LRV_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} LRV_{rs,uz} \right\} \right\},$$

где $LRV_{rs,uz}$ – количественная оценка риска по каждой uz -той уязвимости rs -того РИС на объекте.

Для отображения результата ОР воспользуемся ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА» (DR), представленной в виде кортежа (см. п. 3.3).

Далее для обеспечения процесса оценивания берутся за основу показатели CVSS [3, 4, 11] из NVD (см. книгу 1). Для этого определим необходимые множества параметров EP_i , ($i = \overline{1, g}$), используемых для оценивания, т.е. $EP = \left\{ \bigcup_{i=1}^g EP_i \right\} = \{EP_1, EP_2, \dots, EP_g\}$, где g

– количество множеств таких параметров.

Отметим, что для версии 3 оценок CVSS [4], в которой, в отличие от версии 2.0, метрики эксплуатируемости (AC , AV , PR , UI) рассчитываются для уязвимого компонента, а метрики воздействия (C , I , A) для атакуемого. Это дает возможность различить уязвимый и атакуемый компоненты, например, при $g=3$ могут быть определены следующие множества значений –

$$\left\{ \bigcup_{i=1}^3 EP_i \right\} = \{EP_1, EP_2, EP_3\} = \{B, T, E\}, \quad (i = \overline{1, 3}),$$

где:

B – базовые (Base) оценки, которые в соответствии с определениями (см. п. 3.7), представлены в виде множества

$$B = \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} B_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

члены которого формируются посредством группы множеств параметров AV_{uz} , AC_{uz} , PR_{uz} , S_{uz} , UI_{uz} , C_{uz} , I_{uz} , A_{uz} , ($uz = \overline{1, n_{rs}}$), где:

AV_{uz} – вектор кибератаки, который представляется в виде множества

$$AV_{uz} = \left\{ \bigcup_{av=1}^4 AV_{uz,av} \right\} = \{AV_{uz,1}, \dots, AV_{uz,4}\} = \{N, A, L, P\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, av = \overline{1, 4})$, где: N – «Сеть» = 0,85; A – «Сопряженная сеть» = 0,62; L – «Локальный доступ» = 0,55; P – «Физический доступ» = 0,2,

AC_{uz} – сложность кибератаки, представляемая множеством

$$AC_{uz} = \left\{ \bigcup_{ac=1}^2 AC_{uz,ac} \right\} = \{AC_{uz,1}, AC_{uz,2}\} = \{L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ac = \overline{1, 2})$, где: L – «Низкая» = 0,77; H – «Высокая» = 0,44,

PR_{uz} – соответствие полномочиям, которое представляется множеством

$$PR_{uz} = \left\{ \bigcup_{pr=1}^3 PR_{uz,pr} \right\} = \{PR_{uz,1}, PR_{uz,2}, PR_{uz,3}\} = \{N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, pr = \overline{1, 3})$, где: N – «Отсутствует» = 0,85; L – «Низкое»

$$= \begin{cases} 0,62 \text{ при } S_{uz,1} = U, \\ 0,68 \text{ при } S_{uz,2} = C, \end{cases} \text{ при этом}$$

S_{uz} – область действия, которую можно представить в виде множества

$$S_{uz} = \left\{ \bigcup_{s=1}^2 S_{uz,s} \right\} = \{S_{uz,1}, S_{uz,2}\} = \{U, C\},$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, s = \overline{1, 2})$, где: U – «Без изменений»; C – «Изменяется»;

$$H - \text{«Высокое»} = \begin{cases} 0,27 \text{ при } S_{uz,1} = U, \\ 0,50 \text{ при } S_{uz,2} = C, \end{cases}$$

UI_{uz} – взаимодействие с пользователем, представляемое множеством

$$UI_{uz} = \left\{ \bigcup_{ui=1}^2 UI_{uz,ui} \right\} = \{UI_{uz,1}, UI_{uz,2}\} = \{N, R\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ui = \overline{1, 2})$, где: N – «Не требуется» = 0,85; R – «Требуется» = 0,62),

C_{uz} – воздействие на конфиденциальность, определяемое в виде множества

$$C_{uz} = \left\{ \bigcup_{c=1}^3 C_{uz,c} \right\} = \{C_{uz,1}, C_{uz,2}, C_{uz,3}\} = \{N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, c = \overline{1, 3})$, где: N – «Отсутствующее» = 0; L – «Низкое» = 0,22; H – «Высокое» = 0,56,

I_{uz} – воздействие на целостность, которое представляется множеством

$$I_{uz} = \left\{ \bigcup_{in=1}^3 I_{uz,in} \right\} = \{I_{uz,1}, I_{uz,2}, I_{uz,3}\} = \{N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, in = \overline{1, 3})$, где: N – «Отсутствующее» = 0; L – «Низкое» = 0,22; H – «Высокое» = 0,56,

A_{uz} – воздействие на доступность, которое может представляться множеством

$$A_{uz} = \left\{ \bigcup_{ai=1}^3 A_{uz,ai} \right\} = \{A_{uz,1}, A_{uz,2}, A_{uz,3}\} = \{N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ai = \overline{1, 3})$, где: N – «Отсутствующее» = 0; L – «Низкое» = 0,22; H – «Высокое» = 0,56;

T – временные (Temporal) оценки, которые в соответствии с п. 3.7 представленные в виде множества

$$T = \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} T_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n_{rs}})$$

члены которых определяются посредством группы множеств параметров: EX_{uz} , RL_{uz} , RC_{uz} , $(uz = \overline{1, n_{rs}})$, где:

EX_{uz} – возможность использования, которая может, отображаться как множество

$$EX_{uz} = \left\{ \bigcup_{ex=1}^5 EX_{uz,ex} \right\} = \{EX_{uz,1}, \dots, EX_{uz,5}\} = \{X, U, POC, F, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ex = \overline{1, 5})$, где: X – «Нет данных» = 1; U – «Теоретическая (нет доказательств)» = 0,91; POC – «Экспериментальная» = 0,94; F – «Функциональная» = 0,97; H – «Высокая» = 1,

RL_{uz} – уровень исправления (показатель степени готовности решения), определяемый в виде множества

$$RL_{uz} = \left\{ \bigcup_{rl=1}^5 RL_{uz,rl} \right\} = \{ RL_{uz,1}, \dots, RL_{uz,5} \} = \{ X, OF, TF, W, U \}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $rl = \overline{1, 5}$), где: X – «Нет данных» = 1; OF – «Официальный патч» = 0,95; TF – «Временное решение» = 0,96; W – «Решение на основе советов и рекомендаций» = 0,97; U – «Отсутствующий» = 1,

RC_{uz} – достоверность отчета (показатель степени достоверности информации), которая представляется множеством

$$RC_{uz} = \left\{ \bigcup_{rc=1}^4 RC_{uz,rc} \right\} = \{ RC_{uz,1}, \dots, RC_{uz,4} \} = \{ X, U, R, C \}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $rc = \overline{1, 4}$), где: X – «Нет данных» = 1; U – «Неопределена» = 0,92; R – «Обоснованная» = 0,96; C – «Подтверждена» = 1;

E – метрики среды окружения (**Environmental**), представлены (в соответствии с п. 3.7) в виде множества

$$E = \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} E_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n_{rs}}),$$

члены которых определяются посредством группы множеств параметров: CR_{uz} , IR_{uz} , AR_{uz} , MS_{uz} , MAV_{uz} , MAC_{uz} , MPR_{uz} , MUI_{uz} , MC_{uz} , MI_{uz} , MA_{uz} ($uz = \overline{1, n_{rs}}$), где:

CR_{uz} – требования к конфиденциальности, определяемые в виде множества

$$CR_{uz} = \left\{ \bigcup_{cr=1}^4 CR_{uz,cr} \right\} = \{ CR_{uz,1}, \dots, CR_{uz,4} \} = \{ X, L, M, H \}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $cr = \overline{1, 4}$), где: X – «Неопределенные» = 1; L – «Низкие» = 0,5; M – «Средние» = 1; H – «Высокие» = 1,5,

IR_{uz} – требования к целостности, представляемые множеством

$$IR_{uz} = \left\{ \bigcup_{ir=1}^4 IR_{uz,ir} \right\} = \{ IR_{uz,1}, \dots, IR_{uz,4} \} = \{ X, L, M, H \}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ir = \overline{1, 4})$, где: X – «Неопределённые» = 1; L – «Низкие» = 0,5; M – «Средние» = 1; H – «Высокие» = 1,5,

AR_{uz} – требования к доступности, которые представляются в виде множества

$$AR_{uz} = \left\{ \bigcup_{ar=1}^4 AR_{uz,ar} \right\} = \{AR_{uz,1}, \dots, AR_{uz,4}\} = \{X, L, M, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ar = \overline{1, 4})$, где: X – «Неопределённые» = 1; L – «Низкие» = 0,5; M – «Средние» = 1; H – «Высокие» = 1,5,

MS_{uz} – модифицированная область действия, которую можно представить в виде множества

$$MS_{uz} = \left\{ \bigcup_{ms=1}^3 MS_{uz,ms} \right\} = \{MS_{uz,1}, MS_{uz,2}, MS_{uz,3}\} = \{X, U, C\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, ms = \overline{1, 3})$, где: X – «Неопределённая»; U – «Без изменений»; C – «Изменяется».

MAV_{uz} – модифицированный вектор кибератаки, который представляется в виде множества

$$MAV_{uz} = \left\{ \bigcup_{mav=1}^5 MAV_{uz,mav} \right\} = \{MAV_{uz,1}, \dots, MAV_{uz,5}\} = \{X, N, A, L, P\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, mav = \overline{1, 5})$, где: X – «Неопределённый» = 1; N – «Сеть» = 0,85; A – «Сопряженная сеть» = 0,62; L – «Локальный доступ» = 0,55; P – «Физический доступ» = 0,2,

MAC_{uz} – модифицированная сложность кибератаки, представляемая множеством

$$MAC_{uz} = \left\{ \bigcup_{mac=1}^3 MAC_{uz,mac} \right\} = \{MAC_{uz,1}, MAC_{uz,2}, MAC_{uz,3}\} = \{X, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, mac = \overline{1, 3})$, где: X – «Неопределённая» = 1; L – «Низкая» = 0,77; H – «Высокая» = 0,44,

MPR_{uz} – модифицированное соответствие полномочиям, которое представляется множеством

$$MPR_{uz} = \left\{ \bigcup_{mpr=1}^4 MPR_{uz,mpr} \right\} =$$

$$\{MPR_{uz,1}, MPR_{uz,2}, MPR_{uz,3}, MPR_{uz,4}\} = \{X, N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, mpr = \overline{1, 4})$, где: X – «Неопределенно» = 1; N – «Отсутствует» = 0,85;

$$L - \text{«Низкое»} = \begin{cases} 0,62 \text{ при } MS_{uz,1} = U, \\ 0,68 \text{ при } MS_{uz,2} = C; \end{cases}$$

$$H - \text{«Высокое»} = \begin{cases} 0,27 \text{ при } MS_{uz,1} = U, \\ 0,50 \text{ при } MS_{uz,2} = C, \end{cases}$$

MUI_{uz} – модифицированное взаимодействие с пользователем, представляемое множеством

$$MUI_{uz} = \left\{ \bigcup_{mui=1}^3 MUI_{uz,mui} \right\} = \{MUI_{uz,1}, MUI_{uz,2}, MUI_{uz,3}\} = \{X, N, R\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, mui = \overline{1, 2})$, где: X – «Неопределенное» = 1; N – «Не требуется» = 0,85; R – «Требуется» = 0,62,

MC_{uz} – модифицированное воздействие на конфиденциальность, определяемое в виде множества

$$MC_{uz} = \left\{ \bigcup_{mc=1}^4 MC_{uz,mc} \right\} =$$

$$\{MC_{uz,1}, MC_{uz,2}, MC_{uz,3}, MC_{uz,4}\} = \{X, N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, mc = \overline{1, 4})$, где: X – «Неопределенное» = 1; N – «Отсутствующее» = 0; L – «Низкое» = 0,22; H – «Высокое» = 0,56,

MI_{uz} – модифицированное воздействие на целостность, которое представляется множеством

$$MI_{uz} = \left\{ \bigcup_{min=1}^4 MI_{uz,min} \right\} = \{MI_{uz,1}, MI_{uz,2}, MI_{uz,3}, MI_{uz,4}\} = \{X, N, L, H\}$$

$(uz = \overline{1, n_{rs}}, min = \overline{1, 4})$, где: X – «Неопределенное» = 1; N – «Отсутствующее» = 0; L – «Низкое» = 0,22; H – «Высокое» = 0,56,

MA_{uz} – модифицированное воздействие на доступность, которое может представляться множеством

$$MA_{uz} = \left\{ \bigcup_{mai=1}^4 MA_{uz,mai} \right\} =$$

$$\{MA_{uz,1}, MA_{uz,2}, MA_{uz,3}, MA_{uz,4}\} = \{X, N, L, H\}$$

($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $mai = \overline{1, 4}$), где: X – «Неопределенное» = 1; N – «Отсутствующее» = 0; L – «Низкое» = 0,22; H – «Высокое» = 0,56.

Далее, введем ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО ПАРАМЕТРА

EP_i » (K_{EP_i}), которая определяется кортежем $[1, 2] < K_{EP_i}, T_{K_{EP_i}}$,

X_{EP_i} », где базовые терм-множества задаются m термами

$T_{K_{EP_i}} = \bigcup_{j=1}^m T_{K_{EP_j}}$, для которых соответственно определяют свои ин-

тервалы значений по каждому EP_i , ($i = \overline{1, g}$) – $[k_{EP_1}; k_{EP_2}]$, $[k_{EP_2}; k_{EP_3}]$, ..., $[k_{EP_{j-1}}; k_{EP_j}]$, $[k_{EP_j}; k_{EP_{j+1}}]$, ..., $[k_{EP_m}; k_{EP_{m+1}}]$. С целью удобства отображения оценочных параметров через интервалы допустимых значений воспользуемся табл. 3.26 (см. п.3.7).

Далее с помощью соответствующего метода (см. п. 3.2) [5, 6], который реализуется посредством четырех этапов осуществим

преобразование интервалов в НЧ – $T_{K_{EP_j}} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)$.

Для этого посредством следующих переопределений модифицируем выражение (3.11) метода (см. п. 3.2) [5, 6]: $a_j = b_{2j}$, $c_j = b_{1j}$, (где $j = \overline{1, m}$, а m – количество терм-множеств), $a_1 = b_{11} = 0$ и $c_m = b_{2m} = k_{m+1}$.

Оценка значимости EP_i выполняется с помощью параметров из множества $LS \in \{LS_i\}$ ($i = \overline{1, g}$), а оценка текущего значения оценочного параметра – с помощью множества $ep \in \{ep_{uz,i}\}$ ($uz = \overline{1, n_{rs}}$, $i = \overline{1, g}$).

Шаг 4 (Определение количества терм-множеств), Шаг 5 (Оценка уровня значимости оценочных параметров) и Шаг 6 (Определение эталонных значений степени риска). Указанные

шаги взаимосвязаны с аналогичными шагами метода, описанного в п. 3.7.

Шаг 7 (Определение эталонных значений оценочных параметров)

Эксперты производят определение эталонных значений для ЛП

K_{EP_i} , т.е. задается количество термов в терм-множестве $T_{K_{EP_i}}$.

Для преобразования интервалов в НЧ воспользуемся предложенным в п. 3.2 [5, 6] методом, который реализуется посредством четырех этапов, с учетом модификации выражения (3.11) из п. 3.2 [5, 6] описанного на шаге 3. Для удобства отображения оценочных параметров через НЧ используем табл. 3.26.

Например, если EP_i представляются трапециевидными НЧ с ФП $\mu_1(ep_{uz,i}), \dots, \mu_j(ep_{uz,i}), \dots, \mu_m(ep_{uz,i})$, то они соответственно вычисляются по выражению (3.8) из п. 3.2, с помощью которого для интервалов EP_i можно сформировать значения $\mu_j(ep_{uz,i})$.

Шаг 8 (Оценка текущих значений параметров)

На этом шаге по каждому оценочному параметру

$$\left\{ \bigcup_{i=1}^3 EP_i \right\} = \{ EP_1, EP_2, EP_3 \} = \{ B, T, E \} \quad (i = \overline{1,3})$$

определяются $ep_{uz,i} \quad \forall V_{rs,uz}, \quad (rs = \overline{1,ro}, uz = \overline{1,n_{rs}})$, т.е. $\{ ep_{uz,i} \} = \{ ep_{uz,B}, ep_{uz,T}, ep_{uz,E} \}$.

