

УДК 519.766.2

**Н.Б. Копытчук**, д-р техн. наук, **П.М. Тишин**, канд. физ-мат. наук, **К.В. Ботнар**, канд. техн. наук, **М.В. Цюрупа**

### ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ЯЗЫКА АНАЛИЗА РИСКОВ

*Аннотация.* Рассмотрены вопросы формализации нечеткостей в языке *ALC*. Описаны диаграммы *Coras* с использованием нечеткого *ALC*. Введены наборы концептов для описания последствий, свойств и отношений в диаграммах *Coras*. Приведен пример описания концептов и ролей на примере диаграммы угроз.

**Ключевые слова:** диаграммы *Coras*, *ALC*, оценка рисков, нечеткие множества.

**N.B. Kopitchuk**, ScD., **P.M. Tishin**, PhD., **K.V. Botnar** PhD., **Tsyurupa M.V.**

### THE USE OF FUZZY LOGIC IN THE DESIGN FORMAL DESCRIPTION LANGUAGE OF RISK ANALYSIS

*Abstract.* The problems of *ALC* fuzzy formalization were explored. *Coras* charts were described using fuzzy *ALC*. Introduced a set of concepts to describe the effects, properties and relations in the *Coras* diagrams. An example of the concepts description and roles, as an example diagram of threats is given.

**Keywords:** *coras* diagrams, *ALC*, risk assessment, fuzzy sets.

**М.Б. Копытчук**, д-р техн. наук, **П.М. Тишин**, канд. физ-мат. наук, **К.В. Ботнар**, канд. техн. наук, **М.В. Цюрупа**

### ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ ДЕСКРИПЦІОННОЇ ЛОГІКИ ПРИ РОЗРОБЦІ ФОРМАЛІЗОВАНОЇ МОВИ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ

*Анотація.* Розглянуто питання формалізації нечіткості у *ALC*. Описані діаграми *Coras* з використанням нечіткого *ALC*. Введено набори концептів для опису наслідків, властивостей і відносин в діаграмах *Coras*. Наведено приклад опису концептів та ролей на прикладі діаграми загроз.

**Ключові слова:** діаграми *Coras*, *ALC*, оцінка ризиків, нечіткі множини.

#### Вступление

В работе [1] авторами был предложен подход к описанию знаний о возникающих в системе рисках с использованием языка *ALC* на основе понятий, введенных в языке *CORAS*. Введенные в работе [1] концепты позволяют описывать диаграммы рисков в общем виде на языке *ALC*, что дает возможность составлять онтологии и делать некоторые логические заключения на основе дескриптивной логики о причинах и следствиях рисков в системе. Однако введенные в [1] концепты и отношения не позволяют ввести в описание значение уровня риска и привязывать его к определенным элементам диаграмм. Кроме того нет возможности описывать уязвимости некоторых связей элементов системы. Продолжая работу [1] в данной статье предлагается введение дополнительных концептов и отношений для описания различных форм представления уровня риска и дополнительных свойств некоторых отношений.

© Копытчук Н.Б., Тишин П.М.,  
Ботнар К.В., Цюрупа М.В., 2011

Одной из сложностей составления диаграмм рисков некоторой системы является неопределенность и неточность описаний составляющих системы. Такая проблема может возникать в следствии неполноты или отсутствия исходных данных, либо из-за их качественного характера. Одним из аппаратов описания неопределенностей является теория нечетких множеств, который получил широкое распространение и применяется в различных областях науки. Введение нечеткости в описание риска, предложенного в [1] требует применение адекватного математического аппарата, который позволит формализовать нечеткости в рамках языка *ALC*.

#### Формализация нечеткостей в *ALC*

Рассмотрим формализацию нечеткостей в *ALC*. С синтаксической точки зрения в нечетком языке *ALC* истинность нечетких утверждений  $\langle \alpha, n \rangle$ , обозначаемых  $\gamma$ , будем понимать таким образом: степень принадлежности утверждения  $\alpha$  к истинным равна, по крайней мере  $n$ , где  $\alpha$  – утверждение логики *ALC*, а  $n \in [0,1]$ . При этом согласно Заде используемые функции принадлежности

должны удовлетворять соотношениям [Straccia FDL 1998]:

$$\begin{aligned}\mu_{X \cup Y}(s) &= \max\{\mu_X(s), \mu_Y(s)\}, \\ \mu_{X \cap Y}(s) &= \min\{\mu_X(s), \mu_Y(s)\}, \\ \mu_{\bar{X}}(s) &= 1 - \mu_X(s),\end{aligned}$$

где  $X, Y$  нечеткие множества в  $S$  а  $\bar{X}$  дополнение множества  $X$  до множества  $S$  ( $S \setminus X$ ).

