

УДК 004.413.4

Т.И. Брагина, Г.В. Табунщик

*Запорожский национальный технический университет, Запорожье*

## НЕЧЕТКИЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТНОГО РИСКА

*Предложен основанный на нечетком выводе метод анализа проектного риска в зависимости от уровня рисков, выделенных в проекте, и выбранной модели разработки программного обеспечения с итеративным жизненным циклом. Использование данного метода позволяет определить наиболее критические риски для конкретного проекта, уровень проектного риска и наиболее подходящую модель разработки программного обеспечения. Кроме того, на основе рассмотренных данных были определены функции принадлежности наиболее критических рисков.*

**Ключевые слова:** управление рисками, программный проект, реакция на риск, прогнозирование.

### 1. Постановка проблемы

Эффективность проектных решений определяется точностью прогноза общего уровня риска планируемого программного проекта (ПП), а также способностью модели, принятой для анализа риска, учитывать неопределенность параметров, описывающих исследуемый процесс. При принятии решений о прогнозировании возможных рисков во время планирования ПП менеджеру приходится иметь дело с нечеткой, разнородной информацией, причем качественная информация в описании объектов может превалировать над количественной. Кроме того, значительная часть информации, требуемой для анализа вероятности возникновения риска, может быть доступна только в виде экспертных данных либо в описании объектов с использованием естественно-языковых высказываний.

Для получения прогнозных оценок риска наиболее распространенными методами качественно-количественного анализа являются статистический метод и метод экспертных оценок. Данные методы используются в основном при планировании производства в экономической сфере, однако их можно использовать и для ПП, например, для определения вероятности возникновения риска превышения сроков календарного планирования. Недостатком ста-

тистического метода является необходимость наличия значительного массива точных входных данных, которые не всегда имеются в распоряжении менеджера ПП, а их сбор и обработка могут привести к дополнительным материальным затратам. Следует отметить, что новый ПП, по сути, является единственным продуктом, имеющим индивидуальные особенности. Это обуславливает отсутствие выборки достаточного объема, которая не позволяет эффективно использовать методы математической статистики для получения точного прогноза и формирования на его основе обоснованных управленческих решений.

Недостатками методов экспертных оценок являются отсутствие гарантий достоверности полученных оценок, трудности в проведении опроса экспертов и обработке полученных данных, сложность формирования группового мнения по индивидуальным суждениям экспертов, возможность давления авторитетов в группе и взаимное влияние мнений экспертов. Кроме того, часть информации, которая может быть использована для проведения анализа, предоставляется руководителю разработки ПП в естественно-языковой форме, однако экспертные методы не обладают возможностью их формализации для непосредственного использования. Следовательно, часть информации, которая может быть

использована для прогнозирования риска с использованием традиционных методов (статистических, экспертных) может быть признана некачественной, обладающей недостаточной точностью и неполной для прогнозирования, что обуславливает актуальность разработки методов оценки рисков ПП.

**2. Постановка задачи**

К основным рискам проектов по разработке программного обеспечения (ПО) с итерационным жизненным циклом (ЖЦ) можно отнести [1]:  $x_1$  – внутренние нарушения календарного планирования,  $x_2$  – изменение требований,  $x_3$  – текучесть кадров,  $x_4$  – нарушение спецификаций,  $x_5$  – низкая производительность,  $x_6$  – недостаточное внимание к проекту со стороны руководства компании,  $x_7$  – отсутствие мотивации персонала компании. Описываются данные риски лингвистическими переменными (табл. 1).

Данные риски и влияние их на проект будут варьироваться в зависимости от выбранной модели ПП – Rational Unified Process, Microsoft Solutions Framework или Agile(eXtreme Programming, Crystal, Feature Driven Development) [2]. В связи с этим возникает необходимость определения влияния совокупности этих рисков на общий уровень проектного риска, т.е. создания метода, который позволит определить наиболее подходящую модель разработки ПО, прогнозную степень проектного риска и уровни отдельных рисков с учетом лингвистического описания представления исходных данных. Следовательно, необходимо определить зависимость между отдельными рисками и общим уровнем проектного риска и разработать математический аппарат для прогнозирования уровня проектного риска в зависимости от выбранной модели разработки ПО. Для учета лингвистического описания рисков наиболее подходит использование методов нечеткого вывода.