Значения каждого из параметров, можно взять из известных баз данных (см. книгу 1) или определить по соответствующим формулам [4]:

$$B_{uz} = \begin{cases} 0 \text{ при } IM_{uz} \leq 0, \\ roundUp_1(\min[(IM_{uz} + EXb_{uz}), 10]) \text{ при } S_{uz,1} = U, \\ roundUp_1(\min[1,08 \cdot (IM_{uz} + EXb_{uz}), 10]) \text{ при } S_{uz,2} = C, \end{cases}$$

где $roundUp_1(\cdot)$ – функция округления до первого знака после запятой (например, 3,822 будет округлена до 3,8);

$$IM_{uz} = \begin{cases} 6,42ISC_{uz} \text{ при } S_{uz,1} = U, \\ 7,52(ISC_{uz} - 0,029) - 3,25(ISC_{uz} - 0,02)^{15} \text{ при } S_{uz,2} = C, \end{cases}$$

где

$$ISC_{uz} = 1 - ((1 - C_{uz,c})(1 - I_{uz,in})(1 - A_{uz,ai})),$$

значения $S_{uz,s}$, $C_{uz,c}$, $I_{uz,in}$, $A_{uz,ai}$ берутся из шага 3 этого метода, а

$$EXb_{uz} = 8,22AV_{uz,av} \cdot AC_{uz,ac} \cdot PR_{uz,pr} \cdot UI_{uz,ui};$$

$$T_{uz} = roundUp_1(B_{uz} \cdot EX_{uz,ex} \cdot RL_{uz,rl} \cdot RC_{uz,rc}),$$

где значения $EX_{uz,ex}$, $RL_{uz,rl}$ и $RC_{uz,rc}$ также берутся из шага 3 метода;

$$E_{uz} = \begin{cases} 0 & npi MIM_{uz} \leq 0, \\ roundUp_1(\min[(MIM_{uz} + MEXb_{uz})EX_{uz,ex}RL_{uz,rl}RC_{uz,rc}, 10]) & npi MS_{uz,1} = U, \\ roundUp_1(\min[1,08(MIM_{uz} + MEXb_{uz})EX_{uz,ex}RL_{uz,rl}RC_{uz,rc}, 10]) & npi MS_{uz,1} = C, \end{cases}$$

где:

$$MIM_{uz} = \begin{cases} 6,42(MISC_{uz}) npi MS_{uz,1} = U, \\ 7,52(MISC_{uz} - 0,029) - 3,25(MISC_{uz} - 0,02)^{15} npi MS_{uz,2} = C, \end{cases}$$

а $MEXb_{uz} = 8,22MAV_{uz,mav} MAC_{uz,mac} MPR_{uz,mpr} MUI_{uz,mui}$ и

$$MISC_{uz} = \min[(1 - (1 - MC_{uz,mc} CR_{uz,cr})(1 - MI_{uz,min} IR_{uz,ir})(1 - MA_{uz,mai} AR_{uz,ar})), 0,915],$$

при этом значения $MS_{uz,ms}$, $MAV_{uz,mav}$, $MAC_{uz,mac}$, $MPR_{uz,mpr}$, $MUI_{uz,mui}$, $MC_{uz,mc}$, $CR_{uz,cr}$, $MI_{uz,min}$, $IR_{uz,ir}$, $MA_{uz,mai}$, $AR_{uz,ar}$ предварительно определены на шаге 3 данного метода. Здесь E_{uz} является корректирующим оценочным параметром, который переопределяет B_{uz} и T_{uz} .

Шаг 9 (Классификация текущих значений), Шаг 10 (Оценка степени риска) и Шаг 11 (Формирование структурированного параметра риска).

Реализуются аналогично методу в п. 3.7.

Рассмотрим работу предложенного метода на конкретном примере.

Пример 1

Шаг 1.

Определяются полные множества всех РИС и уязвимостей, при r_{BD} и n_{NVD} (см. п. 3.7).

Шаг 2.

На этом шаге с помощью множества **RIS** автоматически (посредством перебора данных соответствующих баз) или экспертным путем определяется содержимое **RISO** для конкретного объекта оценивания, например, при $ro = 5$

$$\exists RISO = \left\{ \bigcup_{rs=1}^5 RISO_{rs} \right\} = \{RISO_1, \dots, RISO_5\} \quad (rs = \overline{1,5}),$$

где, например,

$RISO_1$ = «Файловый сервер»,

$RISO_2$ = «Банк данных»,

$RISO_3$ = «Архив данных»,

$RISO_4$ = «Маршрутизатор»,

$RISO_5$ = «Web-сервер».

Далее относительно **RISO**, например, при $n_1 = 5, n_2 = 5, n_3 = 7, n_4 = 4, n_5 = 2$, автоматически или экспертным путем посредством NVD (см. книгу 1) идентифицируются следующие уязвимости –

$$\left\{ \bigcup_{rs=1}^5 \mathbf{V}_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^5 \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} V_{rs,uz} \right\} \right\} = \{ \{V_{1,1}, V_{1,2}, V_{1,3}, V_{1,4}, V_{1,5}\}, \\ \{V_{2,1}, V_{2,2}, V_{2,3}, V_{2,4}, V_{2,5}\}, \\ \{V_{3,1}, V_{3,2}, V_{3,3}, V_{3,4}, V_{3,5}, V_{3,6}, V_{3,7}\}, \{V_{4,1}, V_{4,2}, V_{4,3}, V_{4,4}\}, \{V_{5,1}, V_{5,2}\} \}.$$

Далее, например, при $rs=2$ реализуем ОР для $RISO_2$, по которому экспертами идентифицированы следующие уязвимости:

$V_{2,1}$ = «CVE-2016-5849» – уязвимость Siemens SICAM PAS до версии 8.07 позволяет локальным пользователям получить доступ к конфиденциальной информации о конфигурации за счет использования события остановки базы данных. Оценка CVSS Severity (v2) = 1,9 (LOW) и (v3) = 2,5 (LOW);

$V_{2,2}$ = «CVE-2016-5703» – уязвимость SQL инъекций в библиотеках/центральных столбцах (.lib.php) в PhpMyAdmin версий 4.4.x ÷ 4.4.15.7 и 4.6.x ÷ 4.6.3 позволяет удаленному злоумышленнику выполнить произвольные команды SQL с помощью созданного имени базы данных, используя ошибку в запросе центрального столбца. Оценка CVSS Severity (v2) = 7,5 (HIGH) и (v3) = 9,8 (CRITICAL);

$V_{2,3}$ = «CVE-2016-0298» – уязвимость обхода каталогов в IBM Security Guardium Database Activity Monitor версий 10 ÷ 10.0p100 позволяет осуществлять удаленным пользователям проверку подлинности и читать произвольные файлы с помощью сформированного URL. Оценка CVSS Severity (v2) = 4,0 (MEDIUM) и (v3) = 6,5 (MEDIUM);

$V_{2,4}$ = «CVE-2016-5705» – уязвимость множественного межсайтового скриптинга (XSS) в PhpMyAdmin версий 4.4.x ÷ 4.4.15.7 и 4.6.x ÷ 4.6.3 позволяет удаленному злоумышленнику внедрить произвольный веб-скрипт или HTML с помощью векторов, включающих поля: (1) данные сервера-привилегий – сертификат об привилегиях пользователя страницы, (2) сообщения об ошибках «недействительные JSON» в консоли ошибок, (3) имя базы данных, (4) имя группы. Оценка CVSS Severity (v2) = 4,3 (MEDIUM) и (v3) = 6,1 (MEDIUM);

$V_{2,5}$ = «CVE-2016-4328» – уязвимость предоперационной системы управления информацией MEDHOST (так называемой PIMS или VPIMS) до 2015R1 имеет четко прописанные учетные данные, что делает ее более доступной для удаленного злоумышленника при получении доступа к конфиденциальной информации с помощью прямых запросов к серверу базы данных приложений. Оценка CVSS Severity (v2) = 10 (HIGH) и (v3) = 9,8 (CRITICAL).

Шаг 3.

Определим множество параметров ОР, например, при $ro = 2$ (т.е. для LR_2) и при $n_2 = 5$ (т.е. для $\{\bigcup_{uz=1}^5 LRV_{2,uz}\} = \{LRV_{2,1}, LRV_{2,2}, LRV_{2,3}, LRV_{2,4}, LRV_{2,5}\}$).

Отображение результатов ОР для LR_2 и $LR_{2,uz}$, ($uz = \overline{1,5}$) при $m = 5$ выполним посредством термов $\bigcup_{j=1}^5 \tilde{T}_{DR_j}$ (см. п. 3.7), которые

могут быть отображены на универсальное множество $X_{DR} \in \{0, \max_{DR}\}$. В последствии для каждого терма определяются интервалы с использованием модифицированной шкалы Харрингтона [2, 7].

Далее воспользуемся множеством оценочных параметров $EP = \{B, T, E\}$. Определим для ЛП K_{EP_i} при $m = 5$ следующие термы –

$\bigcup_{j=1}^5 \tilde{T}_{K_{EP_j}} = \{\text{«Отсутствует» (N), «Низкий» (L), «Средний» (M), «Высокий» (H), «Критический» (C)\}$, которые в лингвистической форме характеризуют уровень оценочного параметра. Далее для каждого терма оценочных параметров [4] определим интервалы $[k_{EP_1}; k_{EP_2}]$, $[k_{EP_2}; k_{EP_3}]$, $[k_{EP_3}; k_{EP_4}]$, $[k_{EP_4}; k_{EP_5}]$, $[k_{EP_5}; k_{EP_6}]$, которым будут соответствовать значения [3, 4] –

$[0; 0,1[$, $[0,1; 4[$, $[4; 7[$, $[7; 9[$, $[9; 10]$.

Шаг 4.

Определим количество необходимых терм-множеств для ОР ЛП $DR^{(m)}$ и $K_{EP_i}^{(m)}$, при $m = 5$ (см. табл. 3.24 и 3.36 соответственно).

В случае необходимости можем с помощью методов, описанных в главе 2, реализовать инкрементирование или декрементирование соответствующих терм-множеств.

Таблица 3.36. Определение эталонных значений НЧ оценочных параметров (пример)

	НЧ $\tilde{T}_{K_{EP_j}} = (a_j, b_{1j}, b_{2j}, c_j)_{LR}$ для $\tilde{T}_{K_{EP_1}} \div \tilde{T}_{K_{EP_5}}$, ($j = \overline{1,5}$, $i = \overline{1,g}$)				
EP_i	$\tilde{T}_{K_{EP_1}}$ ($ai_1; bi_{11}; bi_{21}; ci_1$)	$\tilde{T}_{K_{EP_2}}$ ($ai_2; bi_{12}; bi_{22}; ci_2$)	$\tilde{T}_{K_{EP_3}}$ ($ai_3; bi_{13}; bi_{23}; ci_3$)	$\tilde{T}_{K_{EP_4}}$ ($ai_4; bi_{14}; bi_{24}; ci_4$)	$\tilde{T}_{K_{EP_5}}$ ($ai_5; bi_{15}; bi_{25}; ci_5$)
B, T, E	(0;0;0,1;1,1)	(0,1;1,1;3,1;4,9)	(3,1;4,9;6,4;7,7)	(6,4;7,7;8,7;9,5)	(8,7;9,5;10;10)

Шаг 5.

На этом шаге произведем оценку значимости оценочных параметров. Так как для всех оценочных параметров, (например, по мнению экспертов) справедливо отношение порядка $LS_1 \geq LS_2 \geq LS_3$ (см. (3.12)), тогда оценку LS осуществим по формуле (3.13) из п. 3.4 т.е.:

$$LS_1 = 2(g - i + 1) / (g - 1)g = 2(3 - 1 + 1) / (3 - 1)3 = 1;$$

$$LS_2 = 2(3 - 2 + 1) / (3 - 1)3 = 0,67;$$

$$LS_3 = 2(3 - 3 + 1) / (3 - 1)3 = 0,33, \quad (i = \overline{1,3}).$$

Шаг 6.

Здесь определим эталонные значения для ЛП DR . С помощью выражений (3.7)-(3.11) из [5, 6] представим для $T_{DR_j} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)$ числовые значения, которые заносятся в таблицу 3.28. Их графическая интерпретация отображена на рис. 3.19.

Шаг 7.

Сформируем эталонные значения для ЛП K_{EP_i} . Преобразование интервалов в НЧ $T_{K_{EP_j}} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)$ реализуем с помощью четырех этапов предложенного в п. 3.2 [5, 6] метода и поправок, принятых на этапе 3.

Этапы 1 и 3. Используем результаты с аналогичного примера приведенного в п. 3.7.

Этап 4. Реализуем нормирование результатов по выражению (3.11) (см. п. 3.2 [5, 6]) с учетом модификации:

$$b_{i_{11}} = (b''_{i_{11}} \cdot k_{EP_6}) / b''_{i_{25}} = 0;$$

$$b_{i_{21}} = (b''_{i_{21}} \cdot k_{EP_6}) / b''_{i_{25}} = 0,051 \text{ и т.д. (см. табл. 3.36),}$$

$$a_{i_2} = b_{i_{21}}, \quad a_{i_3} = b_{i_{22}}, \quad a_{i_4} = b_{i_{23}}, \quad a_{i_5} = b_{i_{24}},$$

$$c_{i_1} = b_{i_{12}}, \quad c_{i_2} = b_{i_{13}}, \quad c_{i_3} = b_{i_{14}}, \quad c_{i_4} = b_{i_{15}}.$$

Далее, согласно (3.11) (см. п. 3.2 [5, 6]), $a_{i_1} = b_{i_{11}} = 0$, а $c_{i_5} = b_{i_{25}} = 10$. Все полученные в результате вычисления значения занесены в таблицу 3.36, а их графическая интерпретация отображена на рис. 3.25.

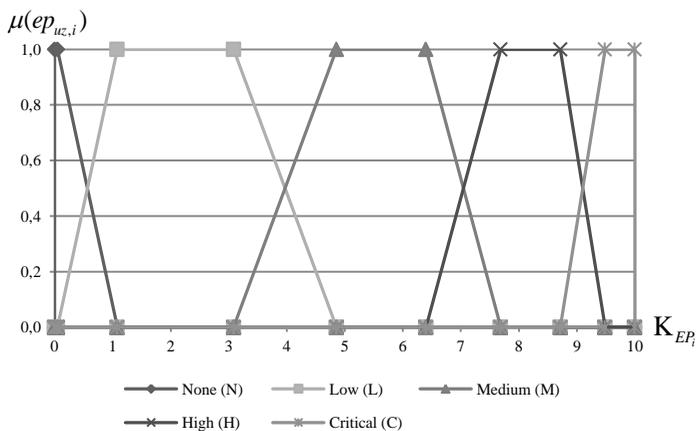


Рис. 3.25. Пример эталонных НЧ для оценочных параметров

$$B_{uz}, T_{uz}, E_{uz}, (uz = \overline{1,5})$$

Шаг 8.

Текущее состояние $RISO_2$ характеризуется значениями оценочных параметров $ep_{uz,i}$, $\forall V_{rs,uz}$, которые определяются с помощью оценок CVSS версии 3, представленных на сайте NVD (см. книгу 1). Поскольку не всегда все значения оценочных параметров по уязвимостям присутствуют в базе NVD, то для получения недостающих воспользуемся формулами из шага 7.

Расчет для $V_{2,1} = \langle \text{CVE-2016-5849} \rangle$:

– для B_1 , исходя из того, что величинам $AV_{1,3}$, $AC_{1,2}$, $PR_{1,2}$, $S_{1,1}$, $UI_{1,1}$, $C_{1,2}$, $I_{1,1}$ и $A_{1,1}$ соответствуют определенные значения «L», «H», «L», «U», «N», «L», «N» и «N», то $AV_{1,3} = 0,55$, $AC_{1,2} = 0,44$, $PR_{1,2} = 0,62$, $UI_{1,1} = 0,85$, $C_{1,2} = 0,22$, $I_{1,1} = 0$ и $A_{1,1} = 0$. На основе этого вычисляем

$$\begin{aligned}
 ISC_1 &= 1 - ((1 - C_{1,2})(1 - I_{1,1})(1 - A_{1,1})) = \\
 &= 1 - ((1 - 0,22)(1 - 0)(1 - 0)) = 0,22, \\
 IM_1 &= 6,42 \quad ISC_1 = 1,4124, \quad EXb_1 = 8,22 \\
 AV_{1,3} \quad AC_{1,2} \quad PR_{1,2} \quad UI_{1,1} &= \\
 8,22 \cdot 0,55 \cdot 0,44 \cdot 0,62 \cdot 0,85 &= 1,0483, \text{ а}
 \end{aligned}$$

$$B_1 = \text{roundUp}_1[\min(IM_1 + EXb_1), 10] = \\ \text{roundUp}_1[\min(1,4124 + 1,0483), 10] = 2,5;$$

– для T_1 (аналогично B_1) соответствующие величины и их значения инициализируются с помощью NVD, или, например, экспертным путем, так для $EX_{1,2} = \langle U \rangle$, $RL_{1,2} = \langle OF \rangle$, $RC_{1,4} = \langle C \rangle$ и тогда $EX_{1,2} = 0,91$, $RL_{1,2} = 0,95$, $RC_{1,4} = 1$, а

$$T_1 = \text{roundUp}_1(B_1 EX_{1,2} RL_{1,2} RC_{1,4}) = \\ \text{roundUp}_1(2,5 \cdot 0,91 \cdot 0,95 \cdot 1) = 2,2;$$

– для E_1 , по аналогии с T_1 , значения также могут быть определены посредством БД или экспертным путем, так, например, если $MAV_{1,4} = \langle L \rangle$, $MAC_{1,3} = \langle H \rangle$, $MPR_{1,3} = \langle L \rangle$, $MUI_{1,2} = \langle N \rangle$, $MS_{1,2} = \langle U \rangle$, $MC_{1,3} = \langle L \rangle$, $MI_{1,2} = \langle N \rangle$, $MA_{1,2} = \langle N \rangle$, $CR_{1,3} = \langle M \rangle$, $IR_{1,2} = \langle L \rangle$ и $AR_{1,2} = \langle L \rangle$, тогда $MAV_{1,4} = 0,55$, $MAC_{1,3} = 0,44$, $MPR_{1,3} = 0,62$, $MUI_{1,2} = 0,85$, $MC_{1,3} = 0,22$, $MI_{1,2} = 0$, $MA_{1,2} = 0$, $CR_{1,3} = 1$, $IR_{1,2} = 0,5$ и $AR_{1,2} = 0,5$. На основе этого находим

$$MISC_1 = \min[(1 - (1 - MC_{1,3} CR_{1,3})(1 - MI_{1,2} IR_{1,2})(1 - MA_{1,2} AR_{1,2})), 0,915] = \\ \min[(1 - (1 - 0,22 \cdot 1)(1 - 0 \cdot 0,5)(1 - 0 \cdot 0,5)), 0,915] = 0,22, \\ MIM_1 = 6,42 MISC_1 = 6,42 \cdot 0,22 = 1,4124, \\ MEXb_1 = 8,22 MAV_{1,4} MAC_{1,3} MPR_{1,3} MUI_{1,2} = \\ 8,22 \cdot 0,55 \cdot 0,44 \cdot 0,62 \cdot 0,85 = 1,0483 \text{ и} \\ E_1 = \text{roundUp}_1(\min[MIM_1 + MEXb_1] EX_{1,1} RL_{1,1} RC_{1,4}, 10) = \\ \text{roundUp}_1(\min[1,4124 + 1,0483] 0,91 \cdot 0,95 \cdot 1, 10) = 2,2.$$

Полученное значение E_1 скорректировало параметры B_1 и T_1 .