При использовании нечеткостей в *ALC* концепт интерпретируется как нечеткое множество, а роль – как нечеткое отношение. Это означает, что каждый концепт или роль характеризуются некоторой своей функцией принадлежности. Согласно этой точке зрения некоторое утверждение  $\langle C(a) \ n \rangle$  подразумевает, что степень принадлежности индивида, а концепту  $C$  не меньше  $n$ . Аналогично утверждение  $\langle R(a, b) \ n \rangle$  подразумевает, что степень истинности того, что  $a$  относится к  $b$  согласно  $R$ , не меньше  $n$ .

Таким образом, например,  $\langle \text{Старый антивирус (Компьютер1)} \ 0.7 \rangle$  означает, что степень принадлежности индивида *Компьютер1* концепту *Старый антивирус*, по крайней мере 0.7, т.е., вероятно высокий;  $\langle \text{Старый антивирус (Компьютер1)} \ 1 \rangle$  означает, что на *Компьютер1* установлен *Старый антивирус*, в то время как  $\langle \text{Старый антивирус (Компьютер 1)} \ 1 \rangle$  означает, что на *Компьютер1* установлен не *Старый антивирус*.

Для более адекватного описания некоторой предметной области с помощью нечеткого *ALC* можно применять модификаторы, которые некоторым образом преобразуют функции принадлежности концептов или ролей и дают более точное описание элементов рассматриваемого домена. Такими модификаторами могут служить, например, «очень», «почти», «примерно» и т.п. Это дает возможность записывать утверждения типа  $\langle \text{очень (Старый антивирус) (Компьютер1)} \ 0.8 \rangle$  или  $\langle \text{примерно (Средний рост) (Иван)} \ 0.7 \rangle$ , которые обозначают, что на *Компьютер1* установлен очень старый антивирус, а Иван примерно среднего роста.

Нечеткая интерпретация в *ALC* определяется как пара  $I = (\Delta^I, \bullet^I)$ , состоящая из непустого множества  $\Delta^I$  (так называемый домен, как и в случае четкого *ALC*), а также

интерпретирующей функции  $\bullet^I$ , которая сопоставляет каждому атомарному концепту  $C$  некоторое подмножество  $C^I \subseteq \Delta^I$  со степенью принадлежности  $\Delta^I \rightarrow [0, 1]$ , а каждой атомарной роли  $R$  – некоторое подмножество  $R^I \subseteq \Delta^I \times \Delta^I$  со степенью принадлежности  $\Delta^I \times \Delta^I \rightarrow [0, 1]$ . Кроме того,  $\bullet^I$  должна удовлетворять следующим соотношениям для всех  $d \in \Delta^I$

$$\begin{aligned}top^I(d) &= 1; \\ bottom^I(d) &= 0; \\ (C^I)^I(d) &= 1 - C^I(d); \\ (C \cap D)^I(d) &= \min\{C^I(d), D^I(d)\}; \\ (C \cup D)^I(d) &= \max\{C^I(d), D^I(d)\}; \\ (\forall RC)^I(d) &= \inf_{d' \in \Delta^I} \{\max\{1 - R^I(d, d'), C^I(d')\}\}; \\ (\exists RC)^I &= \sup_{d' \in \Delta^I} \{\min\{R^I(d, d'), C^I(d')\}\}; \\ (C \subseteq D)^I &= \inf_{d \in \Delta^I} C^I(d) \Rightarrow D^I(d); \\ (mod(C(d)))^I &= f_{mod} C^I(d).\end{aligned}$$

Здесь *top* и *bottom* – универсальный и пустой концепты соответственно, а *mod* и *f<sub>mod</sub>* – модификатор и функция модификации, которая интерпретирует модификатор, соответственно.

Интерпретация  $I$  выполняется для нечеткого утверждения  $\langle C(a) \ n \rangle$  (соответственно  $\langle R(a, b) \ n \rangle$ ) тогда и только тогда, когда  $C^I(a) \geq n$  (соответственно  $R^I(a, b) \geq n$ ). Интерпретация  $I$  выполняется (является моделью) во множестве нечетких утверждений  $\Sigma$  (нечеткой базы знаний (БЗ)) тогда и только тогда, когда  $I$  выполняется для каждого элемента  $\Sigma$ . Будем говорить, что в нечеткой БЗ  $\Sigma$  истинно нечеткое утверждение  $\gamma$  (записываем  $\Sigma \models \gamma$ ), если для каждой модели из  $\Sigma$  выполняется  $\gamma$ .