Таблица 1

Лингвистические переменные, определяющие риск проекта

Лингв. переменная	Универсальное множество	Оценочные термины
$x_1$	0 – 100 % (увеличение календарных сроков в % от исходного планирования)	Низкий, средний, высокий
$x_2$	0 – 100 % (увеличение требований в % от исходного планирования)	
$x_3$	0 – 1 (отношение количества уволившихся сотрудников к начальному количеству персонала)	
$x_4$	0 – 1 (вероятность нарушения спецификаций)	
$x_5$	0 – 100% (снижение планового среднего уровня производительности)	
$x_6$	0 – 100% (снижение от необходимого уровня управления проектом)	
$x_7$	0 – 100 % (снижение уровня заинтересованности персонала)	

**3. Нечеткий метод прогнозирования риска ПП**

Нечеткие продукционные модели являются наиболее общим видом нечетких моделей, которые используются для описания, анализа и моделирования сложных систем и процессов. При их использовании знания эксперта  $A \rightarrow B$  отражаются нечетким причинным отношением предпосылки и заключения, поэтому его можно назвать нечетким отношением и обозначить через R:  $R = A \rightarrow B$ , где « $\rightarrow$ » называют нечеткой импликацией.

Продукционные модели, опирающиеся на экспертные мнения, являются одним из наиболее подходящих методов для оценки рисков, поэтому в работе предлагается прогнозировать уровень проектного риска с использованием продукционной модели, опираясь на механизм нечеткого вывода Мамдани [3]. Преимуществом использования нечетких продукционных моделей для решения задачи управления риском и получения его прогнозной оценки состоит в возможности представления на вход нечеткой модели R объекта не точечных значений фиксированного вектора  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ , а интервальных решений о величине риска:

$$X^* = [(x_1^*, \bar{x}_1^*), (x_2^*, \bar{x}_2^*), \dots, (x_n^*, \bar{x}_n^*)] \rightarrow r_j, \\ r_j \in RP = (r_1, r_2 \dots r_m),$$

где  $(x_i^*, \bar{x}_i^*)$  – нижняя и верхняя оценка i-го риска соответственно.

Данный метод в форме алгоритма математически может быть описан следующим образом:

1. Введение нечеткости (fuzzification): находят степени истинности для предпосылок каждого правила  $\mu_{jp}(x_i^*)$ , где  $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m, p = 1, 2, \dots, k_j$ .

2. Логический вывод: находятся уровни "усечения" для предпосылок каждого правила (с использованием операции минимум):

$$\mu_j(y) = \min_{i,p} \mu_{jp}(x_i^*), \tag{1}$$

где  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; p = 1, 2, \dots, k_j$ .

Затем находятся "усеченные" функции принадлежности для переменной вывода:

$$\mu'_j(y) = \min(\mu_j(y), \mu_{d_j}(y)). \tag{2}$$

3. Композиция: с использованием операции МАКСИМУМ (max) производится объединение найденных усеченных функций, что приводит к получению итогового нечеткого подмножества для переменной вывода с функцией принадлежности:

$$\mu(y) = \max_j (\mu'_j(y)), \tag{3}$$

где  $j = 1, 2, \dots, m$ .

4. Приведение к четкости (defuzzification) – для нахождения  $y^*$ . Проводится методом средних из максимальных (MOM – mean of maximum) [3]:

$$y^* = \frac{1}{|\text{MAX}(\mu)|} \sum_{y \in \text{MAX}(\mu_Y(y))} y, \quad (4)$$

где  $\text{MAX}(\mu_Y(y)) = \{y \in Y \mid \forall y' \in Y : \mu_Y(y') \leq \mu_Y(y)\}$  – это множество значений выходной переменной, при которых функция принадлежности принимает максимальное значение, это множество должно быть непустым;  $\text{MAX}(\mu)$  – количество элементов множества  $\text{MAX}(\mu_Y(y))$ .