Расчет для $V_{2,2} = \langle CVE-2016-5703 \rangle$:

– для B_2 определены значения $AV_{2,1} = \langle N \rangle$, $AC_{2,1} = \langle L \rangle$, $PR_{2,1} = \langle N \rangle$, $UI_{2,1} = \langle N \rangle$, $S_{2,1} = \langle U \rangle$, $C_{2,3} = \langle H \rangle$, $I_{2,3} = \langle H \rangle$, $A_{2,3} = \langle H \rangle$ и тогда $AV_{2,1} = 0,85$, $AC_{2,1} = 0,77$, $PR_{2,1} = 0,85$, $UI_{2,1} = 0,85$, $C_{2,3} = I_{2,3} = A_{2,3} = 0,56$.

Вычисляем

$$ISC_2 = 1 - ((1 - 0,56)(1 - 0,56)(1 - 0,56)) = 0,915,$$

$$IM_2 = 6,42 \cdot 0,915 = 5,87,$$

$$EXb_2 = 8,22 \cdot 0,85 \cdot 0,77 \cdot 0,85 \cdot 0,85 = 3,89,$$

$$B_2 = \text{roundUp}_1(\min[5,87 + 3,89], 10) = 9,8;$$

– для T_2 в базе NVD отсутствуют определенные значения, поэтому, например, экспертным путем определим значения для $EX_{2,5} = \langle H \rangle$, $RL_{2,1} = \langle X \rangle$, $RC_{2,1} = \langle UC \rangle$, и тогда $EX_{2,5} = 1$, $RL_{2,1} = 1$, $RC_{2,1} = 1$,

$$T_2 = \text{roundUp}_1(9,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1) = 9,8;$$

– для E_2 , по аналогии с T_2 , значения определяются также экспертным путем. Если $MAV_{2,2} = \langle N \rangle$, $MAC_{2,2} = \langle L \rangle$, $MPR_{2,2} = \langle N \rangle$, $MUI_{2,2} = \langle N \rangle$, $MS_{2,2} = \langle U \rangle$, $MC_{2,4} = \langle H \rangle$, $MI_{2,4} = \langle H \rangle$, $MA_{2,4} = \langle H \rangle$, $CR_{2,4} = \langle H \rangle$, $IR_{2,4} = \langle H \rangle$ и $AR_{2,4} = \langle H \rangle$, тогда $MAV_{2,2} = 0,85$, $MAC_{2,2} = 0,77$, $MPR_{2,2} = 0,85$, $MUI_{2,2} = 0,85$, $MC_{2,4} = MI_{2,4} = MA_{2,4} = 0,56$ и $CR_{2,4} = IR_{2,4} = AR_{2,4} = 1,5$.

На основе этого находим $MISC_2 = \min[(1 - (1 - 0,56 \cdot 1,5) (1 - 0,56 \cdot 1,5) (1 - 0,56 \cdot 1,5)), 0,915] = 0,915$, $MIM_2 = 6,42 \cdot 0,915 = 5,8743$, $MEXb_2 = 8,22 \cdot 0,85 \cdot 0,77 \cdot 0,85 \cdot 0,85 = 3,887$ и

$$E_2 = \text{roundUp}_1(\min[(5,8743 + 3,887) 1 \cdot 1 \cdot 1, 10]) = 9,8.$$

Полученное значение E_2 скорректировало параметры B_2 и T_2 .

По аналогии с предыдущими уязвимостями для $V_{2,3} = \langle \text{CVE-2016-0298} \rangle$, $V_{2,4} = \langle \text{CVE-2016-5705} \rangle$ и $V_{2,5} = \langle \text{CVE-2016-4328} \rangle$ также были сформированы оценочные параметры. Их значения занесены в таблицу 3.37.

Таблица 3.37. Определение текущих значений оценочных параметров (пример 1)

EP_i	$ep_{1,i}$	$ep_{2,i}$	$ep_{3,i}$	$ep_{4,i}$	$ep_{5,i}$
$B, (i=1)$	2,5	9,8	6,5	6,1	9,8
$T, (i=2)$	2,2	9,8	6	5,4	8,7
$E, (i=3)$	2,2	9,8	7,7	4,1	8,7

Шаг 9.

Осуществим классификацию текущих значений $ep_{uz,i}$ по соответствующей формуле в выше разработанном методе (см. п. 3.7), результаты заносятся в табл. 3.38:

Таблица 3.38. Классификация текущих значений оценочных параметров (пример 1)

EP_i	Значение $\lambda_{uz,ij}$ для $\left\{ \bigcup_{uz=1}^5 V_{1,uz} \right\}, (uz = \overline{1,5})$																												
	$\lambda_{1,ij}$ для $T_{K_{EP1}}$ ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{2,ij}$ для $T_{K_{EP2}}$ ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{3,ij}$ для $T_{K_{EP3}}$ ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{4,ij}$ для $T_{K_{EP4}}$ ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{5,ij}$ для $T_{K_{EP5}}$ ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)												
	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0,92	0,08	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
T	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
E	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0,44	0,56	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	

Шаг 10.

Произведем вычисление показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.27) (см. п. 3.7), где $m = 5, j = \overline{1,5}, i = \overline{1,3}, n_1 = \overline{1,5}, K_{lr_1} = 10, K_{lr_2} = 30, K_{lr_3} = 50, K_{lr_4} = 70, K_{lr_5} = 90, ks = 0,5$ и тогда $LRV_{2,1} = 30, LRV_{2,2} = 90, LRV_{2,3} = 54,1, LRV_{2,4} = 48,55, LRV_{2,5} = 80$.

Шаг 11.

По аналогии с шагом 8 в соответствии с (3.24) (см. п. 3.5) вычислим $\mu_j(LRV_{2,uz}) (uz = \overline{1,5})$.

Далее с помощью (3.28) (см. п. 3.7) формируются SP_{uz} :

$$SP_1 = (LRV_{2,1}; T_{DR_2}(\mu_2(LRV_{2,1}))) = (30; PH),$$

$$SP_2 = (LRV_{2,2}; T_{DR_5}(\mu_5(LRV_{2,2}))) = (90; ПП),$$

$$SP_3 = (LRV_{2,3}; T_{DR_3}(\mu_3(LRV_{2,3}))) = (54,1; PC),$$

$$SP_4 = (LRV_{2,4}; T_{\sim DR_3}(\mu_3(LRV_{2,4}))) = (48,55; PC),$$

$$SP_5 = (LRV_{2,5}; T_{\sim DR_4}(\mu_4(LRV_{2,5})));$$

$$T_{\sim DR_5}(\mu_5(DRV_{2,5})) = (80; PB(0,8); PP(0,2)),$$

где, например, (80; PB(0,8); PP(0,2)) лингвистически интерпретируется, как «Степень риска с числовым эквивалентом 80 граничит между высоким риском и предельным риском по границе PB – 0,8 и PP – 0,2».

Также для данного $RISO_2$ на основе (3.29) (см. п. 3.7), можно вычислить среднее значение степени риска:

$$LS_2 = (30 + 90 + 54,1 + 48,55 + 80) / 5 = 60,53$$

и сформировать для него

$$SP = (60,53; PC(0,55); PB(0,45)).$$

По аналогии с примером в п. 3.7, для верификации представленного метода осуществим моделирование:

1-е состояние (см. табл. 3.39 и 3.40) и

2-е состояние (см. табл. 3.41 и 3.42) среды оценивания.

Пример 2 (1-е состояние)

Согласно 1-го состояния при $m = 5$ оценочные параметры принимают значения, которые отражены в табл. 3.39.

Реализуем классификацию значений $ep_{uz,i}$ по формуле (3.24) и (3.25) (см. п. 3.5), результаты которой занесены в табл. 3.40.

Таблица 3.39. 1-е состояние значений оценочных параметров (пример 2)

EP_i	$ep_{1,i}$	$ep_{2,i}$	$ep_{3,i}$	$ep_{4,i}$	$ep_{5,i}$
$B, (i=1)$	1,5	8,8	5,5	5,1	8,8
$T, (i=2)$	1,2	8,8	5	4,4	7,7
$E, (i=3)$	1,2	8,8	6,7	3,1	7,7

Произведем вычисление показателя степени риска нарушения ИБ по формуле (3.27) (см. п. 3.7), $m = 5$, $j = \overline{1,5}$, $i = \overline{1,3}$, $n_i = \overline{1,5}$, $K_{lr_1} = 10$, $K_{lr_2} = 30$, $K_{lr_3} = 50$, $K_{lr_4} = 70$, $K_{lr_5} = 90$, $ks = 0,5$ и тогда $LRV_{2,1} = 30$, $LRV_{2,2} = 74$, $LRV_{2,3} = 50,76$, $LRV_{2,4} = 44,82$, $LRV_{2,5} = 72$.

С помощью (3.24) вычислим $\mu_j(LRV_{2,u_z})$ ($u_z = \overline{1,5}$), а используя (3.28) формируются SP_{u_z} :

$$SP_1 = (LRV_{2,1}; T_{\sim DR_2}(\mu_2(LRV_{2,1}))) = (30; PH),$$

$$SP_2 = (LRV_{2,2}; T_{\sim DR_4}(\mu_4(DRV_{2,2}))) = (74; PB),$$

$$SP_3 = (LRV_{2,3}; T_{\sim DR_3}(\mu_3(LRV_{2,3}))) = (50,76; PC),$$

$$SP_4 = (LRV_{2,4}; T_{\sim DR_3}(\mu_3(LRV_{2,4}))) = (44,82; PC),$$

$$SP_5 = (LRV_{2,5}; T_{\sim DR_4}(\mu_4(LRV_{2,5}))) = (72; PB).$$

На основе (3.29) (см. п. 3.7) для $RISO_2$ можно вычислить среднее значение степени риска, т.е. $LS_2 = 54,32$ и сформировать для него $SP = (54,32; PC)$.

Таблица 3.40. Классификация 1-го состояния значений оценочных параметров (пример 2)

EP_i	Значение $\lambda_{u_z,ij}$ для $\{\bigcup_{u_z=1}^5 V_{1,u_z}\}$ ($u_z = \overline{1,5}$)																										
	$\lambda_{1,ij}$ для $T_{K_{EP1}}$ ($i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$)					$\lambda_{2,ij}$ для $T_{K_{EP2}}$ ($i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$)					$\lambda_{3,ij}$ для $T_{K_{EP3}}$ ($i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$)					$\lambda_{4,ij}$ для $T_{K_{EP4}}$ ($i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$)					$\lambda_{5,ij}$ для $T_{K_{EP5}}$ ($i = \overline{1,3}$, $j = \overline{1,5}$)						
	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0,89	0,13	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,89	0,13
T	0	1	0	0	0	0	0	0	0,89	0,13	0	0	1	0	0	0	0	0,28	0,72	0	0	0	0	0	0	1	0
E	0	1	0	0	0	0	0	0	0,89	0,13	0	0	0,77	0,23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Пример 3 (2-е состояние)

Согласно 2-го состояния при $m = 5$ оценочные параметры принимают значения, которые отражены в табл. 3.41.

Произведем классификацию $ep_{uz,i}$ с помощью (3.24) и (3.25), результаты которой занесены в табл. 3.42.

Таблица 3.41. 2-е состояние значений оценочных параметров (пример 3)

EP_i	$ep_{1,i}$	$ep_{2,i}$	$ep_{3,i}$	$ep_{4,i}$	$ep_{5,i}$
$B, (i=1)$	3,5	10	7,5	7,1	10
$T, (i=2)$	3,2	10	7	6,4	9,7
$E, (i=3)$	3,2	10	8,7	5,1	9,7

Далее, аналогично первому состоянию, вычислим показатель степени риска нарушения ИБ используя (3.27), т.е.

$$LRV_{2,1} = 32,65, LRV_{2,2} = 90, LRV_{2,3} = 65,47,$$

$$LRV_{2,4} = 55,4, LRV_{2,5} = 90.$$

Таблица 3.42. Классификация 2-го состояния значений оценочных параметров (пример 3)

EP_i	Значение $\lambda_{uz,ij}$ для $\{ \bigcup_{uz=1}^5 V_{1,uz} \}$ ($uz = \overline{1,5}$)																											
	$\lambda_{1,ij}$ для T_{KEP1} ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{2,ij}$ для T_{KEP2} ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{3,ij}$ для T_{KEP3} ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{4,ij}$ для T_{KEP4} ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)				$\lambda_{5,ij}$ для T_{KEP5} ($i = \overline{1,3}, j = \overline{1,5}$)											
B	0	0,77	0,22	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,15	0,86	0	0	0	0	0,46	0,54	0	0	0	0	0	0	1
T	0	0,94	0,06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0,54	0,47	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
E	0	0,94	0,06	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

Посредством (3.24) вычислим $\mu_j(LRV_{2,uz})$ ($uz = \overline{1,5}$), а используя (3.28) сформируем SP_{uz} :

$$SP_1 = (LRV_{2,1}; T_{DR_2}(\mu_2(LRV_{2,1}))) = (32,65; PH),$$

$$SP_2 = (LRV_{2,2}; T_{DR_5}(\mu_5(LRV_{2,2}))) = (90; ПР),$$

$$SP_3 = (LRV_{2,3}; T_{DR_3}(\mu_3(LRV_{2,3})));$$

$$T_{DR_4}(\mu_4(LRV_{2,3})) = (65,47; PC(0,11); PB(0,89)),$$

$$SP_4 = (LRV_{2,4}; T_{DR_3}(\mu_3(LRV_{2,4})) = (55,4; PC),$$

$$SP_5 = (LRV_{2,5}; T_{DR_5}(\mu_5(LRV_{2,5})) = (90; PP).$$

На основе (3.29), вычислим среднее значение степени риска $LS_2 = 66,7$ и сформируем для него $SP = (66,7; PB)$. Графическое представление полученных результатов отображено на рис. 3.26. и рис. 3.27.



Рис. 3.26. Результаты вычисления значений для $LRV_{2,uz}$

Как видно из полученных результатов, предлагаемый метод адекватно реагирует на изменения выходных значений оценочных параметров, т.е. при их уменьшении показатели степени риска уменьшаются, а при увеличении – увеличиваются.

Таким образом, представленный метод оценивания рисков информационной безопасности на основании открытых баз данных уязвимостей за счет модификации процедур определения множества параметров оценивания риска и оценки текущих значений параметров с возможностью интеграции (в качестве альтернативы

оценок экспертов) значений показателей CVSS (версии 3.0), которые представлены в NVD, дает возможность различить уязвимый и атакуемый компоненты, позволяет реализовывать оперативное оценивание и мониторинг (в реальном времени) рисков без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

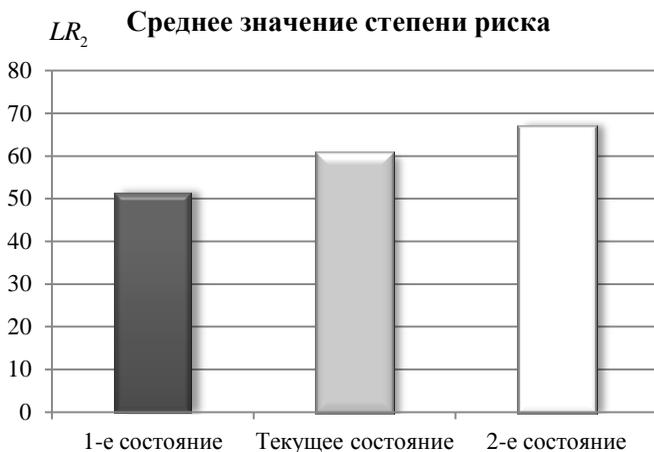


Рис. 3.27. Результаты вычисления значений для LR_2 при разных состояниях оценочных параметров

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 3

1. А. Корченко, *Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения*, К.: МК-Пресс, 2006, с.320.
2. А. Корченко, А. Архипов, С. Казмирчук, *Анализ и оценивание рисков информационной безопасности. Монография*, Киев: ООО «Лазурит-Полиграф», 2013, с. 275.
3. «A Complete Guide to the Common Vulnerability Scoring System. Version 2.0», [Electronic resource], *Forum of Incident Response and Security Teams*, Morrisville, 2016, [Online]. Access mode: <http://www.first.org/cvss/v2/guide>.
4. «Common Vulnerability Scoring System v3.0: User Guide» [Electronic resource], *Forum of Incident Response and Security Teams*, Morrisville, 2016, [Online]. Access mode: <http://www.first.org/cvss/user-guide>.
5. А. Корченко, С. Казмирчук, «Метод преобразования интервалов в нечеткие числа для систем анализа и оценивания рисков», *Правовое, нормативное и метрологическое обеспечение системы защиты информации в Украине*, № 1(31), С. 57-64, 2016.
6. А. Корченко, С. Казмирчук, Б. Ахметов, М. Коломиец «Метод трансформирования интервалов в треугольные нечеткие числа для систем оценивания рисков информационной безопасности», *Захист інформації*, Т. 20, №. 1, С. 55-60, 2018.
7. Б. Литвак, *Экспертные технологии в управлении*, Учеб. пособие, 2-е изд., испр. и доп., М.: Дело, 2004, с. 400.
8. П. Фишберн, *Теория полезности для принятия решений*, М.: Наука, 1978, с. 352.
9. «Информационные технологии. Свод правил по управлению защитой информации», *ISO/IEC 27002:2005(E)*, М.: Компания «Технорматив», 2007, с.117.
- 10.«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, p. 34.
- 11.А. Корченко, С. Казмирчук, А. Арджомандыфард, Т. Панивко, «Исследование баз данных уязвимостей информационной безопасности», *Захист інформації*, Т. 18, №. 3, С. 175-192, 2016.