С учетом нечеткой БЗ  $\Sigma$  и утверждения  $\alpha$ , важной задачей является определение наибольшей нижней границы (*greatest lower bound – glb*) и наименьшей верхней границы (*least upper bound – lub*) истинности  $\alpha$ . Согласно [Straccia 2001 Reasoning within FDL] значения данных границ определяются по соотношениям:

$$\begin{aligned}glb(\Sigma, \alpha) &= \sup\{n : \Sigma \models \langle \alpha \geq n \rangle\}, \\ lub(\Sigma, \alpha) &= \inf\{n : \Sigma \models \langle \alpha \leq n \rangle\}.\end{aligned}$$

Обратим внимание, что  $\Sigma \approx \langle \alpha, n \rangle$  тогда и только тогда, когда  $glb(\Sigma, \alpha) \geq n$ . Задача определения  $glb(\Sigma, \alpha)$  и  $lub(\Sigma, \alpha)$  является важной, так как вычисленные значения позволяют ответить на запрос, «в каких границах лежит степень истинности утверждение  $\alpha$ , с учетом нечеткости утверждений нечеткой БЗ  $\Sigma$ ».

Необходимость использования нечеткого ALC возникает в тех случаях, когда появляется неопределенность в интерпретации концептов или ролей, либо при неопределенности принадлежности индивидов к некоторым концептам.

Неопределенность в интерпретациях возникает часто тогда, когда описываются качественные явления, интерпретация которых носит субъективный характер и зависит от контекста его описания. Например, тяжело в глобальном смысле определить понятие устаревшего программного обеспечения или квалифицированного сотрудника. Неопределенность в описании концепта сказывается и на возможности четко сказать принадлежит ли некоторый индивид некоторому концепту. Например, не всегда можно точно определить является ли некоторый индивид угрозой для системы или является ли некоторое событие последствием угроз. Аналогичная ситуация возникает и при определении ролей, которые описывают отношения между индивидуумами некоторой предметной области. Например, когда нельзя точно сказать связаны ли индивиды отношением влияния или следствия.

Обычно, описывая некоторый нечеткий концепт или роль, для описания различных степеней нечеткости описания вводят подконцепты и подроли, которые интерпретируются как подмножества исходных концептов и ролей. Например, концепт «Риск» может содержать подконцепты «Высокий Риск», «Средний Риск» и «Низкий Риск». Любой из индивидов, который принадлежит одному из этих трех концептов, также принадлежит и концепту-родителю «Риск».

Построение функций принадлежности для концептов, описывающих разные уровни значений, производится на области значений рассматриваемого концепта. Каждый из концептов описывает некоторый терм из семан-

тического пространства значений. Представление всех термов на одной шкале дает возможность проанализировать полноту нечеткого описания и степень его нечеткости. При этом целесообразно строить семантическое пространство как полное ортогональное семантическое пространство (ПОСП)[2]. Использование для описания множества термов ПОСП предопределяет полноту этого описания и дает возможность определения степени нечеткости. А это означает, что можно выбирать среди семантических пространств такое, которое дает возможность аппроксимировать некоторую шкалу значений с некоторой заранее заданной степенью нечеткости.

#### Описание диаграмм CORAS с использованием нечеткого ALC

Возвращаясь к понятиям CORAS, можно отметить, что многим из них присуща некоторая нечеткость, что не всегда дает возможность с уверенностью отнести некоторый индивид к тому или иному концепту или построить отношение. Чаще всего это можно наблюдать при оценке значения риска. Если значение риска не может быть вычислено точно, то дается приближенное значение, которое может описываться такими концептами как *Low\_Risk*, *Medium\_Risk* или *High\_Risk*.

Значение риска (*risk value*) в диаграммах CORAS определяется для отношений и вершин. Значение риска может быть описано численно или лингвистически. При численном описании проставляемое значение риска зависит от шкалы, которая выбрана. Однако любую численную шкалу можно нормировать, тогда областью значений степени риска будет  $[0,1]$ . При использовании лингвистической шкалы необходимо задать семантическое пространство, значения которого будут описывать степень риска, например  $\{Low, Medium, High\}$  ({Низкий, Средний, Высокий}).

Для описания уровня риска на языке ALC введем концепт *Risk\_Level*. Данный концепт будет подразумевать некоторое описание риска вне зависимости от того, как он описан на некоторой конкретной диаграмме. Для описания значения риска введем концепты:

*Risk\_Value* – значение риска;  
*High\_Risk* – высокий риск;  
*Medium\_Risk* – средний риск;  
*Low\_Risk* – низкий риск.

Концепты *High\_Risk*, *Medium\_Risk* и *Low\_Risk* будем рассматривать как нечеткие, функции, принадлежности которых образуют ПОСП.

Кроме непосредственно значения рисков в диаграммах *CORAS* также используются понятия вероятности (*likelihood*), последствия (*consequence*) и функции риска (*risk function*), как альтернатива определению степени риска. Рассмотрим каждое из этих понятий подробнее.

Вероятность выражают с помощью количества нежелательных инцидентов за некоторый промежуток времени. Например, один инцидент в месяц, или пять инцидентов в год и т.п. Для унификации шкалы значений вероятности выберем некоторый фиксированный промежуток времени. В зависимости от рассматриваемой системы это может быть и час, и месяц, и год. Далее будем сводить все значения вероятностей к количеству инцидентов за соответствующий фиксированный промежуток времени. Унификация шкал позволяет одинаково трактовать все вероятности, описанные в диаграмме, и использовать один тип данных при их хранении в памяти ЭВМ.