#### 4. Формирование базы правил для нечеткого вывода

Для оценки лингвистической переменной "риск" RP будем использовать терм-множество, которое определяет вероятность возникновения риска:  $\{r_1$  – ВЫСОКИЙ,  $r_2$  – СРЕДНИЙ,  $r_3$  – НИЗКИЙ}.

Структура модели для определения оценки проектного риска может быть представлена в виде

$$RP = f_{RP}(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) \quad (5)$$

где  $x_1, \dots, x_7$  – выделенные в проекте риски (табл. 1).

В соответствии с [4], знания о соотношении (5) для RP могут быть представлены в виде оценок, где Н – сокращение от «НИЗКИЙ», С – «СРЕДНИЙ», В – «ВЫСОКИЙ».

Опираясь на формулы (1) – (3), объединяем нечеткий вывод по каждому правилу с композицией. Используя экспертные знания о рисках и операции  $\cap$  (min) и  $\cup$  (max) запишем систему логических уравнений, связывающих функции принадлежности решений о величине проектного риска и влияющих на нее переменных:

– для RUP:

$$\begin{aligned} \mu^{\hat{A}}_{RUP}(r_1) &= \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\hat{A}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \\ \mu^{\tilde{N}}_{RUP}(r_2) &= \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\hat{A}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \\ \mu^{\hat{I}}_{RUP}(r_3) &= \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \end{aligned}$$

– для MSF:

$$\begin{aligned} \mu^{\hat{A}}_{MSF}(r_1) &= \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \\ \mu^{\tilde{N}}_{MSF}(r_2) &= \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \\ \mu^{\hat{I}}_{MSF}(r_3) &= \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^C(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \end{aligned}$$

– для Agile:

$$\begin{aligned} \mu^{\hat{A}}_{Agile}(r_1) &= \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\hat{A}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \\ \mu^{\tilde{N}}_{Agile}(r_2) &= \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\hat{A}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7); \\ \mu^{\hat{I}}_{Agile}(r_3) &= \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^C(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \\ &\cap \mu^{\hat{A}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7) \cup \\ &\mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_1, \bar{x}_1) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_2, \bar{x}_2) \cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_3, \bar{x}_3) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_4, \bar{x}_4) \cap \\ &\cap \mu^{\tilde{N}}(\underline{x}_5, \bar{x}_5) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_6, \bar{x}_6) \cap \mu^{\hat{I}}(\underline{x}_7, \bar{x}_7). \end{aligned}$$

#### 5. Расчет функций принадлежности для основных типов рисков

Далее определим функции принадлежности нечетким термам входных параметров нечеткой продукционной модели  $x_i$ . Для иллюстрации рассмотрим определение функции принадлежности для переменной  $x_1$  - нарушения календарного планирования, срыв сроков. Эта переменная определена на универсальном множестве  $U(x_1) = (0 - 100\%)$  с помощью нечетких термов  $T(x_i) = (\text{низкий}, \text{средний}, \text{высокий})$ .

Существуют прямые и косвенные методы построения функций принадлежности [3].

При помощи прямых методов были получены экспертные данные относительно уровня функций принадлежности по каждому из основных рисков.

Для настройки параметров использовались 120 обучающих данных и 20 контрольных данных, равномерно выбранных из входных диапазонов. Применялся следующий показатель качества аппроксимации [3]:

$$APE = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \frac{T(i) - O(i)}{|T(i)|} \times 100\%, \quad (6)$$

где P – число пар данных, а T(i) и O(i) это i-й желаемый и предсказанный выход, соответственно. Средняя ошибка определения функций принадлежности по выделенным основным рискам составила 16,9%.

Аппроксимируя экспертные данные, получаем следующие нечеткие множества:

«x<sub>1</sub> низкий» = (1/0; 0,75/25; 0,5/50; 0,25/75; 0/100);

«x<sub>1</sub> средний» = (0/0; 0,50/25; 1/50; 0,50/75; 0/100);

«x<sub>1</sub> высокий» = (0/0; 0,25/25; 0,5/50; 0,75/75; 1/100).