Глава 4. СИСТЕМЫ ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Известно, что методологический базис является важнейшим компонентом теории защиты информации [1], который состоит из совокупности методов и моделей, необходимых и достаточных для исследований проблемы защиты и решения практических задач соответствующего назначения. На сегодняшний день разработаны методы ОР безопасности РИС (см. главу 3), которые позволяют реализовать оценивание в детерминированных и нечетких условиях среды оценивания с участием и без участия экспертов соответствующей предметной области. Эти методы позволяют оперировать одновременно четкими и нечеткими параметрами с возможностью варьирования порядком ЛП (см. главу 2), а также реализовывать оперативное оценивание и мониторинг (в реальном времени) рисков без привлечения экспертов соответствующей предметной области (п.п. 3.7 и 3.8). Для этого, например, можно использовать значения показателей ИБ CVSS (версии 2.0 и 3.0), полученные на основании открытых баз данных уязвимостей (в качестве альтернативы оценок экспертов).

Сегодня известен методологический базис для синтеза следующих систем: оценивания уровня защищённости государственных ресурсов от социотехнических атак 1; анализа состояния комплекса технической защиты информации 3; выявления аномалий, порожденных кибератаками 4; оценивания ущерба национальной безопасности в сфере охраны государственной тайны 5; анализа и оценки рисков потерь информационных ресурсов 6 и т.д. Последняя методология связана с актуальной задачей ОР безопасности РИС, однако, она не решает проблему обеспечения соответствующими функциональными свойствами средств оценивания рисков безопасности РИС за счет разработки обобщенной методологии обеспечения процесса ОР ИС, а предложенные методы и методология ОР (см. главу 1-3) не используются в единой стратегии исследований в области управления рисками и эффективного построения соответствующих систем ИБ.

В связи с этим, для решения указанной проблемы необходимо интегрировать предложенные разработки и применить их с соответствующих системных позиций 6.

4.1. Методология синтеза адаптивных систем оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем

Для решения проблемы неспособности существующих методов и средств ОР адаптироваться под разные потребности пользователя необходима методология, которая бы позволила поддерживать процесс построения таких систем ОР безопасности РИС, которые могли бы соответствовать современным требованиям.

На основании известных исследований, связанных с построением функционального полного базиса методов модификации порядка ЛП, который за счет использования соответствующих аналитических функций инкрементирования и декрементирования числа термов и их модификаций полным n -кратным расширением (n -кратное инкрементирование и декрементирование), а также базовых аналитических выражений верификации модифицированных ЛП, позволяет реализовывать процедуру трансформирования базовых эталонов параметров на трапециевидных и треугольных НЧ без привлечения экспертов соответствующей предметной области и расширить математическую базу теории нечетким множеств, связанную с операциями над ЛП относительно проверки свойств равномерности, неравномерности, возрастания и убывания ЛП на трапециевидных и треугольных НЧ до и после их соответствующего функционального преобразования, баз данных уязвимостей, предлагается соответствующая обобщенная методология с полиморфными свойствами относительно поддержки процесса ОР безопасности РИС, структурно-аналитическое отображение которой представлено на рис. 4.1. Основу методологии составляют десять базовых этапов:

- 1) определение базовых параметров;
- 2) выбор метода ОР;
- 3) выбор БД РИС (БДРИС) и угроз/уязвимостей (БДУ/У);
- 4) идентификация РИС, угроз/уязвимостей;
- 5) формирование множества параметров ОР;
- 6) формирование эталонов;
- 7) выбор метода трансформирования термов;
- 8) верификация ЛП;
- 9) определение оценочных параметров (фаззификация);
- 10) оценивание и интерпретация СР (дефаззификация).

Опишем более подробно каждый из этапов предложенной методологии.

1. Определение базовых параметров.

На первом этапе, для последующего оценивания СР, пользователю необходимо на основе СК $\langle ST_1, ST_2, \dots, ST_{dev} \rangle$ (п. 1.2) посредством метода формирования СК (см. п. 1.4) определить все необходимые базовые параметры, которые, по его мнению, должны использоваться при ОР. В результате реализации этого этапа формируются базовые множества параметров для ОР $EP_i = \{EP_1, EP_2, \dots, EP_g\}$ ($i = \overline{1, g}$).

2. Выбор метода ОР.

Здесь, на основе сформированного на первом этапе множества EP_i , пользователем осуществляется выбор метода ОР безопасности РИС в зависимости от источника и формата входных данных, определенных пользователем для дальнейшего ОР.

К этим источникам относятся данные о возможных оценочных параметрах в СК. В соответствие с этим, методология позволяет производить ОР безопасности РИС на основе множества методов ОР M_{met} (где met – количество возможных методов ОР). Для каждого метода определяются оценочные параметры EP_i и их количество ($i = \overline{1, g_{M_1}}, i = \overline{1, g_{M_2}}, \dots, i = \overline{1, g_{M_{met}}}$). Например, M_1 – интегрированный метод ОР (п. 4.3), для которого при $i = \overline{1, 4}$ EP_i может иметь вид $EP_i = \{EP_1, EP_2, EP_3, EP_4\} = \{D, F, L, P\}$ (пп. 4.1-4.3), M_2 – качественно-количественный метод ОР (п. 4.4) и M_3 – метод ОР ИБ на основе открытых баз данных уязвимостей (п. 4.5), где в качестве оценочных параметров могут использоваться VA (оценки CVSS) (пп. 2.2, 4.4 и 4.5), а при $i = \overline{1, 3}$ $EP_i = \{EP_1, EP_2, EP_3\} = \{B, T, E\}$ и т.д.

В зависимости от произведенного выбора (в дальнейшем на следующих этапах методологии) формируются соответствующие интервалы значений для ЛПП.

3. Выбор БДРИС и БДУ/У.

Здесь, в зависимости от выбранного (на 2 этапе методологии) метода ОР, осуществляется выбор БДРИС и БДУ/У, которые являются основой для определения всего множества

$$RIS = \left\{ \bigcup_{rs=1}^r RIS_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, r})$$

и угроз/уязвимостей (У/У) $A \in \{A_a\} / V = \left\{ \bigcup_{uz=1}^n V_{uz} \right\} \quad (uz = \overline{1, n})$. В

качестве таких БД могут служить, например, общедоступные (через интернет) БДУ/У (п.п. 3.7, 3.8) или БД, хранящиеся на соответствующих серверах и содержащие в себе, например, необходимые для реализации ОР статистические данные, полученные на предприятии за определенный промежуток времени.

4. Идентификация РИС и У/У.

На этом этапе для ОР осуществляется идентификация РИС и У/У (в зависимости от выбранного метода ОР (см. главу 3)). Для этого, согласно выбранного объекта оценивания, определяются множества РИС

$$RISO = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} RISO_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro})$$

и У/У т.е. $A \in \{A_a\} \quad (a = \overline{1, n}) / V = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} V_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} V_{rs,uz} \right\} \right\}$

$(rs = \overline{1, ro}, \quad uz = \overline{1, n_{rs}})$ посредством соответствующих БД (множества определенных $RISO_{rs} \subset RIS$ и $V_{rs} \subset V$) (пп. 3.7, 3.8), выбранных на этапе 3 методологии. Например, в результате прохождения этого этапа на выходе можем получить следующие РИС:

$RISO_1 =$ «Веб-сервер»,

$RISO_2 =$ «Операционная система»,

$RISO_3 =$ «Сетевой файл-сервер» и т.п.,

а при $n=3$ для $RISO_1 =$ «Веб-сервер» были идентифицированы следующие $A \in \{A_a\} \quad (a = \overline{1, 3})$:

$A_1 =$ «Аппаратные сбои и отказы»;

$A_2 =$ «Диверсии»;

$A_3 =$ «Перегрузки».

5. Формирование множества параметров ОР.

Этот этап ориентирован на определение множества всех ОР LR и LRV_{rs} ($rs = \overline{1, ro}$) (п. 3.7), а также ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА» (DR),

соответствующей кортежу (см. главу 3) $\langle DR, \underline{T}_{DR}, \underline{X}_{DR} \rangle$. Для это-

го задается базовое терм-множество ЛП – $\underline{T}_{DR} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{DR_j}$ ($j = \overline{1, m}$,

где m – количество термов). Здесь также формируется ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО ПАРАМЕТРА EP_i » (K_{EP_i}), которая опреде-

ляется кортежем (см. главу 3) $\langle K_{EP_i}, \underline{T}_{K_{EP_i}}, \underline{X}_{EP_i} \rangle$, где базовые

терм-множества определяются m термами $\underline{T}_{K_{EP_i}} = \bigcup_{j=1}^m \underline{T}_{K_{EP_{ij}}}$. Сформи-

рованные интервалы ЛП DR и K_{EP_i} используются на этапе 6 для формирования НЧ, а при необходимости трансформирования термов и верификации полученных преобразованных эталонов на этапах 7 и 8 соответственно. Также указанные ЛП используются на этапе 10 при формировании структурного параметра.

6. Формирование эталонов.

Здесь, сформированным на этапе 5 ЛП DR и K_{EP_i} , для каждого

из термов $\underline{T}_{DR_1}, \dots, \underline{T}_{DR_j}, \dots, \underline{T}_{DR_m}$ соответственно определяется свой

интервал значений $[dr_1; dr_2[, \dots, [dr_j; dr_{j+1}[, \dots, [dr_m; dr_{m+1}]$ ($j = \overline{1, m}$),

а для $\underline{T}_{K_{EP_{i1}}}, \underline{T}_{K_{EP_{i2}}}, \dots, \underline{T}_{K_{EP_{ij-1}}}, \underline{T}_{K_{EP_{ij}}}, \dots, \underline{T}_{K_{EP_{im}}}$ 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, полученные интервалы, с помощью метода (п. 3.2) преобразовываются в НЧ – $\underline{L}_{DR_j} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)_{LR}$ и $\underline{T}_{K_{EP_j}} = (a_{EP_j}, b_{EP_{1j}}, b_{EP_{2j}}, c_{EP_j})_{LR}$. Сформированные интервалы значений, а также термы НЧ с ФП для УОП будут использоваться в качестве эталонов на этапах 9 – при оценивании СР и 10 – при формировании структурированного параметра.

7. Выбор метода трансформирования термов.

На 5 этапе осуществляется определение количества термножеств, которые будут использоваться в процессе ОР. При необходимости, пользователь, посредством этого этапа, осуществляет изменение начального порядка лингвистических эталонов без участия экспертов соответствующей предметной области. С этой целью для эквивалентного преобразования m -мерных термов НЧ ЛП

$DR^{(m)}$ в $DR^{(m+n)} = FT^{+n}(DR^{(m)})$ или $DR^{(m-n)} = FT^{-n}(DR^{(m)})$ и

$$K_{EP_i}^{(m)} - K_{EP_i}^{(m+n)} = FT^{+n}(K_{EP_i}^{(m)}) \text{ или } K_{EP_i}^{(m-n)} = FT^{-n}(K_{EP_i}^{(m)})$$

предлагается воспользоваться методами инкрементирования или декрементирования порядка ЛП (см. главу 2). После прохождения этого этапа в качестве выходных данных формируются преобразованные ЛП DR и K_{EP_i} .

8. Верификация ЛП.

Здесь, на базе преобразованных (на этапе 7) в процессе инкрементирования или декрементирования порядка ЛП DR и K_{EP_i} , с помощью определенных аналитических выражений

$$\Omega = \left\{ \bigcup_{i=1}^q \Omega_i \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^q \left\{ \bigcup_{ta=1}^{k_i} \Omega_{i,ta} \right\} \right\} = \left\{ \bigcup_{i=1}^q \{ \Omega_{i,1}, \Omega_{i,2}, \dots, \Omega_{i,ta}, \dots, \Omega_{i,k_i} \} \right\}$$

(см. п. 3.1) и полученных новых термов $\underline{T}_{DR_j} = (a_j; b_{1j}; b_{2j}; c_j)_{LR}$

и $\underline{T}_{K_{EP_j}} = (a_{EP_j}, b_{EP_{1j}}, b_{EP_{2j}}, c_{EP_j})_{LR}$, осуществляется верификация сформированных новых эталонов ЛП, которые в дальнейшем используются для ОР в качестве альтернативных значений начальных эталонов, определенных на этапе 5.

9. Определение оценочных параметров (фаззификация).

На этом этапе производится определение уровня значимости оценочных параметров. Здесь, на основании EP_i (сформированном на 2 этапе) (пп. 3.7, 3.8), каждому параметру ставится в соответствие уровень его значимости LS_i ($i = \overline{1, g}$). Полученные результаты определения LS_i будут использоваться на этапе 10 при оценивании СР. Также по каждому, определенному на этапе 2, оценочному параметру EP_i ($i = \overline{1, g}$), с использованием сформированных интервалов и термов K_{EP_i} , эксперты соответствующей предметной области определяют ep_i для всех A_a/V_{rs} ($a = \overline{1, n}$, $rs = \overline{1, ro}$), идентифицированных на 4 этапе. Текущие значения оценочных параметров $ep_i^{A_a/V_{rs}}$ формируются, например, на основании предпочтений экспертов, статистической информации, полученных CVSS метрик (пп. 3.7, 3.8) и др. данных (в зависимости от выбранного метода ОР на этапе 2). Далее, осуществляется процесс фаззификации, который связан с определением принадлежности $ep_i^{A_a/V_{rs}}$ заданным интервалам значений ЛП $K_{EP_i}^{(m)}$ и формированием значения $\lambda_{ij}^{(A_a/V_{rs})}$.

Аналогичные преобразования производятся для всех A_a/V_{rs} . Полученные данные LS_i и $\lambda_{ij}^{(A_a/V_{rs})}$ используются на этапе 10 при оценивании СР.

10. Оценивание и интерпретация СР (дефаззификация).

Здесь осуществляется оценка СР, для этого используются LS_i и $\lambda_{ij}^{(A_a/V_{rs})}$. Далее, по формуле (3.27), в (см. п. 3.7) определяется пока-

затель СР нарушения ИБ $dr^{(A_a)}$ или $LRV_{rs,uz}$ (в зависимости от выбранного метода ОР на 2 этапе) для каждого A_a/V_{rs} и с помощью (3.28) (см. п. 3.7) его среднее значение $dr^{(cp)}$ или LR_{rs} по РИС. Затем осуществляется процесс дефаззификации, который связан с формированием структурированного параметра СР SP_{uz} с помощью (3.29) (см. п. 3.7), позволяющий получить числовые значения $dr^{(A_a)}/LRV_{rs,uz}$ и $dr^{(cp)}/LR_{rs}$, а также их лингвистическую интерпретацию.

Входящими данными для формирования SP_{uz} являются сформированные интервалы и НЧ ЛП на этапах 5, 6, 7 и идентифицированные РИС, а также У/У на этапе 4.

Исходящими данными представляются, как в лингвистической форме, так и в числовой. Далее, формируется отчет, в котором будут отражаться результаты основных процессов, выполненных на этапах 4 - 10.

Таким образом, впервые разработана методология с полиморфными свойствами относительно процесса синтеза систем ОР безопасности РИС, которая, за счет использования предложенного теоретико-методологического базиса, позволяет формализовать и обеспечить процесс создания инструментальных средств (систем) со свойствами адаптивности, оперативности, функциональности и надежности при ОР безопасности РИС.

Под *адаптивностью* определяется свойство, которое обеспечивается возможностью системы подстраиваться под нужды пользователя в создании различных эталонных величин или осуществления экспорта-импорта существующих эталонов без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

Под *оперативностью* определяется свойство, которое обеспечивается возможностью системы реализовывать оперативное оценки и мониторинг рисков в реальном времени без привлечения указанных экспертов.

Под *функциональностью* определяется свойство, которое обеспечивается возможностью системы проводить ОР при различных средах оценивания, а именно детерминированной и нечеткой.

Под *надежностью* определяется свойство, которое обеспечивается возможностью системы проводить ОР на основе различных

имеющихся оценочных параметров, например, если в наличии входных данных есть только один оценочный параметр, то система сохраняет адекватность оценки.

На основании предложенной методологии можно строить как программные, так и программно-аппаратные системы, предназначенные для эффективного ОР безопасности РИС, которые используют в качестве входных данных различные множества оценочных параметров, представленных, как в детерминированной, так и в нечетко определенной слабоформализованной среде.