В языке *CORAS* вероятность также может принимать традиционные значения из промежутка  $[0,1]$ , что будет показывать вероятность происхождения некоторого нежелательного инцидента за некоторый промежуток времени. В зависимости от рассматриваемой системы значение этого промежутка может варьироваться в интервале  $(0, \infty)$ . К традиционной шкале значений вероятности можно легко перейти от выше описанной шкалы инцидентов за промежутки времени. Для этого необходимо выбрать наименьший временной интервал в значениях вероятностей на диаграмме и привести все остальные подобные значения к данному интервалу, после чего нормировать их.

Лингвистическое описание вероятности подобно лингвистическому описанию значений риска. Необходимо задать некоторым образом ПОСП, термы которого будут вы-

ражать значение вероятности, например  $\{Low, Medium, High\}$ . Построение данного ПОСП удобно производить на шкале  $[0,1]$ , к которой легко свести любую другую численную шкалу. Однако отметим, что лингвистические значения вероятности не обязательно несут ту же смысловую нагрузку, что и значение риска. То есть значение вероятности *Medium* не означает, что риск при этом будет также на уровне *Medium*.

Для описания понятий вероятности на языке *ALC* введем концепты:

*Likelihood* – вероятность;  
*High\_Likelihood* – высокая вероятность;  
*Medium\_Likelihood* – средняя вероятность;  
*Low\_Likelihood* – низкая вероятность.

При этом концепты *High\_Likelihood*, *Medium\_Likelihood* и *Low\_Likelihood* будем рассматривать как нечеткие, функции принадлежности которых образуют ПОСП.

Кроме вероятности и значения риска отношения между вершинами диаграмм могут также помечаться последствиями. Значение последствия подразумевает некоторую оценку воздействия нежелательного инцидента на актив диаграммы *CORAS*. Например, последствие может выражаться в количестве обращений в техобслуживание системы, либо в потере некоторых денежных средств. Формализация подобного описания представляется достаточно сложной задачей, особенно для больших сложных систем.

Другой возможностью задания области значений последствий является задание множества термов, которые описывают степень тяжести последствий при свершении некоторого инцидента. Так, например, можно задать лингвистическую шкалу в виде ПОСП с термами  $\{Heavy, Medium, Light\}$  ({Тяжелые, Средние, Легкие}). Также вместо лингвистических значений тяжести последствий допускается расстановка весов в виде произвольных чисел. По умолчанию принято, что чем больше значение веса, тем значимее последствия. Для единообразного описания значений последствий на диаграммах, можно нормировать веса и все значения отображать в промежутке  $[0,1]$ .

Для описания последствий в *ALC* подобно тому, как это сделано для вероятности и значения риска, вводим набор концептов:

*Consequence* – последствия;

*Heavy\_Consequence* – тяжелые последствия;

*Medium\_Consequence* – средние последствия;

*Light\_Consequence* – легкие последствия.

Концепты, описывающие уровни тяжести последствия, формируют в интерпретации ПОСП, которое построено на области значений  $[0, 1]$ .

Бывают случаи, когда задают одновременно и вероятность, и последствие. Тогда есть возможность задать функцию риска, которая будет отображением из декартового произведения значений вероятности и последствия в область значений риска. При описании значений в лингвистических шкалах функцию риска можно задать в виде некоторого набора продукционных правил. Если же вероятность и последствие принимают числовые значения, то функцию риска можно определить с помощью любой подходящей математической формулы, например, полиномом. Для использования возможности задания функции риска был введен концепт *Risk\_Function*.

Для введенных выше концептов, отображающих уровень риска, можно описать аксиомы включения:

$High\_Risk \sqsubseteq Risk\_Value \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Medium\_Risk \sqsubseteq Risk\_Value \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Low\_Risk \sqsubseteq Risk\_Value \sqsubseteq Risk\_Level;$

$High\_Likelihood \sqsubseteq Likelihood \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Medium\_Likelihood \sqsubseteq Likelihood \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Low\_Likelihood \sqsubseteq Likelihood \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Heavy\_Consequence \sqsubseteq Consequence \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Mdiium\_Consequence \sqsubseteq Consequence \sqsubseteq Risk\_Level;$

$Light\_Consequence \sqsubseteq Consequence \sqsubseteq Risk\_Level;$

На диаграммах *CORAS* уровень риска соответствует некоторым отношениям либо вершинам. Для описания этой связи введем отношение  $hasRisk(*, r)$ , где  $r \sqsubseteq Risk\_Level$ , а \* подразумевает вершину или отношение между вершинами диаграммы. Если верши-

ны диаграмм легко описываются соответствующими концептами, то отношения описываются ролями, которые невозможно представить одним индивидом. Для привязки уровня риска к отношениям введем концепт *Link*. Тогда будут иметь место две роли:

$hasRiskLevel(v,rl), hasRiskLevel(l,rl),$

где  $v:Vertex, l:Link, rl:Risk\_Level$ .