Эту матрицу отношений можно изобразить при помощи одной из кусочно-линейных функций [3], а именно треугольной функции:

$$\mu^C(x_1) = \begin{cases} 0, & x_1 \leq a; \\ \frac{x_1 - a}{b - a}, & a < x_1 < b; \\ \frac{c - x_1}{c - b}, & b \leq x_1 < c; \\ 0, & c \leq x_1, \end{cases}$$

где a = 0, b = 50, c = 100;

$$\mu^{\hat{I}}(x_1) = 1 - x_1 / 100;$$

$$\mu^{\hat{A}}(x_1) = x_1 / 100.$$

Изменению требований, x<sub>2</sub> наиболее соответствует трапецевидная функция:

$$\mu^C(x_2) = \begin{cases} 0, & x_2 < a; \\ \frac{x_2 - a}{b - a}, & a \leq x_2 < b; \\ 1, & b \leq x_2 \leq c; \\ \frac{d - x_2}{d - c}, & c < x_2 \leq d; \\ 0, & d < x_2, \end{cases}$$

где a = 0, b = 25, c = 50, d = 75;

$$\mu^{\hat{I}}(x_2) = 1 - x_2 / 100;$$

$$\mu^{\hat{A}}(x_2) = x_2 / 100.$$

Текучесть кадров, x<sub>3</sub> лучше всего отображается с помощью симметрической гауссовской функции (для среднего уровня риска) и линейных S и Z-образной функций (для высокого и низкого уровня риска соответственно):

– симметрическая гауссовская функция:

$$\mu^C(x_3) = e^{-\frac{(x_3 - b)^2}{2a^2}},$$

где a = 0,15, b = 0,5;

– Z-образная функция:

$$\mu^H(x_3) = \begin{cases} 1, & x_3 \leq a; \\ \frac{b - x_3}{b - a}, & a < x_3 < b; \\ 0, & b \leq x_3, \end{cases}$$

где a = 0,1, b = 0,9;

– S-образная функция:

$$\mu^B(x_3) = \begin{cases} 0, & x_3 \leq a; \\ \frac{x_3 - a}{b - a}, & a < x_3 < b; \\ 1, & b \leq x_3, \end{cases}$$

где a = 0,1, b = 0,9.

Нарушению спецификаций, x<sub>4</sub> лучше всего соответствуют П-образная функция (для среднего уровня риска) и линейные S и Z-образные функции (для высокого и низкого уровня риска соответственно):

– П-образная функция:

$$\mu^C(x_4) = \frac{1}{1 + e^{-a(x_4 - b)}} * \frac{1}{1 + e^{-c(x_4 - d)}},$$

где a = 0,15, b = 0,45, c = 0,55, d = 0,85;

– Z-образная функция:

$$\mu^H(x_4) = \begin{cases} 1, & x_4 \leq a; \\ \frac{b - x_4}{b - a}, & a < x_4 < b; \\ 0, & b \leq x_4, \end{cases}$$

где a = 0,1, b = 0,9;

– S-образная функция:

$$\mu^B(x_4) = \begin{cases} 0, & x_4 \leq a; \\ \frac{x_4 - a}{b - a}, & a < x_4 < b; \\ 1, & b \leq x_4, \end{cases}$$

где a = 0,1, b = 0,9.

Низкая производительность (x<sub>5</sub>), недостаточное внимание к проекту со стороны руководства компании (x<sub>6</sub>), отсутствие мотивации персонала компании (x<sub>7</sub>) – всем этим рискам соответствуют обобщенная колоколообразная функция (для среднего уровня риска) и линейных S и Z-образной функций (для низкого и высокого уровня риска соответственно):

– обобщенная колоколообразная функция:

$$\mu^C(x_5, x_6, x_7) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}},$$

где a = 15, b = 2, c = 50;

– Z-образная функция:

$$\mu^H(x_5, x_6, x_7) = \begin{cases} 1, & x \leq a; \\ \frac{b - x}{b - a}, & a < x < b; \\ 0, & b \leq x, \end{cases}$$

где a = 15, b = 85;

– S-образная функция:

$$\mu^B(x_5, x_6, x_7) = \begin{cases} 0, x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, a < x < b; \\ 1, b \leq x, \end{cases}$$

где  $a = 15, b = 85$ .