4.2. Детерминированная система анализа и оценивания рисков безопасности информационных ресурсов

На основании методологии синтеза систем ОР безопасности РИС (п. 4.1), компонентом которой является детерминированный метод АОР потери ИР (см. п. 3.4), разработана структурно-параметрическая модель Det-AOP системы (рис. 4.2), которая содержит:

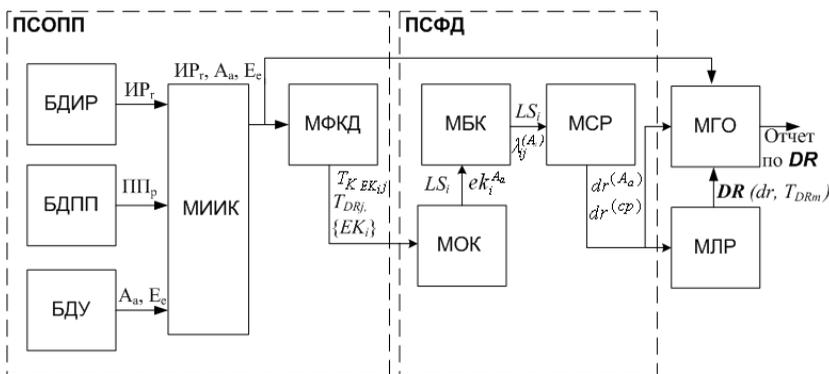


Рис. 4.2. Структурно-параметрическая модель Det-AOP системы

– подсистемы обработки первичных параметров (ПСОПП) и формирования данных (ПСФД);

– модули лингвистического распознавания (МЛР), генерации отчетов (МГО) и служит для АОР при условии, когда эксперт имеет четкие (бинарные) предпочтения относительно значений оцениваемых параметров.

Согласно разработанной методологии (см. этапы 2-4 в п. 4.1) строится ПСОПП, которая служит для подготовки данных, основанных на суждениях экспертов для ПСФД и состоит из:

- базы данных (БД) ИР (БДИР);
- БДУ;
- БД проектов пользователей (БДПП);
- модуль инициализации идентифицирующих компонент (МИИК);
- модуль формирования ключевых данных (МФКД).

База данных БДИР содержит соответствующие списки множества

$$ИР \in \{ИР_h\} (h = \overline{1, r}),$$

где h – указатель (номер) текущего идентификатора ИР, а r – количество ИР. База БДУ включает множество

$$A \in \{A_a\} (a = \overline{1, n}),$$

где a – указатель (номер) текущего идентификатора угрозы (см. п. 3.4), а n – количество угроз и

$$E \in \{E_e\} (e = \overline{1, 7}),$$

где e – указатель (номер) текущего идентификатора события, а БДПП содержит списки множества

$$ПП \in \{ПП_p\} (p = \overline{1, c}),$$

где p – указатель (номер) текущего идентификатора проектов пользователей (ПП), а c – их количество, которая предназначена для хранения полученных результатов от предыдущих АОР в отдельных таблицах, позволяющих использовать ПП при очередной оценке и могут, например, иметь вид и структуру, представленную на рис. 4.3.

При формировании БДИР (активов), например, можно воспользоваться классификацией ресурсов из описания метода SRAMM для профиля Commercial, а при формировании БДУ – классификацией из (см. книгу 1).

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. 4.3. Пример таблицы ПП

Модуль МИИК предназначен для выбора из БДИР и БДУ, соответственно характерные для объекта оценки IP и A_a, E_e .

Модуль МФКД реализуется согласно этапам 3-5 методологии (см. п. 4.1) и предназначен для формирования ЛП: ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА» (DR) и «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА EK_i » (K_{EK_i})

$$\langle DR, T_{DR}, X_{DR} \rangle, \langle K_{EK_i}, T_{K_{EK_i}}, X_{EK_i} \rangle,$$

реализация выбора количества оценочных компонент из их соответствующего полного множества

$$EK_{3Fh} \in \{EK_i\} = \{P, F, L, D, S, V\}$$

($i = \overline{1, g}$, i – идентификатор оценочного компонента, а g – количество этих компонент), где 3Fh – шестнадцатеричный код, бинарное значение которого отражает порядковые номера оценочных компонент в начальном множестве (см. п. 3.4).

В результате преобразований на выход модуля, поступают $\{EK_i\}$, ЛП DR , K_{EK_i} и их терм-множества, а также соответствующие интервалы для последующей классификации и лингвистического распознавания.

Далее в ПСФД формируются данные для последующей оценки СР. Она содержит:

– модуль оценки значений оценочных компонент (МОК), который согласно этапу 9 методологии (см. п. 4.1), предназначен соответственно для определения экспертами текущих значений, ek_i^A , т.е.

$$\{ ek_i^A \} = \{ ek_P^{A_a}, ek_F^{A_a}, ek_L^{A_a}, ek_D^{A_a}, ek_S^{A_a}, ek_V^{A_a} \},$$

где $A \in \{A_a\}$ ($a = \overline{1,5}$) и определения их уровня значимости LS_i , $i = \overline{1, g}$;

– модуль бинарной классификации (МБК), в котором согласно этапу 9 методологии, осуществляет формирование значений $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ по выражениям (3.20) с помощью полученных из МОК результатов $ek_i^{A_a}$;

– модуль оценки значения СР (МСР), осуществляющий для каждой идентифицированной A_a ($a = \overline{1, n}$) оценку СР $dr^{(A_a)}$ по формуле (3.21) и его среднее значение $dr^{(cp)}$ по ИР (3.23) с учетом результатов классификации текущей вылечены оценочных компонент $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ и их уровня значимости LS_i .

Модуль МЛР предназначен для лингвистической интерпретации значений $dr^{(A_a)}$ и $dr^{(cp)}$ с помощью сформированной ЛП DR , на основе ее терм-множеств и интервалов по выражению (3.22).

Модуль МГО позволяет по результатам работы двух подсистем сгенерировать отчеты относительно оценки СР, в которые заносятся все идентифицированные $ИР, A, E$, результаты оценки $dr^{(A_a)}$, $dr^{(cp)}$ и их лингвистический эквивалент.

Система функционирует следующим образом.

В МИИК из БДИР и БДУ поступают исходные данные (ИД), которые выбираются экспертом. Имеется возможность применения готовых ПП из БДПП. Здесь используется три БД под управлением СУБД MySQL, первая (resources) из которых содержит ИР, вторая (threat) – перечень угроз (действий) и третья – ПП (две первых БД имеют одинаковую структуру представленную на рис. 4.4).

Name	Type	Length	Decimals	Allow Null	
▶ id	int	10	0	<input type="checkbox"/>	 1
name	varchar	200	0	<input type="checkbox"/>	
id_par	int	10	0	<input type="checkbox"/>	

Рис. 4.4. Структура таблиц БДИР и БДУ

Далее в МФКД формируются ключевые значения ЛП DR и K_{EK_i} , термах \tilde{T}_{DR_j} и $\tilde{T}_{K_{EK_i}}$, соответствующие интервалы для оценки, а также количество $\{EK_i\}$. Данные ЛП K_{EK_i} и $\{EK_i\}$ передаются в МОК, где производится определение $ek_i^{A_a}$ (рис. 4.5).

Для этого в модуль дополнительно поступают результирующие величины из МИИК, а именно идентифицированные A_a . Выходные значения из МОК поступают в МБК для бинарной классификации по каждому A_a ($a = \overline{1, n}$) (см. п. 3.4).

Полученные результаты из МБК передаются на МСР, вследствие чего рассчитывается $dr^{(A_a)}$ и $dr^{(cp)}$.

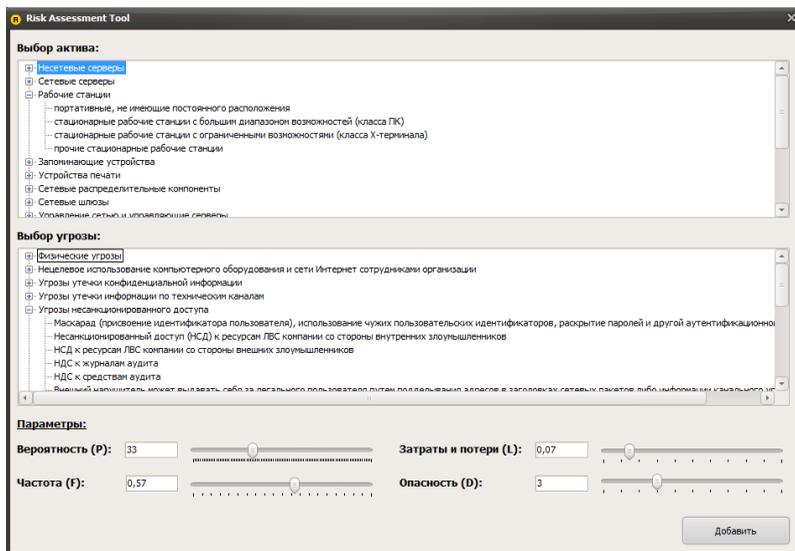


Рис. 4.5. Пример работы с МОК

Сформированные в МФКД значения ЛП поступают в МЛР, где осуществляется лингвистическое распознавание полученных $dr^{(A_a)}$ и $dr^{(cp)}$. Далее в МГО формируются отчеты на основе величин из МЛР, МСР и МИИК.

4.3. Система анализа и оценивания рисков в нечеткой среде

Используя предложенную методологию (см. п. 4.1) разработана Fuz-AOP система, которая в отличие от Det-AOP системы, дает возможность оценивать СР при условии, что эксперт не всегда может однозначно определить предпочтения в отношении оцениваемых параметров.

Структурно-параметрическая модель такой системы (рис. 4.6) содержит ПСОПП, подсистему формирования нечетких данных (ПСФНД), а также модули формирования структурированного параметра риска (МФСПР) и МГО.

Функции ПСОПП обладают полным изоморфизмом с аналогичной подсистемой в Det-AOP системе, а ПСФНД формирует нечеткие данные, которые дают возможность при формировании исходных величин учитывать неуверенность эксперта в процессе оценивания СР.

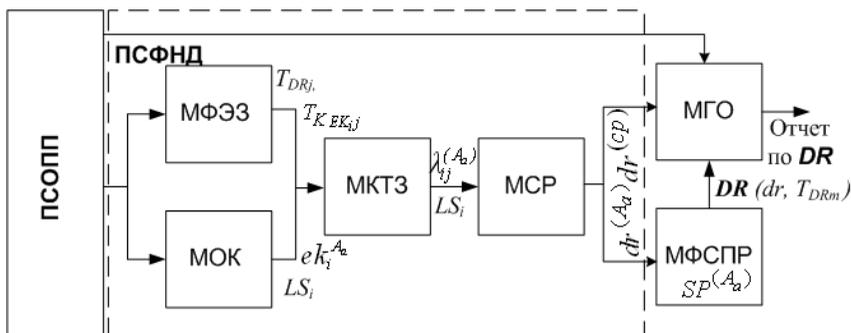


Рис. 4.6. Структурно-параметрическая модель Fuz-AOP системы

Подсистема ПСФНД содержит:

- модуль формирования эталонных значений (МФЭЗ);
- МОК;
- модуль классификации текущих значений (МКТЗ);
- МСП.

Модуль МФЭЗ предназначенный для построения ФП эталонных НЧ на основании принятого экспертами решения о количестве термов ЛП (см. этапы 5 и 6 методологии, п. 4.1). Здесь экспертами, на основе выражения (3.24) и собственных приоритетов, определяются эталонные НЧ для ЛП DR и K_{EK_i} относительно интервалов зна-

чений, количество которых зависит от числа используемых термов, например, если их m , то для DR количество интервалов будет $G=2m-1$, с общим видом $[b_{11}; b_{21}[, [b_{21}; b_{12}[, [b_{12}; b_{22}[, \dots, [b_{2m-1}; b_{1m}[, [b_{1m}; b_{2m}]$ ($j = \overline{1, m}$) и ФП $\mu_j(dr)$, а для

$$\mathbf{K}_{EK_i} - [b_{11}; b_{21}[, [b_{21}; b_{12}[, [b_{12}; b_{22}[, \dots, [b_{2m-1}; b_{1m}[, [b_{1m}; b_{2m}]$$

($j = \overline{1, m}$) и ФП $\mu_j(k_{EK_i})$. В результате работы модуля формируются ЛП DR , \mathbf{K}_{EK_i} и их интервалы, а также НЧ и ФП.

Модуль МОК имеет то же функциональное предназначение, что и аналогичный модуль в Det-AOP системе, а МКТЗ позволяет получать, как нечеткие значения параметров с помощью МФЭЗ (на основе эталонных значений ЛП \mathbf{K}_{EK_i} сформированными экспертами, осуществляется определение принадлежности $ek_i^{(A_a)}$ заданному НЧ, по которому вычисляется значение λ с помощью (3.25)), так и учитывать четкие (без неопределенностей) значения.

Аналогично Det-AOP системе здесь также определяется LS_i . В результате работы модуля получаем значения $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ для каждой идентифицированной A_a в МИИК и LS_i .

Модуль МСР имеет изоморфные функции относительно МСР в Det-AOP системе. Данные из него поступают в МФСПР, где на основании вычисленных значений $dr^{(A_a)}$, $dr^{(cp)}$ и построенных эталонов, с помощью (3.26) определяется структурированный параметр $SP^{(A_a)}$, который позволяет получить как числовое значение СР, так и его лингвистическую интерпретацию, учитывающую неуверенность эксперта при формировании текущих значений оценочных компонент с дальнейшей классификацией посредством параметра $\lambda_{ij}^{(A_a)}$.

Модуль МГО как аналогичный модуль в Det-AOP системе предназначен для генерации результирующих отчетов.

Опишем работу Fuz-AOP системы. Функции ПСОПП совпадают с функциями аналогичной подсистемы в Det-AOP системе. Полу-

ченные данные из МФКД T_{DR_j} , $T_{K_{EK_i}}$, $\{EK_i\}$ поступают на МФЭЗ и МОК.

Сформированные в МФЭЗ значения ЛП K_{EK_i} , эталоны НЧ, ФП $\mu_j(k_{EK_i})$ и интервалы значений ЛП используются в МОК, для последующей оценки $ek_i^{(A_a)}$ каждого определенного $\{EK_i\}$. Полученные ИД передаются в МКТЗ, где производится классификация значений $ek_i^{(A_a)}$ с помощью результирующих исходящих значений из МФКД и МФЭЗ. Также в МКТЗ происходит сравнение нечетких эталонных значений с текущими и согласно (3.25) формируются $\lambda_{ij}^{(A_a)}$. Из МКТЗ полученные $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ поступают в МСР, где для каждого A_a определяется $dr^{(A_a)}$ и $dr^{(cp)}$. Далее ИД передаются на МФСПР, где определяется $SP^{(A_a)}$, а в МГО формируется результирующий отчет по данным из МСР, МФСПР и МИИК.

Все необходимые данные и результаты заносятся в соответствующую БД и резервируются для обеспечения большей надежности, которая позволяет оперативно изменять ИД без модификации программного кода и структуры системы.

4.4. Программная система анализа и оценивания рисков

На основании предложенных структурно-параметрических моделей Det-AOP (п. 4.2) и Fuz-AOP (п. 4.3) систем можно реализовать программные приложения, позволяющие производить АОР потери ИР в автоматизированном режиме. Базовый алгоритм работы приложения (рис. 4.7) можно описать следующими этапами:

- 1) Создание нового ПП или открытие существующего;
- 2) Указание имени существующего ПП;
- 3) Открытие ПП с сохраненными настройками и имеющимися данными, которые хранятся в БДПП;
- 4) Указание имени нового ПП и осуществление выбора метода DetM или FuzM;
- 5) Создание проекта с выбранными параметрами, реализуется с помощью инициализации таблицы ПП в БД и загрузка пустого проекта;

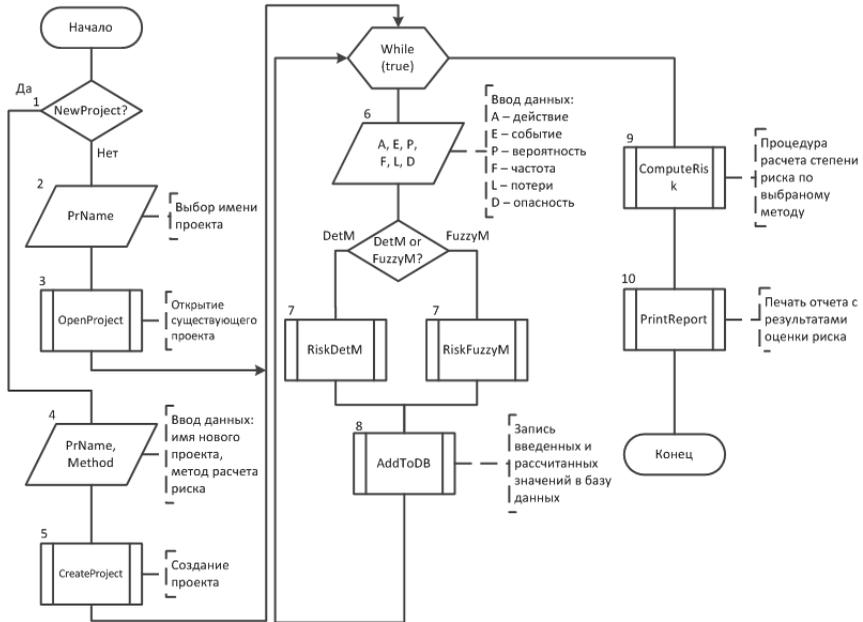


Рис. 4.7. Базовый алгоритм работы систем АОР потери ИР

- 6) Выбор **ИР**, **A** и определение значения $ek_i^{(A_a)}$;
- 7) Оценка $dr^{(A_a)}$ для указанного набора **ИР**_h, **A**_a и **E**_e;
- 8) Запись в БД пользовательских данных и рассчитанного $dr^{(A_a)}$;
- 9) Расчет $dr^{(cp)}$ для каждого ИР указанного в ПП;
- 10) Генерация отчетов с указанием всех **ИР**_h и **A**_a, информации о $dr^{(cp)}$ для ИР в числовой и лингвистической форме, а также $dr^{(A_a)}$ для каждой угрозы в отдельности.