В зависимости от способа описания риска можно использовать отношения  $hasRiskValue(v,rv), hasLikelihood(v,lh), hasConsequence(v,c), hasRiskFunction(v,rf), hasRiskValue(l,rv), hasLikelihood(l,lh), hasConsequence(l,c), hasRiskFunction(l,rf)$ . Причем для этих ролей выполняются следующие аксиомы включения:

$hasRiskValue(v,rv) \sqsubseteq hasRiskLevel(v,rl),$

$hasLikelihood(v,lh) \sqsubseteq hasRiskLevel(v,rl),$

$hasConsequence(v,c) \sqsubseteq hasRiskLevel(v,rl),$

$hasRiskFunction(v,rf) \sqsubseteq hasRiskLevel(v,rl),$

$hasRiskValue(l,rv) \sqsubseteq hasRiskLevel(l,rl),$

$hasLikelihood(l,lh) \sqsubseteq hasRiskLevel(l,rl),$

$hasConsequence(l,c) \sqsubseteq hasRiskLevel(l,rl),$

$hasRiskFunction(l,rf) \sqsubseteq hasRiskLevel(l,rl).$

Для определения начала и конца отношения введем два отношения

$startedBy(l,v), endedBy(l,v),$

где  $l:Link, v:Vertex$ .

Концепт *Link* предназначен для описания свойств некоторого отношения между вершинами диаграммы, таких как различные описания уровня риска.

Для описания отношений различного типа введем концепты *Protect\_Link, Ihr\_Link, Initiate\_Link, Impact\_Link, Leads\_to\_Link, Treatment\_Link*. Для введенных концептов очевидны аксиомы:

$Protect\_Link \sqsubseteq Link, Ihr\_Link \sqsubseteq Link,$

$Initiate\_Link \sqsubseteq Link, Impact\_Link \sqsubseteq Link,$

$Leads\_to\_Link \sqsubseteq Link, Treatment\_Link \sqsubseteq Link.$

В случае, когда отношение между вершинами диаграммы нечеткое, их можно описать с помощью нечетких ролей языка *ALC*. Такой подход позволяет описать ситуацию, когда нет уверенности в том, что, например,

некоторый участник  $p_1$  защищает актив  $a_1 - \langle Protect(p_1, a_1) 0.7 \rangle$ , или когда один актив  $a_1$  влияет на другой  $a_2 - \langle Ihr(a_1, a_2) 0.3 \rangle$ . Следует отметить, что так как отношения описываются кроме как ролями еще и концептами *Link*, то при использовании нечетких ролей, необходимо использовать и нечеткие концепты. При этом степень нечеткости отношения автоматически переносится на соответствующий концепт и наоборот. Для отношения, которое описывается нечеткой ролью  $\langle Protect(p_1, a_1) 0.7 \rangle$  следует  $\langle Protect\_Link(l) 0.7 \rangle$ , где  $l$  – индивид, обозначающий соответствующее отношение между элементами диаграммы.

Помимо всего прочего диаграммы CORAS содержат описание уязвимых мест системы и их местоположение. Для описания уязвимостей был введен концепт *Vulnerability*. Этот концепт описывает наличие уязвимостей у некоторого отношения в диаграммах угроз. Чтобы сделать привязку концептов отношения и уязвимости введем роль концепта *Link - hasVulnerability(l, vn)*, где  $vn - Vulnerability$ .

Рассматривая диаграммы исправлений можно отметить, что концепт *Vulnerability* выступает в них как вершина, с которой связана вершина *Treatment\_scenario* некоторым отношением. Отношение, которое соединяет указанные вершины, описывает тип исправлений, который применяется. Введем обобщенный концепт *Treatment\_Category*, который описывает понятие категории исправления как таковое. Кроме того, введем концепты для описания типов исправлений:

*Category\_Avoid* – избежание риска;

*Category\_Decrease\_Likelihood* – уменьшение вероятности риска;

*Category\_Decrease\_Consequence* – уменьшение последствия риска;

*Category\_Share* – деление риска;

*Category\_Retain* – поддержание риска на некотором уровне.

Каждый из этих концептов может быть нечетким, однако формирование функций принадлежности в данном случае будет непростым, из-за изначально лингвистических значений понятия категории угрозы. Для введенных концептов выполняются аксиомы включения вида:

$Category\_Avoid \sqsubseteq Treatment\_Category,$   
 $Category\_Decrease\_Likelihood \sqsubseteq Treatment\_Category,$   
 $Category\_Decrease\_Consequence \sqsubseteq Treatment\_Category,$   
 $Category\_Share \sqsubseteq Treatment\_Category,$   
 $Category\_Retain \sqsubseteq Treatment\_Category.$

Для описания соответствия некоторых категорий исправлений отношениям на диаграмме, следует ввести роль концепта

$Link - hasTreatmentCategory(l, tc),$

где  $tc - Treatment\_Category$ .