Например, значение функции принадлежности  $x_1 = [27; 34]$  для соответствующих нечетких термов имеют вид:

$$\mu^{\hat{A}}(x_1, \bar{x}_1) = [0, 27; 0, 34];$$

$$\mu^{\tilde{N}}(x_1, \bar{x}_1) = [0, 54; 0, 68]; \mu^{\hat{I}}(x_1, \bar{x}_1) = [0, 66; 0, 73].$$

Аналогично, с использованием представленного алгоритма могут быть найдены значения функции принадлежности для всех лингвистических переменных, определяющих величину риска. Интервальные значения функции принадлежности входных параметров  $x_i$  представлены в табл. 3. Входные параметры (величину риска и превышение бюджета, в случае реализации риска) получают путем сбора и усреднения экспертных данных о предполагаемой вероятности возникновения риска.

Таблица 3

Интервальные значения функции принадлежности входных параметров  $x_i$  модели

Риск, $x_i$	Вероятность возникновения риска	Оценочные термы		
		низкий (Н)	средний (С)	высокий (В)
1	2	5	6	7
$x_1$	[27; 34]	[0,66;0,73]	[0,54;0,68]	[0,27;0,34]
$x_2$	[13; 22]	[0,78;0,87]	[0,52;0,88]	[0,13;0,22]
$x_3$	[0,2; 0,33]	[0,71;0,88]	[0,25;0,64]	[0,13;0,29]
$x_4$	[0,3; 0,4]	[0,63;0,75]	[0,96;0,98]	[0,25;0,38]
$x_5$	[50; 60]	[0,36; 0,5]	[0,84;1,00]	[0,5;0,64]
$x_6$	[43; 70]	[0,4;0,79]	[0,24;0,95]	[0,21;0,6]
$x_7$	[55; 62]	[0,33;0,43]	[0,71;0,99]	[0,57;0,69]

Определим функцию принадлежности лингвистической переменной RP термы оценки  $r_1, r_2, r_3$ . Подставим в систему логических уравнений, связывающих функции принадлежности решений о величине проектного риска и влияющих на нее переменных, полученных значений функции принадлежности:

– для RUP:

$$\mu^{\hat{A}}_{RUP}(r_1) = [0.54, 0.68] \cap [0.13, 0.22] \cap [0.13, 0.29] \cap [0.96, 0.98] \cap [0.84, 1.00] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.33, 0.43] \cup [0.27, 0.34] \cap [0.13, 0.22] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.25, 0.38] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.71, 0.99] = [0.13, 0.22];$$

$$\mu^{\tilde{N}}_{RUP}(r_2) = [0.54, 0.68] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.13, 0.29] \cap [0.96, 0.98] \cap [0.5, 0.64] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.71, 0.99] \cup [0.27, 0.34] \cap [0.78, 0.87] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.71, 0.99] = [0.25, 0.34];$$

$$\mu^{\hat{I}}_{RUP}(r_3) = [0.66, 0.73] \cap [0.78, 0.87] \cap [0.71, 0.88] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.84, 1.00] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.71, 0.99] \cup [0.54, 0.68] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.21, 0.6] \cup [0.57, 0.67] = [0.24, 0.73];$$

– для MSF:

$$\mu^{\hat{A}}_{MSF}(r_1) = [0.54, 0.68] \cap [0.13, 0.22] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.96, 0.98] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.57, 0.67] \cup [0.66, 0.73] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.13, 0.29] \cap [0.25, 0.38] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.71, 0.99] = [0.13, 0.29];$$

$$\mu^{\tilde{N}}_{MSF}(r_2) = [0.27, 0.34] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.71, 0.88] \cap [0.96, 0.98] \cap [0.5, 0.64] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.71, 0.99] \cup [0.66, 0.73] \cap [0.13, 0.22] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.84, 1.00] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.57, 0.67] = [0.24, 0.34];$$

$$\mu^{\hat{I}}_{MSF}(r_3) = [0.66, 0.73] \cap [0.78, 0.87] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.84, 1.00] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.57, 0.67] \cup [0.54, 0.68] \cap [0.78, 0.87] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.71, 0.99] = [0.25, 0.64];$$