Примеры сформированных отчетов МГО Det-AOP и Fuz-AOP систем представлены соответственно на рис. 4.8 а и б.

Отчет
по расчету степени риска для активов организации
от 24.04.2012
для проекта
test24

Сумарно по активам

<u>Список активов</u>	<u>Степень риска</u>
сетевые файл-серверы	РН (31,67)

Детальная информация по активам

сетевые файл-серверы

<u>Угрозы</u>	<u>Степень риска</u>
Злоупотребление средствами обработки информации	35
Перехват информации на линиях связи путем использования различных видов анализаторов сетевого трафика	35
Повреждение носителей информации	25

а)

Отчет

по расчету степени риска для активов организации
от 22.05.2012
для проекта
fuz

Сумарно по активам

<u>Список активов</u>	<u>Степень риска</u>
сетевые серверы БД	РН (0,3), PC (0,7) - 37
портативные, не имеющие постоянного расположения	РН (0,25), PC (0,75) - 37,5
принтер	PB (0,7), PR (0,3) - 73

Детальная информация по активам

сетевые серверы БД

<u>Угрозы</u>	<u>Степень риска</u>
Физический несанкционированный доступ в помещения организации, в кабинеты и серверные комнаты, к оборудованию, бумажным документам, запоминающим устройствам, носителям информации и т.п.	35
Злоупотребление средствами аудита	39

портативные, не имеющие постоянного расположения

<u>Угрозы</u>	<u>Степень риска</u>
---------------	----------------------

б)

Рис. 4.8. Пример сгенерированного отчета:

а) Det-AOP система; б) Fuz-AOP система

На основе разработанных структур Det-AOP и Fuz-AOP систем создано программное средство (см. рис. 4.9), которое в отличие от известных (см. книга 1) использует в качестве входных данных различные наборы оценочных параметров, что повышает гибкость, удобство использования, интеграцию возможностей и расширяет возможность проектируемого средства AOP функционирующего, как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформализованной среде [2].



Рис. 4.9 Внешний вид главного окна программного продукта

4.5. Интегрированная адаптивная система оценивания рисков безопасности ресурсов информационных систем

На базе предложенной методологии синтеза (см. п. 4.1), которая основана на логико-лингвистическом подходе, предложенных методах (см. главу 3) и АСМ (п. 1.2), разработана интегрированная адаптивная система ОР ИБ РИС (ИАСОР). Такая система позволит осуществлять оценивание при различных исходных величинах, учитывающих возможности эксперта четко детерминировать оцениваемые параметры и его неуверенность в своих суждениях, а также импортировать с других баз и трансформировать эталонные величины без участия экспертов соответствующей предметной области.

Структурно-параметрическая модель ИАСОР содержит (рис. 4.10) подсистемы формирования входных данных (ПФВД) и 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 в нечетких входных данных позволяет осуществлять адекватное ОР.

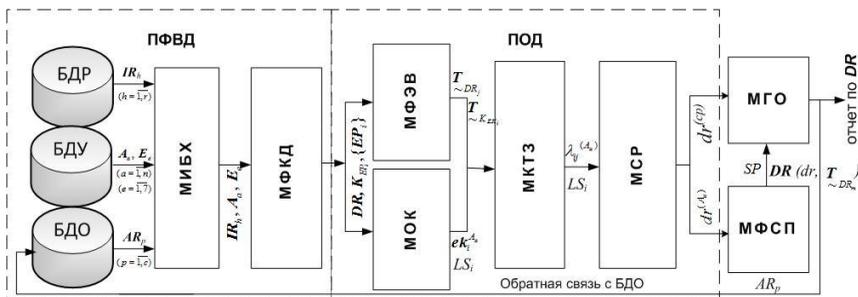


Рис. 4.10. Структурно-параметрическая модель ИАСОР

Опишем состав и функциональное назначение каждой из подсистем. Построение ПФВД осуществляется согласно разработанной методологии (см. этапы 2-5 в п. 4.1). Подсистема служит для подготовки входных данных (основанных на суждениях экспертов) в ПОД и состоит из БД РИС (БДР), угроз БДУ и результатов оценивания рисков (БДО), а также модуля инициализации базовых характеристик (МИБХ) и модуля формирования ключевых данных (МФКД).

Согласно [7] 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), 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 (см. п. 3.5), 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 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. 4.11. При формировании БДР, например, можно импортировать необходимые данные воспользовавшись классификацией ресурсов

в СРАММ для профиля Commercial, а при формировании БДУ – классификацией из книги 1.

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 методологии (п. 4.1) и предназначен для получения множества параметров ОР в виде таких ЛП как «СТЕПЕНЬ РИСКА» (DR) и «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО КОМПОНЕНТА EP_i » (K_{EP_i}).

На основе этого модуля посредством СК $\langle AES, CA, D, E, F, L, P, V \rangle$ (п. 1.2) осуществляется выбор необходимых оценочных компонент. 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. 4.11. Пример таблицы в БДО

Далее в ПОД формируются данные для последующей оценки СР. Она содержит: модуль оценивания значений оценочных компонент (МОК), который образуется согласно этапов 8 и 9 методологии (см. п. 4.1) 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 ФП эталонных НЧ на основании используемого экспертами порядка ЛП (согласно этапа 6 методологии п. 4.1); 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_i} относитель-

но 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 $\mu_j(k_{ek_i})$. В результате работы модуля формируются ЛП DR и K_{ek_i} . Здесь (согласно этапу 7 методологии п. 4.1) реализуются методы инкрементирования и декрементирования ЛП, т.е. посредством соответствующих функций, образуются эквивалентные ЛП, отличающиеся от исходных порядком и содержанием термов, но сохраняющие свои начальные свойства, отражающие исходные суждения экспертов. Данные методы работают с различными типами распределения НЧ по оси dr . Все исходные, преобразованные или импортированные с других БД эталоны могут визуализироваться.

Модуль МКТЗ сформирован согласно этапу 10 методологии (п. 4.1) и предназначен для генерирования значений $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ (см. (3.25) в п. 3.5) посредством полученных в МОК величин $ep_i^{A_a}$.

В МСР (см. рис. 4.12) для каждой идентифицированной A_a ($a = \overline{1, n}$) осуществляется оценка СР $dr^{(A_a)}$ по формуле (3.21) в п. 3.4 и расчет его среднего значения $dr^{(cp)}$ по каждому РИС (см. (3.23) в п. 3.4) с учетом результатов классификации текущей вылечены оценочных компонент $\lambda_{ij}^{(A_a)}$ и соответствующего их уровня значимости LS_i . Данные из МСР поступают в МФСП, где на основании вычисленных значений $dr^{(A_a)}$, $dr^{(cp)}$ и построенных эталонов с помощью (3.26) в п. 3.5 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 $\lambda_{ij}^{(A_a)}$).

Рис. 4.12. Пример интерфейса МСР

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

Рис. 4.12. Пример интерфейса МСР

С помощью МГО, с учетом результатов работы ПФВД и ПОД, генерируются отчеты по оценкам СР, которые содержат все идентифицированные IR_h , A_a и E_e , результаты оценки $dr^{(A_a)}$, $dr^{(CP)}$ и их лингвистические эквиваленты.

Разработанная система (см. рис. 4.10) в соответствии с алгоритмом (см. рис. 4.13) функционирует следующим образом.

Согласно условия (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). 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 СУБД MySQL, первая из которых (resources) содержит РИС, вторая (threat) – перечень угроз и третья (assessment) – ОР. Далее в МФКД (вершина 7) формируются ключевые значения ЛП DR , K_{EP_i} с соответствующими тер-

мами $T_{\sim DR_j}$ ($j = \overline{1, m}$), $T_{\sim K_{EP_i}}$ ($i = \overline{1, g}$) и оценочными интервалами.

Здесь также на основе СК в п. 1.2 формируется подмножество $\{EP_i\}$. Полученные $T_{\sim DR_j}$, $T_{\sim K_{EP_i}}$ 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 преобразованные эталоны.

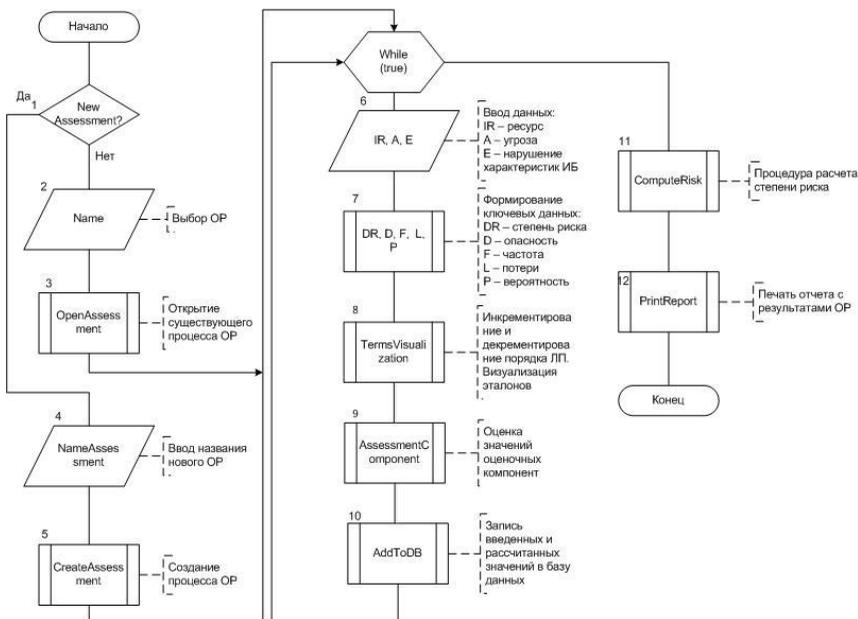


Рис. 4.13. Базовый алгоритм работы ИАСОР безопасности РИС

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 $\lambda_{ij}^{(A_a)}$.

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 ВД 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. 4.14.

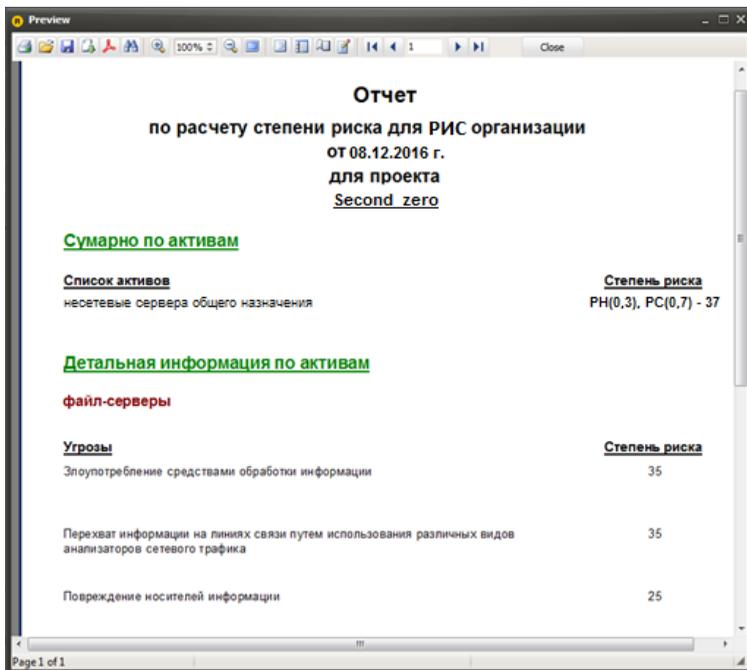


Рис. 4.14. Пример сгенерированного отчета

Все необходимые данные (включая результаты) заносятся в соответствующую БД и для обеспечения большей надежности резервируются. Указанная БД позволяет оперативно изменять ВД без модификации программного кода и структуры системы.

На основе разработанной структурно-параметрической модели ИАСОР создано программное средство, для которого (в отличие от известных см. книгу 1) используют в качестве входных данных различные множества оценочных параметров с возможностью трансформирования порядка ЛП. Система ИАСОР использует и динамически определяет разные наборы оценочных компонент, что обеспечивает адаптивность, надежность, функциональность ее использования как в детерминированной, так и в нечеткой, слабоформатизированной среде без привлечения экспертов соответствующей предметной области.

4.6. Система оценивания рисков информационной безопасности – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР»

Риски ИБ, возникающие в результате информационной деятельности, можно мониторить посредством их оценивания в процессе функционирования ИС. Это позволит определить корректные, финансово безопасные пути реализации бизнес-процессов на предприятии, в котором функционирует ИС.

Однако, на настоящий момент для большинства существующих систем ОР ИБ требуется поддержка эксперта, что связано с дополнительными финансовыми и временными затратами. Поэтому важной является разработка таких систем, которые позволят автоматизировать процесс ОР ИБ, например, путем использования необходимых для работы параметров из соответствующих БД, например, CVSS метрик [11].

На базе разработанной методологии синтеза систем ОР безопасности РИС п. 4.1, предлагается соответствующая система ОР ИБ, которая называется «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР», и которая, за счет использования полиморфных свойств соответствующей методологии синтеза, структурных компонент подсистем формирования первичных и вторичных данных, а также составляющих их модулей инициализации входящих данных, формирования и преобразования эталонных значений, взвешивания оценочных параметров и их корректировки, оценивания СР и генерации отчета, в которых реализованы предложенные методы (качественно-количественный, оценивания на основании баз данных уязвимостей (см. главу 3), инкрементирования и декрементирования порядка ЛП), позволяет обеспечить определённые свойства адаптивности и оперативности при ОР безопасности РИС в реальном времени. Такая система, используя CVSS метрики, позволяет осуществлять ОР в режиме реального времени, а также по запросу пользователя трансформировать эталонные ЛП без привлечения специалистов соответствующей предметной области. Кроме этого система представляет функцию редактирования указанных метрик, используя встроенный CVSS калькулятор версии 3.0 [11].

Структурно-параметрическая модель предлагаемой системы (рис. 4.15) состоит из двух базовых компонент, отображающих подсистемы обработки первичных (ППОД) и вторичных данных

(ПВОД). Опишем состав каждой из подсистем, построение которых осуществляется согласно известной методологии (п. 4.1) посредством этапов 3-10.

Подсистема ППОД предназначена для первичной обработки начальных величин и включает в себя модуль инициализации входных данных (МИД), а также модули формирования (МФЭ) и преобразования (МПЭ) эталонных значений.

Подсистема ПВОД, используя CVSS метрики, осуществляет преобразование первичных параметров, поступающих с ППОД с целью формирования окончательных оценок СР. Она состоит из модуля взвешивания оценочных параметров (МВП) и их корректировки (МКП), а также модулей оценки СР (МСР) и генерации отчета (МГО).

Рассмотрим функциональное назначение каждого из модулей подсистем. Так, МИД (в соответствии с этапами 3 и 4 методологии п. 4.1) предназначен для формирования и идентификации множества РИС и уязвимостей объекта оценивания.

Здесь на основе множества **RIS** (п. 3.6) для указанного объекта экспертами определяется требуемое множество РИС (и соответственно их идентификаторов)

$$\mathbf{RISO} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \mathbf{RISO}_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro}), \text{ где}$$

ro – количество оцениваемых РИС на объекте.

Далее относительно всех \mathbf{RISO}_{rs} определяются множества их

$$\text{уязвимостей } \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \mathbf{V}_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} \mathbf{V}_{rs,uz} \right\} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro}, \quad uz = \overline{1, n_{rs}}), \text{ где}$$

n_{rs} – возможное количество идентифицированных уязвимостей rs - того оцениваемого РИС (\mathbf{RISO}_{rs}).

В качестве входных данных для МИД могут использоваться, например, результаты работы программы для проверки системы на проникновение (Penetration test).

Такое программное обеспечение, как правило, выполняет анализ указанного объекта, производя поиск уязвимостей его РИС в киберпространстве (согласно ISO/IEC 27032:2012 под киберпространством можем понимать сложную сущность, которая реально существует в виде глобальной совокупности процессов взаимодей-

ствия людей, программного обеспечения и сервисов Интернет в сетях (включая подключенное к ним технологическое оборудование), но которая, при этом, никак не проявляется в какой-либо известной, материальной форме).