Таким образом можно сказать, что введенный концепт *Link* имеет следующие роли: *hasRiskLevel*, *hasLikelihood*, *hasConsequence*, *hasRiskValue*, *hasRiskFunction*, *hasVulnerability*, *hasTreatmentCategory*. Данные отношения также могут рассматриваться как нечеткие, что будет обозначать неопределенность в наличии некоторого свойства отношения как такового. Например, нечеткость отношения *hasVulnerability* будет обозначать, что уязвимость не обязательно присутствует в данной связи между вершинами диаграммы.

**Пример.** Используя введенные концепты и роли, рассмотрим описание на языке нечеткого ALC диаграммы угроз, изображенной на рисунке.

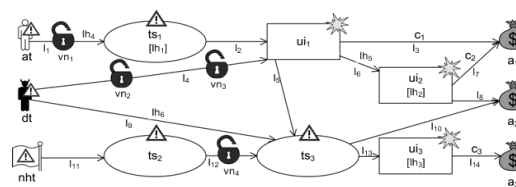


Рис. 1. Пример диаграммы угроз

Данную диаграмму обозначим как индивид с именем  $td1$ . Элементы со степенью принадлежности равной единице для простоты будем описывать в виде четких элементов.

**Концепты:**

$td1: Threat\_diagramm;$

$a_1: Asset, a_2: Asset, a_3: Asset;$   
 $\langle Accidental\_threat(at) 0.8 \rangle,$   
 $\langle Deliberate\_threat(dt) 0.9 \rangle,$   
 $\langle Non\_human\_threat(nht) 0.6 \rangle;$

$vn_1: Vulnerability, \langle Vulnerability(vn_2) 0.7 \rangle,$   
 $\langle Vulnerability(vn_3) 0.9 \rangle,$

*vn*<sub>4</sub>: *Vulnerability*;  
*ts*<sub>1</sub>: *Threat\_scenario*,  
*ts*<sub>2</sub>: *Threat\_scenario*,  
*ts*<sub>3</sub>: *Threat\_scenario*;  
*ui*<sub>1</sub>: *Unwanted\_incident*,  
*ui*<sub>2</sub>: *Unwanted\_incident*,  
*ui*<sub>3</sub>: *Unwanted\_incident*;  $\langle \text{High\_Likelihood}(lh_1) 0.8 \rangle$ ,  $\langle \text{High\_Likelihood}(lh_2) 0.9 \rangle$ ,  
 $\langle \text{Low\_Likelihood}(lh_3) 0.75 \rangle$ ,  
*lh*<sub>4</sub>: *High\_Likelihood*, *lh*<sub>5</sub>: *Medium\_Likelihood*,  
*lh*<sub>6</sub>: *Medium\_Likelihood*;  
*c*<sub>1</sub>: *Heavy\_Consequence*,  
 $\langle \text{Light\_Consequence}(c_2) 0.9 \rangle$ ,  $\langle \text{Medium\_Consequence}(c_3) 0.8 \rangle$ ;  
*l*<sub>1</sub>: *Initiate\_Link*,  $\langle \text{Initiate\_Link}(l_4) 0.1 \rangle$ ,  
*l*<sub>9</sub>: *Initiate\_Link*, *l*<sub>11</sub>: *Initiate\_Link*;  
*l*<sub>2</sub>: *Leads\_to\_Link*, *l*<sub>5</sub>: *Leads\_to\_Link*,  
*l*<sub>6</sub>: *Leads\_to\_Link*, *l*<sub>12</sub>: *Leads\_to\_Link*,  
*l*<sub>13</sub>: *Leads\_to\_Link*;  
*l*<sub>3</sub>: *Impact\_Link*,  $\langle \text{Impact\_Link}(l_7) 0.8 \rangle$ ,  
 $\langle \text{Impact\_Link}(l_8) 0.3 \rangle$ ,  
*l*<sub>10</sub>: *Impact\_Link*, *l*<sub>14</sub>: *Impact\_Link*.

#### Отношения:

*Contains* (*td*, \*), где \* - все индивиды, описанные на диаграмме;

Описание отношений *startedBy* и *endedBy* приводить не будем, так как они очевидны;

*Initiate*(*at*, *ts*<sub>1</sub>),  $\langle \text{Initiate}(dt, ui_1) 0.1 \rangle$ ,  
*Initiate*(*dt*, *ts*<sub>3</sub>), *Initiate*(*nht*, *ts*<sub>2</sub>);

*Leads\_to*(*ts*<sub>1</sub>, *ui*<sub>1</sub>), *Leads\_to*(*ui*<sub>1</sub>, *ui*<sub>2</sub>),  
*Leads\_to*(*ui*<sub>1</sub>, *ts*<sub>3</sub>), *Leads\_to*(*ts*<sub>2</sub>, *ts*<sub>3</sub>),  
*Leads\_to*(*ts*<sub>3</sub>, *ui*<sub>3</sub>);

*Impact*(*ui*<sub>1</sub>, *a*<sub>1</sub>),  $\langle \text{Impact}(ui_2, a_1) 0.8 \rangle$ ,  
 $\langle \text{Impact}(ui_2, a_2) 0.3 \rangle$ , *Impact*(*ts*<sub>3</sub>, *a*<sub>2</sub>);  
*Impact*(*ui*<sub>3</sub>, *a*<sub>3</sub>);

*hasVulnerability*(*l*<sub>1</sub>, *vn*<sub>1</sub>),  
 $\langle \text{hasVulnerability}(l_4, vn_2) 0.8 \rangle$ ,  
 $\langle \text{hasVulnerability}(l_4, vn_3) 0.3 \rangle$ ,  
 $\langle \text{hasVulnerability}(l_{12}, vn_4) 0.6 \rangle$ ;

*hasLikelihood*(*ts*<sub>1</sub>, *lh*<sub>1</sub>), *hasLikelihood*(*ui*<sub>2</sub>, *lh*<sub>2</sub>),  
*hasLikelihood*(*ui*<sub>3</sub>, *lh*<sub>3</sub>), *hasLikelihood*(*l*<sub>1</sub>, *lh*<sub>4</sub>),

*hasLikelihood*(*l*<sub>6</sub>, *lh*<sub>5</sub>), *hasLikelihood*(*l*<sub>9</sub>, *lh*<sub>6</sub>);  
*hasConsequence*(*l*<sub>3</sub>, *c*<sub>1</sub>), *hasConsequence*(*l*<sub>7</sub>, *c*<sub>2</sub>),  
 $\langle \text{hasConsequence}(l_{14}, c_3) 0.2 \rangle$ .

Следует отметить, что маркировка концептов и ролей некоторыми значениями риска или вероятности не подразумевает их нечеткости. Маркировка показывает только, какому уровню риска подвержены те или иные части системы. Нечеткость же показывает неопределенность принадлежности некоторого индивида заданному концепту или состоят ли некоторые индивиды в заданном соотношении.

Так  $\langle \text{Accidental\_threat}(at) 0.8 \rangle$  показывает, что рассматриваемый индивид *at* не может рассматриваться как случайная угроза в полной мере, а является ею только со степенью истинности 0.8. То же относится и к другим угрозам, изображенным на диаграмме, и к уязвимостям *vn*<sub>2</sub> и *vn*<sub>3</sub>.

Уровни вероятности и последствий описаны с помощью введенных ранее термов. Причем значения функций принадлежности индивидов к соответствующим термам полностью удовлетворяют условиям ПОСП.

#### Построение онтологии в программе *Protégé*

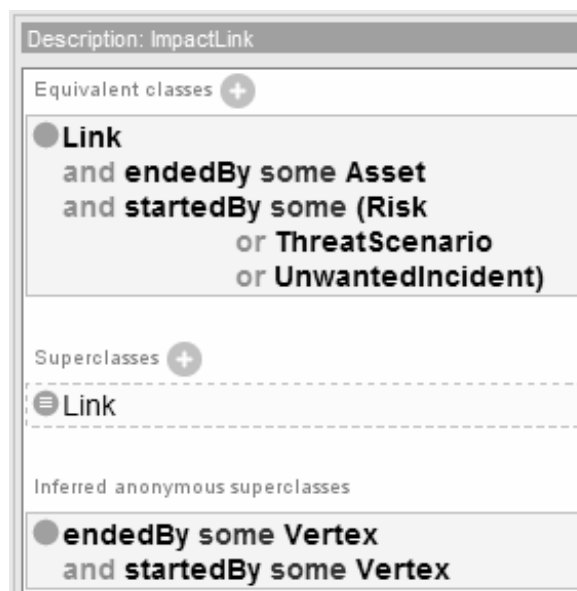


Рис. 2. Описание концепта *ImpactLink*

Предложенное описание на языке *ALC* диаграмм *CORAS* позволяет описывать возможные риски в системе и делать на основе представленных таким образом знаний логические выводы. Существует достаточно мно-

го программных продуктов для создания онтологий на основе дескриптивных языков. Авторами была использована среда *Protégé* версия 4.0. Используя введенные в данной работе и в работе [нашей предыдущей] понятия и отношения, была построена онтология анализа рисков на основе языка *CORAS*. Каждому концепту в среде *Protégé* соответствует класс. Аксиомы включения реализованы с помощью построения иерархии классов. Среда *Protégé* дает возможность описывать классы через другие классы, то есть задавать атомарные концепты и те, которые строятся на их основе. Отметим, что в построенной онтологии концепты, описывающие диаграммы и связи (*Diagrams* и *Link* соответственно) не являются атомарными и определяются на основе концептов вершин и отношений между ними. Такое определение для концепта, описывающего отношения воздействия на актив, показано на рис.2. Данное описание подразумевает, что все связи, которые заканчиваются на активе и начинаются с вершин риска, сценария угроз или нежелательного инцидента являются связями воздействия на актив (то есть отношением *Impact*).