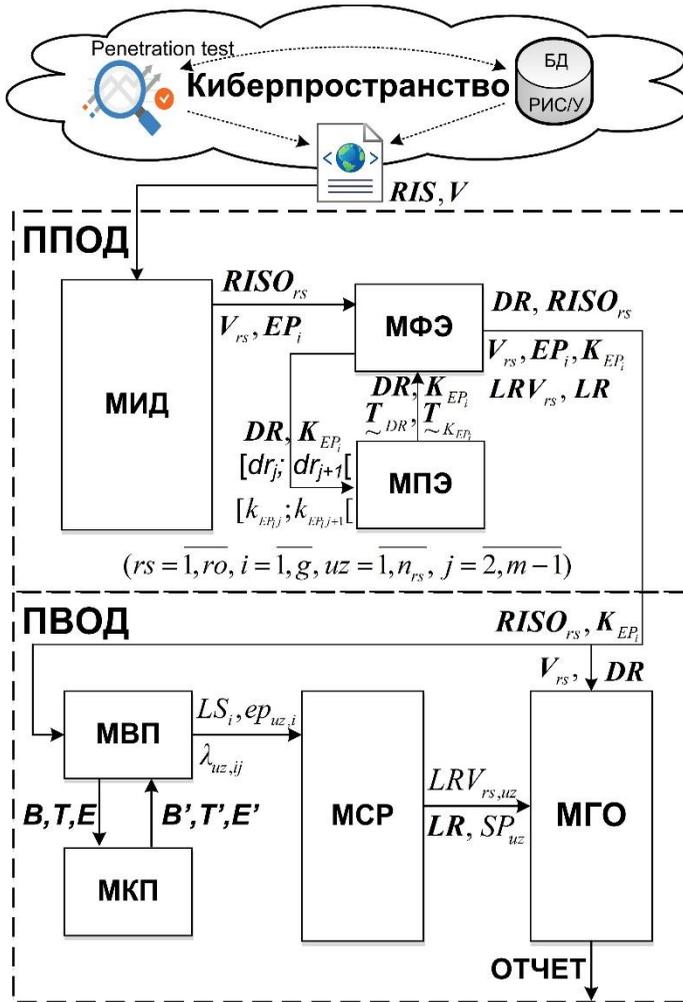


Рис. 4.15. Структурно-параметрическая модель системы ОР ИБ – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР»

Таким образом, формируется список в виде множества уязвимостей РИС исследуемого объекта. Для получения множества РИС и множества соответствующих уязвимостей в МИД выполняется обработка полученного из специализированного программного обеспечения (уровня – Penetration test), соответствующего отчета, который содержит в себе информацию об РИС и уязвимостях с указанными CVSS метриками. Далее, осуществляется инициализация списка уязвимостей и РИС, для последующей передачи в МФЭ. В результате работы МИД на вход МФЭ поступают все идентифицированные $RISO_{rs}$, V_{rs} и их CVSS метрики.

Далее в МФЭ (согласно этапа 5 методологии п. 4.1) осуществляется формирование множества параметров:

$$- LR = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} LR_{rs} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro}), \text{ где } LR_{rs} - \text{количественная оценка}$$

риска rs - того РИС на объекте (используется для $RISO_{rs}$);

$$- LRV = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} LRV_{rs} \right\} = \left\{ \bigcup_{rs=1}^{ro} \left\{ \bigcup_{uz=1}^{n_{rs}} LRV_{rs,uz} \right\} \right\} \quad (rs = \overline{1, ro},$$

$uz = \overline{1, n_{rs}}$), где $LRV_{rs,uz}$ – количественная оценка риска по каждой uz - той уязвимости rs - того РИС на объекте (используется для ОР по каждой уязвимости, отображенной идентификатором $V_{rs,uz}$);

– DR , где ЛП «СТЕПЕНЬ РИСКА», представляется в виде соответствующего кортежа (см. главу 3) $\langle DR, \tilde{T}_{DR}, X_{DR} \rangle$ (используется для отображения результата ОР);

$$- EP = \left\{ \bigcup_{i=1}^g EP_i \right\} \quad (i = \overline{1, g}), \text{ где } g - \text{количество множеств оце}$$

ночных параметров (используется для обеспечения процесса оценивания, за основу берутся показатели CVSS);

– K_{EP_i} , где ЛП «УРОВЕНЬ ОЦЕНОЧНОГО ПАРАМЕТРА

EP_i » определяется кортежем (см. главу 3) $\langle K_{EP_i}, \tilde{T}_{K_{EP_i}}, X_{EP_i} \rangle$

(используется для отображения результатов оценивания с использование метрик CVSS).

Сформированные ЛП DR и K_{EP_i} передаются на вход МПЭ, где (согласно этапам 6-8 методологии п. 4.1) для каждого из термов

$$\underline{T}_{DR_1}, \dots, \underline{T}_{DR_j}, \dots, \underline{T}_{DR_m} \text{ и } \underline{T}_{K_{EP_1}}, \underline{T}_{K_{EP_2}}, \dots, \underline{T}_{K_{EP_{j-1}}}, \underline{T}_{K_{EP_j}}, \dots, \underline{T}_{K_{EP_m}}$$

реализуется преобразование (см. п. 3.2) соответственно заданного интервала значений $[dr_1; dr_2[$, ..., $[dr_j; dr_{j+1}[$, ..., $[dr_m; dr_{m+1}[$ и $[k_{EP_1}; k_{EP_2}[$, $[k_{EP_2}; k_{EP_3}[$, ..., $[k_{EP_{j-1}}; k_{EP_j}[$, $[k_{EP_j}; k_{EP_{j+1}}[$, ..., $[k_{EP_m}; k_{EP_{m+1}}[$ в НЧ. Также в МПЭ реализована процедура варьирования порядком ЛП. Так, 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 $K_{EP_i}^{(m+n)}$ в МПЭ используются методы трансформирования эталонов ЛП (см. главу 2). В результате преобразований на выход ППОД поступают $RISO_{rs}$, V_{rs} и их CVSS метрики, EP_i , ЛП DR и K_{EP_i} , а также сформированные множества LR и LRV_{rs} для ОР.

В МВП ПВОД (формируется согласно этапа 9 методологии п. 4.1) определяются уровни значимости оценочных параметров LS_i ($i = \overline{1, g}$) и их текущих значений $ep_{uz,i}$ из ППОД, например, $\{\bigcup_{i=1}^3 EP_i\} = \{EP_1, EP_2, EP_3\} = \{B, T, E\}$ ($i = \overline{1, 3}$) (см. пп. 3.6 и 3.7).

Далее посредством эталонных значений осуществляется процесс фазсификации, который связан с определением принадлежности $ep_{uz,i}$ заданному НЧ, по которому с помощью выражения (3.25) в (п. 3.5) формируются значения $\lambda_{uz,ij}$. Также в МВП осуществляется графическая интерпретация оценочных параметров B , T и E (см. рис. 4.16).

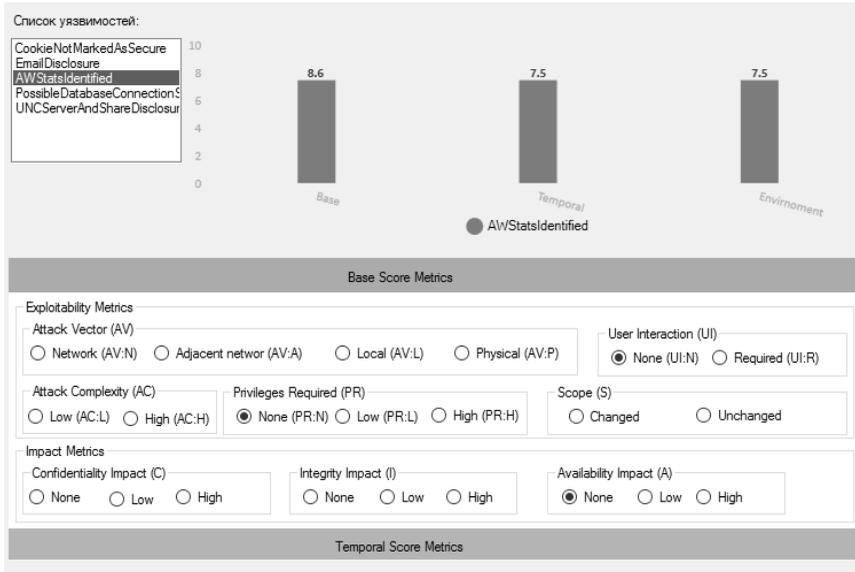


Рис. 4.16. Встроенный CVSS-калькулятор с графической интерпретацией CVSS метрик

В случае необходимости возможна корректировка CVSS метрик с помощью МКП, в котором реализуется их переопределение за счет встроенного CVSS-калькулятора (см. рис. 5.17). Скорректированные параметры B' , T' и E' передаются обратно в МВП.

Данные из МВП LS_i , $ep_{uz,i}$ и $\lambda_{uz,ij}$ поступают в МСР, где (на основе этапа 10 методологии п. 4.1), для каждой уязвимости, отображенной идентификатором $V_{rs,uz}$ реализуется оценивание СР $LRV_{rs,uz}$, а также вычисляется среднее значение LR_{rs} для РИС. Далее, на основании вычисленного значения $LRV_{rs,uz}$, LR_{rs} и построенных эталонов в ППОД, осуществляется процесс дефазификации, который связан с формированием структурированного параметра СР SP_{uz} , позволяющего получить числовые значения СР и его лингвистическую интерпретацию.

На основании МГО, с учетом результатов работы ППОД и ПВОД, генерируется отчет по оценкам СР (см. рис. 4.17), который

содержит $RISO_{FS}$, V_{FS} , $LRV_{FS,uz}$, LR_{FS} , их лингвистические эквиваленты и графическую интерпретацию результатов.

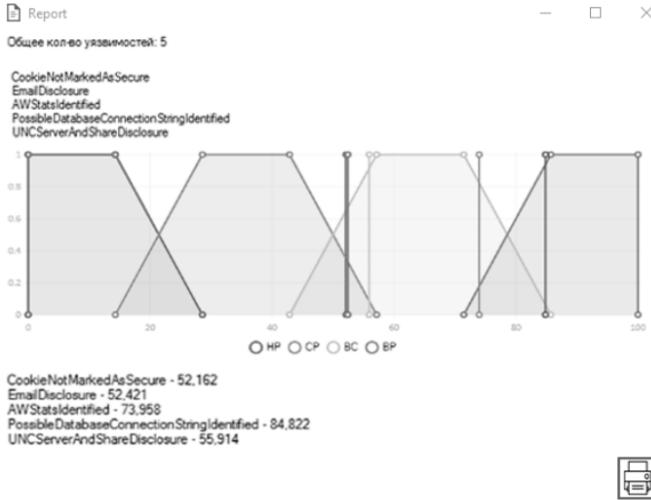


Рис. 4.17. Пример сгенерированного отчета

Предложенная система ОР ИБ – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР», например, может быть реализована программно и работать на основе предложенного базового алгоритма (рис. 4.18).

Согласно этого алгоритма работа системы начинается с инициализации списка уязвимостей и CVSS оценок (вершина 1) посредством специализированной программы проверки системы на проникновение (Penetration test).

Данная процедура в программной реализации может, например, выполняться за счет функции OpenXMLFile(), которая открывает файл в формате XML и реализует его парсинг.

Парсинг XML файла используется для того, чтобы осуществить инициализацию (наполнение) полей класса Vulnerability со следующей структурой:

```
class Vulnerability
{
    public string Id { get; set; }
    public string Description { get; set; }
    public string VulClass { get; set; }
    public string vectorCVSS { get; set; }
```

```

public Metrics metrics;
public Vulnerability()
{
    metrics = new Metrics();
}
}.

```

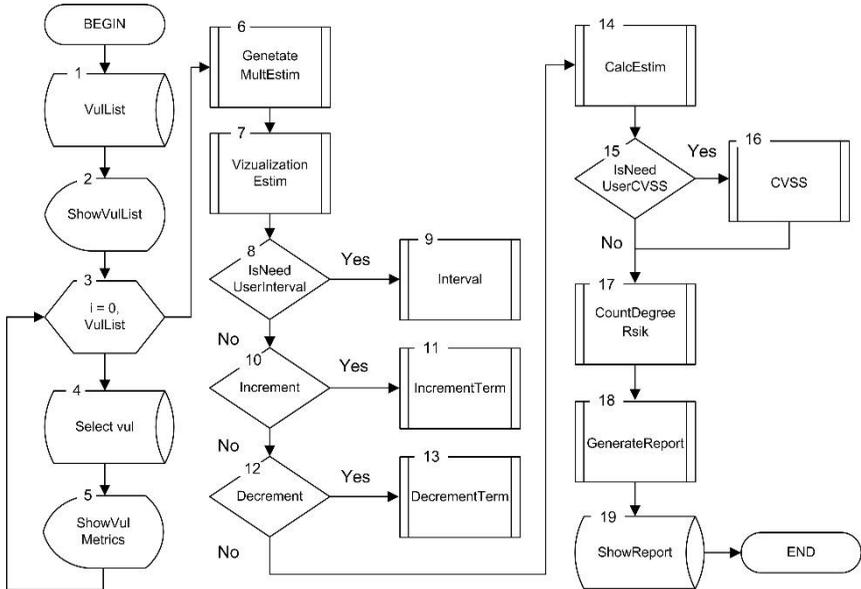


Рис. 4.18. Базовый алгоритм работы системы оценивания рисков ИБ

После идентификации очередной уязвимости (класс Vulnerability) ее характеристики помещаются в контейнер List, в результате чего образовывается структура – List <Vulnerability>. Далее, после генерации списка уязвимостей (вершина 2) его содержимое записывается в компонент ListBox с $RISO_{rs}$, V_{rs} и их CVSS оценками.

Далее в цикле (вершина 3) осуществляется выбор уязвимостей (вершина 4) с ListBox (Select Vul) и их графическая интерпретация (вершина 5) CVSS метрик (рис. 4.11). Этот процесс обеспечивает соответствующий обработчик события – функция lbVul CVSS_SelectedIndexChanged. В момент, когда происходит изменение индекса выделенного элемента компонента ListBox возникает событие SelectedIndexChanged. Функция lbVulCVSS_SelectedIndex

Changed выполняет графическое отображение CVSS метрик на основе библиотеки LiveChart. Отображение CVSS метрик осуществляется в виде столбчатой диаграммы (см. рис. 4.11), что достигается посредством следующего блока программного листинга:

```
chartCVSS.Series.Add(new ColumnSeries()
    {
        Title = vulList[lb.SelectedIndex].Description,
        Values = new ChartValues<ObservableValue>()
        {
            new
ObservableValue(vulList[lb.SelectedIndex].metrics.baseVector.CommonScore),
            new
ObservableValue(vulList[lb.SelectedIndex].metrics.tempVector.CommonScore),
            new
ObservableValue(vulList[lb.SelectedIndex].metrics.envirVector.CommonScore)
        },
        DataLabels = true});
```

Далее, посредством предопределенного процесса (вершина 6) осуществляется формирование ЛП K_{EP_i} и DR , а также инициализируются множества для последующих оценок LR и LRV_{rs} .

После формирования необходимых лингвистических термов выполняется преобразование заданных интервалов в НЧ, образующих лингвистические эталоны и реализуется их графическая интерпретация (вершина 7). Для наглядности, полученные CVSS метрики по каждой уязвимости, выводятся на графике с эталонными значениями EP_i (см. рис. 4.19). Представление термов ЛП K_{EP_i} в графическом виде (в соответствие с программной реализацией системы) обеспечивается структурой TrapezeCreator, которая может иметь, например, следующие поля:

```
struct Trapeze
{
    public string degreeRisk;
    public double a { get; set; }
```

```

public double b11 { get; set; }
public double b21 { get; set; }
public double c { get; set; }
}.

```

Интервалы, которые будут использованы для преобразования в НЧ описываются структурой Interval, состоящей из следующих полей:

```

struct Interval
{
    public double a { get; set; }
    public double b { get; set; }
}.

```

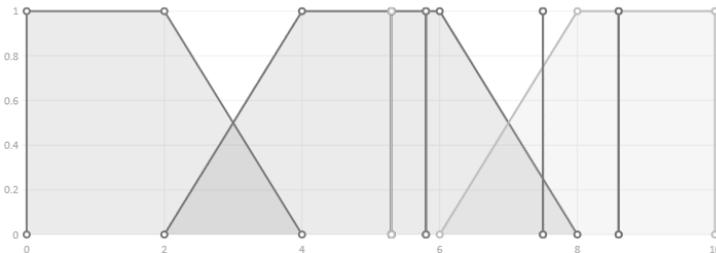


Рис. 4.19. Графическая интерпретация полученных CVSS метрик и эталоны оценочных параметров

Графическая интерпретация полученных результатов (согласно предложенной программной реализации) осуществляется с помощью функции `List<Trapeze> CreateTrapezeList (double lengthAsixX, int countTrap, params double [] intervalArr)`. Далее, с помощью подпрограмм `Interval`, `IncrementTerm`, `DecrementTerm` и условных вершин (вершины 8-13), используемых для контроля необходимости в дополнительной обработке данных, т.е. преобразовании заданных интервалов в НЧ, осуществляется реализация процесса декрементирования и инкрементирования порядка ЛП.

Инициализация нового интервала в программе реализуется посредством следующего блока программного листинга (вершины 8-9):

```

double[] interval = new double[intervalList.Count * 2];
for (int i = 0, k = 0; i < interval.Length; i++, k++)
    { interval[i] = intervalList[k].a;
      interval[++i] = intervalList[k].b; }.