Отношения, описанные ранее на языке *ALC* в среде *Protégé* описываются как объектные свойства классов. Класс, который обладает некоторым объектным свойством определяется первым элементом отношения, которое описывается этим свойством. Каждое отношение характеризуется областями значений элементов, входящих в отношение. Так для отношения *avoidRisk* первым элементом может быть только сценарий исправления, а вторым – любая вершина, кроме сценария исправления и актива.

Для простоты описанная в данной работе онтология была сделана четкой, хоть и содержит в себе лингвистические термины описания уровня риска.

Для описания некоторой системы с помощью введенных понятий и отношений необходимо ввести набор индивидов, которые будут описывать систему. Индивиды по возможности необходимо поставить в соответствие концептам и определить между индивидами отношения. Для примера использования онтологии была взята диаграмма,

представленная на рис.1. К построенной онтологии в среде *Protégé* можно формировать запросы и получать логический вывод. Пример простейшего запроса и его результат представлен на рис.3, который выводит все связи имеющие среднюю вероятность сбоя.

### Выводы

В заключении можно сказать, что подобный подход в построении онтологий для сложных технических систем упрощает проведение анализа рисков в этой системе. Если при небольшом количестве рассматриваемых элементов или же при поверхностном анализе всей системы язык *CORAS* предоставляет понятную и наглядную картину, то с увеличением степени детализации и элементов системы диаграммы *CORAS* становятся громоздкими и неудобными для анализа. В то же время построение онтологии позволяет достаточно быстро проводить поиск и анализ источников риска для системы, благодаря возможности формирования запросов. Использование же нечеткого описания в диаграммах позволяет оценивать уровень риска при отсутствии точных исходных данных. Логическое продолжение работы заключается в автоматизации преобразования диаграмм *CORAS* в онтологии *OWL*, а также разработка методов формирования единой онтологии всей системы на основании описания каждой ее части с помощью диаграмм рисков.

### Список использованной литературы

1. Применение нечеткой дескрипционной логики для описания неопределенностей в формализованном языке анализа рисков // Н. Б.Копытчук, П.М. Тишин, К.В. Ботнар, М.В. Цюрупа / Материалы Первой международной НТК "Вычислительный интеллект". – Черкассы: – 2011. – 98 с.
2. Тишин П.М. Нечеткие модели сетей связи / П.М. Тишин, К.В. Ботнар // Холодильная техника и технология. – Одесса: ВЦ ОДАХ, 2009. – № 8.
3. Baader F. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications / Baader F., Calvanese D., McGuinness D., Nardi D., Peter F., Patel Schneider // Cambridge University Press, 2003.

4. Heidi E.I. Dahl, Ida Hogganvik, Ketil Stolen Dahl Heidi E. I. Structured semantics for the CORAS security risk modelling language / Technical Report A970. SINTEF ICT, 2007.

Получено 10.10.2011

#### Referens

1. Kopytchuk N.B., Stills P.M., Botnar K.V., Tsyurupa M. The use of fuzzy logic to describe description uncertainties in the formalized language of risk analysis / Proceedings of the First International STC "computational intelligence". – Cherkassy: – 2011. – 98 p. [in Russian].

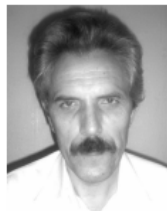
2. Tishin P.M., Botnar K.V. Fuzzy models of communication networks / Refrigeration and technology. – Odessa: VC ODAX., – 2009. – № 8 [in Russian].

3. Baader F., Franz Baader, Diego Calvanese, Deborah McGuinness, Daniele Nardi, Peter F. PatelSchneider. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications / Cambridge University Press– 2003 [in English].

4. Dahl Heidi E. I., Ida Hogganvik Ketil Stolen. Structured semantics for the CORAS security risk modelling language / Technical Report A970. SINTEF ICT. – 2007 [in English].



Копытчук  
Николай Борисович,  
д-р техн. наук, проректор  
Одесск. нац. политехн. ун-  
та, пр. Шевченко 1



Тишин  
Петр Метгалинович,  
кандидат физико - математ.  
наук, доц. Одесск. нац.  
политехн. ун-та,  
пр. Шевченко 1,  
моб.: 098-805-0448



Ботнаръ  
Константин Васильевич,  
канд. техн. наук., Одесск.  
нац. политехн. ун-та,  
пр. Шевченко 1,  
моб.: 095-302-0265



Цюрупа  
Марат Владимирович,  
аспирант Одесск. нац.  
политехн. ун-та  
моб.: 093-645-4288