```

Интервалы образуются из предварительно сформированного списка intervalList, что имеет тип List <Interval> и заполняются посредством следующего блока программного листинга:

```
private void bSetInterval_Click(object sender, EventArgs e)
{ string[] arrInterval = interval.Split(':');
  double a = Convert.ToDouble(arrInterval[0]);
  double b = Convert.ToDouble(arrInterval[1]);
  intervalList.Add(new Interval() { a = a, b = b });}
```

Процедура инкрементирования (вершины 10-11) или декрементирования (вершины 12-13) может осуществляться, например, с помощью разработанных функций List <Trapeze> Increment TrapezeList (List <Trapeze> trapList, double lengthAsixX) или List <Trapeze> DecrementTrapezeList (List <Trapeze> trapList, double lengthAsixX). На основании полученных CVSS метрик реализуется (вершина 14) оценка LS_i и классификация $\lambda_{uz,ij}$ полученных $ep_{uz,i}$ (фазсификация). При необходимости (вершина 15), осуществляется корректировка CVSS метрик **B**, **T** и **E** (вершина 16).

Далее, с помощью выражения (3.27) в п. 3.7 и полученных данных LS_i и $\lambda_{uz,ij}$, осуществляется оценивание CP $LRV_{rs,uz}$ (вершина 17) для каждой уязвимости, отображенной идентификатором $V_{rs,uz}$, а также вычисляется среднее значение LR_{rs} . Здесь, на основании полученных $LRV_{rs,uz}$, LR_{rs} и построенных эталонов в ППОД, формируется структурированный параметр CP SP_{uz} (дефазсификация).

В результате проведенных расчетов по качественно-количественному методу ОР ИБ (см. п. 3.7) (вершина 18) формируется отчет по оценкам CP (рис. 4.18), который содержит **RISO**_{rs}, V_{rs} , $LRV_{rs,uz}$, LR_{rs} , их лингвистические эквиваленты, а также осуществляется графическая интерпретация (вершина 19) результатов (рис. 4.17). Для верификации работы разработанного программного обеспечения (см. рис. 4.20), было произведено соответствующее экспериментальное исследование.

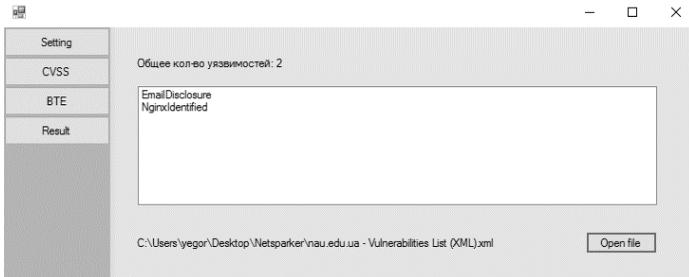


Рис. 4.20. Фрагмент интерфейса программной системы – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР»

Для тестирования объекта оценивания на проникновение использовано программное средство проверки системы на уязвимости – «Netsparker» (рис. 4.21).



Рис. 4.21. Интерфейсная часть программы проверки на уязвимости «Netsparker»

В результате сканирования был сформирован XML файл со списком РИС и их уязвимостей (рис. 4.22) для дальнейшего использования в качестве входных данных разработанной системы ОР ИБ.

Далее, осуществляется инициализация входных данных в виде списка уязвимостей в ListBox.

```
xml-vul.txt — Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
<classification>
  <OWASP2013></OWASP2013>
  <WASC>45</WASC>
  <CVE>200</CVE>
  <CAPEC>224</CAPEC>
  <PCI31></PCI31>
  <PCI32></PCI32>
  <HIPAA></HIPAA>
  <OWASPPC>C6</OWASPPC>

  <CVSS>
    <vector>CVSS:3.0/AV:N/AC:L/PR:N/UI:N/S:U/C:H/I:N/A:N</vector>

    <score>
      <type>Base</type>
      <value>7.5</value>
      <severity>High</severity>
    </score>
    <score>
      <type>Temporal</type>
      <value>7.5</value>
      <severity>High</severity>
    </score>
    <score>
      <type>Environmental</type>
      <value>7.5</value>
      <severity>High</severity>
    </score>
  </CVSS>
</classification>
```

Рис. 4.22. XML файл со списком уязвимостей

На рис. 4.23 и рис. 4.24 соответственно визуализированы примеры реализации функции трансформирования порядка ЛП *DR*, которая выполняется по запросу пользователя посредством активизации процесса инкрементирования и декрементирования.

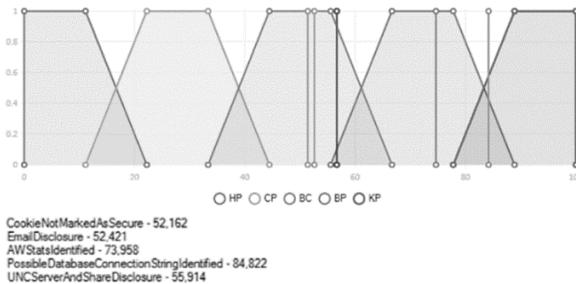


Рис. 4.23. Результат инкрементирования порядка ЛП *DR*

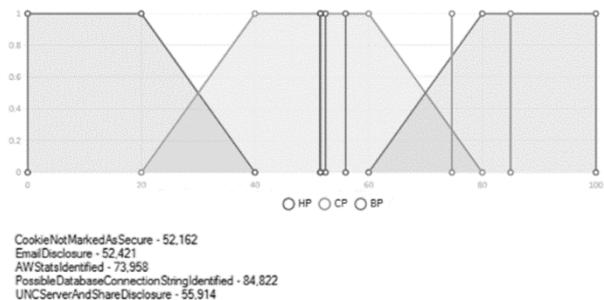


Рис. 4.24. Результат декрементирования ЛП *DR*

На основании полученной информации об оценочных компонентах и уязвимостях система производит вычисление (вершина 17) *CP* для каждой уязвимости и с помощью подпрограммы (вершина 18), реализующей функции МГО, осуществляет графическую интерпретацию принадлежности уязвимости соответственному терму ЛП *DR* при $m=4$ (рис. 4.25). Все полученные результаты фиксируются в отчете, генерируемом МГО.

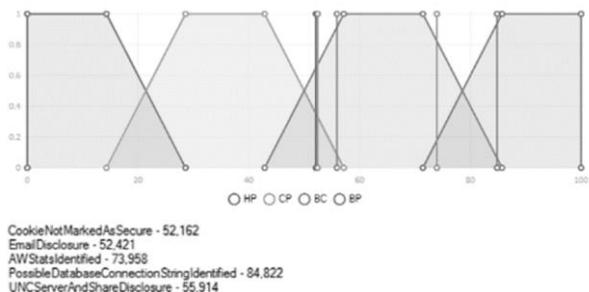


Рис. 4.25. Результат вычисления *CP* для идентифицированных уязвимостей на объекте оценивания

Таким образом, впервые была разработана структурно-параметрическая модель системы ОР ИБ – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР», которая за счет структурных компонент подсистем формирования первичных и вторичных данных, а также составляющих их модулей инициализации входных данных, формирования и преобразования эталонных значений, взвешивания оценочных параметров и их корректировки, оценивания *CP* и генерации отчета, в которых реализованы предложенные методы (качественно-количественный (п. 3.7), оценивания на основе баз данных уязвимостей (п. 3.8), инкрементирования и декрементирования

порядка лингвистических переменных (см. главу 2)), позволяет обеспечить определенные свойства адаптивности и оперативности при ОР безопасности РИС в реальном времени.

Также на основе предложенной структурно-параметрической модели, разработаны базовый алгоритм и соответствующее программное средство оценивания в виде прикладной программной системы – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР», которая (в отличие от известных см. книгу 1), использует значение CVSS (версий 2.0 и 3.0) показателей, представленных в соответствующих базах данных и позволяет реализовывать оценивание рисков безопасности РИС в реальном времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ К ГЛАВЕ 4

1. А. Корченко, *Построение систем защиты информации на нечетких множествах. Теория и практические решения*, К.: МК-Пресс, 2006, с.320.

2. Г. Баранов, М. Захарова, Д. Горницька, «Методологія синтезу систем оцінки рівня захищеності державних інформаційних ресурсів від соціотехнічних атак», *Захист інформації*, Т. 14, №3, С. 98-104, 2012.

3. Б. Журиленко, «Методология построения и анализа состояния комплекса технической защиты информации с вероятностной надежностью и учетом временных попыток взлома», *Захист інформації*, Т. 17, №3, С. 196-204, 2015.

4. А. Корченко, В. Щербина, Н. Вишневская, «Методология построения систем выявления аномалий порожденных кибератаками», *Захист інформації*, Т.18, №1, С. 30-38, 2016.

5. О. Корченко, М. Луцкий, М. Захарова, Ю. Дрейс, «Методологія синтезу та програмна реалізація системи оцінювання шкоди національній безпеці у сфері охорони державної таємниці», *Захист інформації*, Т.15, №1, С. 14-20, 2013.

6. Е. Иванченко, С. Казмирчук, А. Гололобов, «Методология синтеза систем анализа и оценки рисков потерь информационных ресурсов», *Захист інформації*, Т.14, №2, С. 24-28, 2012.

7. А. Корченко, А. Архипов, С. Казмирчук, *Анализ и оценивание рисков информационной безопасности. Монография*, Киев: ООО «Лазурит-Полиграф», 2013, с. 275.

8. «Common Vulnerability Scoring System v3.0: User Guide» [Electronic resource], Forum of Incident Response and Security Teams, Morrisville, 2016, [Online]. Access mode: <http://www.first.org/cvss/user-guide>.

ВЫВОДЫ

В монографии предложено новое решение актуальной научно-технической проблемы, что связано с разработкой методологического обеспечения процесса ОР безопасности РИС, основу которого составляют разработанные методы, модели, обобщенная методология и соответствующие программные системы. Полученные научные результаты имеют фундаментальное теоретическое и практическое значение для обеспечения ИБ и могут быть использованы при разработке соответствующих систем ОР. В ходе решения поставленных задач, обусловленных указанной проблемой, были получены следующие результаты.

Проанализировано понятие риска, существующие средства, методы, методики анализа и ОР ИБ и определен набор базовых характеристик риска, которые представлены в виде кортежа для каждого рассматриваемого средства. Определено, что, в основном, для ОР используются вероятностные характеристики. Это в свою очередь, обуславливает наличие определенных статистических данных об угрозах ИБ, которые собираются далеко не во всех организациях. Также для работы с такими средствами существует необходимость в привлечении экспертов соответствующей предметной области. Кроме того, было проведено исследование существующих открытых БД уязвимостей, по результатам которого определены критерии, которые можно использовать для осуществления сравнительного анализа таких баз и выбрать наиболее целесообразные для построения различных средств оценки состояния ИБ, например, систем ОР в режиме реального времени или риск-калькулятор. Также определено, что ни в одной из представленных БД не заложена процедура ОР.

На основании проведенного анализа средств ОР и существующих БД уязвимостей, усовершенствована кортежных модель, за счет множества интегрированных характеристик рисков, подмножеств их идентифицирующих и оценочных компонент, отраженных в отношении определенных критериев аналитическим и синтетическим кортежами, позволяет организовывать процесс выбора соответствующих существующих инструментальных средств и разрабатывать гибкие и методы и системы ОР ИБ. Это позволит упростить принятие решения при выборе необходимого средства

оценки и набора параметров для создания соответствующих разработок. Разработан метод формирования кортежей для АСМ ИБ, который за счет процедур разделения выходных характеристик на идентифицирующие и оценочные компоненты, формирования последовательности базовых параметров, на основании определения их весовых коэффициентов, позволяет реализовать соответствующие формователи АСМ ИБ. Это повысит эффективность принятия решения при выборе необходимого средства АОР.

Разработаны базовые методы инкрементирования и декрементирования порядка ЛП для систем ОР, которые за счет использования соответствующих аналитических функций однократного уменьшения и увеличения числа термов и их модификаций полным n -кратным расширением, позволяют дополнить математическую базу теории нечетких множеств, связанной с операциями над ЛП и реализовать процедуру трансформации базовых стандартов параметров на трапециевидных и треугольных НЧ без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Использование этих методов для построения систем ОР обеспечит свойство адаптивности таких систем.

Предложено базовые аналитические выражения, которые за счет соответствующей комбинации арифметических и логических операций с операциями сравнения над ключевыми значениями составляющих указанных классов НЧ, позволяют расширить математическую базу теории нечетких множеств по проверке свойств равномерности, неравномерности, возрастания и убывания ЛП на трапециевидных и треугольных НЧ до и после ее функционального преобразования. Проверка свойств ЛП осуществлялась после реализации процесса трансформации базовых стандартов параметров с помощью методов декрементирования и инкрементирования. Разработан метод преобразования интервалов в НЧ для систем ОР безопасности РИС, который за счет реализации процедур корректировки параметров, формирования новых значений абсцисс, определения базового значения смещения, поправки термов и нормирования, результирующих НЧ, позволяет формализовать процесс формирования эталонных величин без участия экспертов соответствующей предметной области. Метод в дальнейшем позволит автоматизировать процесс трансформации и сведет к минимуму влияние человеческого фактора. Предложены методы ОР потерь РИС,

которые на основе использования АСМ и логико-лингвистического подхода, позволяют создавать средства оценивания с интегрированными возможностями и использованием в качестве входных данных динамически изменяемые наборы детерминированных и нечетко определенных оценочных параметров с учетом периода времени, управленческой специфики объекта защиты и тому подобное. Усовершенствована интегрированный метод ОР безопасности РИС, который за счет интеграции детерминированного и нечеткого подхода оценки, АСМ, базовых методов инкрементирования и декрементирования порядка ЛП, позволяет оперировать одновременно четкими и нечеткими величинами с вариативным числом терм-множеств. Наиболее целесообразно использование метода в случаях, когда необходимо провести оценивание с комбинацией подходов к интерпретации суждений эксперта, как по его возможностей четко определить значение полученных оценочных параметров, так и по его неопределенности в однозначности своих приоритетов. Усовершенствованы методы ОР безопасности РИС, которые за счет модификации процедур определения множества параметров ОР и оценки текущих значений параметров с возможностью интеграции (как альтернатива оценок экспертов) значений CVSS (версий 2.0 и 3.0) показателей в соответствующих БД, АСМ, базовых методов инкрементирования и декрементирования порядка ЛП, позволяют автоматизировать и реализовать в режиме реального времени соответствующий процесс оценивания. Наиболее целесообразно использование методов в случаях, когда возникает необходимость мониторинга рисков без привлечения экспертов.

Разработана обобщенная методологию с полиморфными свойствами относительно процесса синтеза систем ОР безопасности РИС, которая, за счет использования базовых методов инкрементирования и декрементирования порядка ЛП, АСМ, базовых аналитических выражений верификации трансформированных ЛП, метода преобразования интервалов, интегрированного и качественно-количественного методов оценивания, метода на открытых БД уязвимостей, позволяет решить проблему обеспечения разрабатываемых инструментальных средств со свойствами адаптивности, оперативности, функциональности и надежности при ОР безопасности РИС. Методология позволит использовать разработанные методы и модели в единой стратегии исследований в области управления

рисками и эффективного построения соответствующих систем ИБ с расширенными функциональными возможностями. Усовершенствована структурно-параметрические модели детерминированной, ОР в нечеткой среде и интегрированной вычислительных системы ОР, которые за счет использования полиморфных свойств соответствующей методологии синтеза, структурных компонент подсистем формирования входных данных и обработки данных, реализующих предложенные интегрированный метод и базовые методы инкрементирования и декрементирования порядка ЛП, позволяет обеспечить свойства адаптивности, функциональности, надежности и реализовать процесс формирования и преобразования величин, как в качественной, так и в количественной интерпретации с возможностью трансформации эталонов параметров без привлечения экспертов соответствующей предметной области. Наиболее целесообразно использовать такую систему для оценивания при различных начальных величинах, учитывающие возможности эксперта четко детерминировать оценочные параметры и его неуверенность в своих суждениях. Разработана структурно-параметрическая модель вычислительной системы ОР ИБ – «РИСК-КАЛЬКУЛЯТОР», которая за счет использования полиморфных свойств соответствующей методологии синтеза, структурных компонент подсистем формирования первичных и вторичных данных, а также составляющих их модулей инициализации входных данных, формирования и преобразования эталонных значений, взвешивания оценочных параметров и их корректировки, оценивания степени риска и генерации отчета, в которых реализованы предложенные методы (качественно-количественный, оценка на основе БД уязвимостей, инкрементирования и декрементирования порядка ЛП), позволяет обеспечить определенные свойства адаптивности и оперативности при ОР безопасности РИС в режиме реального времени. Наиболее целесообразно использование указанной системы в случаях, когда необходимо минимизировать участие эксперта и максимально автоматизировать процесс формирования необходимых для оценки параметров.

На базе предложенной методологии синтеза и структурно-параметрических моделей, разработано алгоритмическое обеспечение и прикладные программные системы ОР безопасности РИС, в которых за счет возможности динамического изменения различных

наборов параметров, достигнута адаптивность, оперативность, функциональность и надежность их использования для эффективного решения соответствующих задач ОР. Проведено экспериментальное исследование ПО систем ОР с целью верификации разработанных методов, методологии, структурно-параметрических моделей и ПО.

Научное издание

Рекомендовано Ученым советом Каспийского государственного
университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова

Авторы

Б.Б. Ахметов, А.Г. Корченко, А.Е. Архипов, С.В. Казмирчук

**ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ АНАЛИЗА И ОЦЕНИВАНИЯ РИСКОВ
ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.
ТЕОРИЯ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ
(Книга 2)**

Подписано в печать 08.10.2018 г.

Формат 60x84 1/16

Печать лазерная. Гарнитура «Times New»

Усл. печ.л. 29 Тираж 500 экз.

Цена договорная

Отпечатано в редакционно-издательском отделе

КГУТИ им. Ш. Есенова

Адрес: 130000, Республика Казахстан,

г. Актау, 32 мкрн.