– для Agile:

$$\mu^{\hat{A}}_{Agile}(r_1) = [0.66, 0.73] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.96, 0.98] \cap [0.5, 0.64] \cap [0.21, 0.6] \cap [0.33, 0.43] \cup [0.27, 0.34] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.13, 0.29] \cap [0.25, 0.38] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.57, 0.67] = [0.21, 0.43];$$

$$\mu^{\tilde{N}}_{Agile}(r_2) = [0.66, 0.73] \cap [0.13, 0.22] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.96, 0.98] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.24, 0.95] \cap [0.71, 0.99] \cup [0.27, 0.34] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.71, 0.88] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.57, 0.67] = [0.27, 0.34];$$

$$\mu^{\hat{I}}_{Agile}(r_3) = [0.66, 0.73] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.71, 0.88] \cap [0.25, 0.38] \cap [0.36, 0.5] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.71, 0.99] \cup [0.54, 0.68] \cap [0.52, 0.88] \cap [0.25, 0.64] \cap [0.63, 0.75] \cap [0.84, 1.00] \cap [0.4, 0.79] \cap [0.33, 0.43] = [0.25, 0.43].$$

## 6. Дефазификация для оценки риска

Данные, полученные в результате дефазификации, анализируются с целью определить наиболее подходящую для ПП модель разработки. Для этой модели  $\mu^{\hat{A}}(r_1) = \min(\mu^{\hat{A}_1}(r_1), \mu^{\hat{A}_2}(r_1), \dots, \mu^{\hat{A}_n}(r_1))$ ,  $\mu^{\hat{I}}(r_3) = \max(\mu^{\hat{I}_1}(r_3), \mu^{\hat{I}_2}(r_3), \dots, \mu^{\hat{I}_n}(r_3))$ , где  $n$  – количество рассматриваемых моделей. В случае возникновения спорных ситуаций анализируется уровень принадлежности функции  $\mu^{\tilde{N}}(r_2)$ .

В случае если для руководителя проекта этот уровень риска является неприемлемым, ему рекомендуется уточнить отдельные показатели проекта и ис-

пользовать предложенные методы уменьшения уровня наиболее критических рисков. Для приведения к четкости был выбран подход с определением максимального среднего значения функции принадлежности (4).

Определим среднее значение функции принадлежности  $P$ -нечетких множеств для каждого типа моделей для рассматриваемого примера:

– для RUP:

$$\mu_{RUP}^{\hat{A}}(\tau_1) = [0.13, 0.22] = 0.17;$$

$$\mu_{RUP}^{\hat{N}}(\tau_2) = [0.25, 0.34] = 0.25;$$

$$\mu_{RUP}^{\hat{I}}(\tau_3) = [0.24, 0.73] = 0.49;$$

– для MSF:

$$\mu_{MSF}^{\hat{A}}(\tau_1) = [0.13, 0.29] = 0.21;$$

$$\mu_{MSF}^{\hat{N}}(\tau_2) = [0.24, 0.34] = 0.29;$$

$$\mu_{MSF}^{\hat{I}}(\tau_3) = [0.25, 0.64] = 0.45;$$

– для Agile:

$$\mu_{Agile}^{\hat{A}}(\tau_1) = [0.21, 0.43] = 0.32;$$

$$\mu_{Agile}^{\hat{N}}(\tau_2) = [0.27, 0.34] = 0.31;$$

$$\mu_{Agile}^{\hat{I}}(\tau_3) = [0.25, 0.43] = 0.34.$$

Таким образом, для рассмотренного примера при использовании любой из моделей уровень риска будет низким, однако лучше всего подходит модель RUP, поскольку использованию этой модели соответствует максимальное среднее значение функции принадлежности риск НИЗКИЙ (0,49) и минимальное среднее значение функции принадлежности риск ВЫСОКИЙ (0,17). Менее всего подходит модель Agile, поскольку использованию этой модели соответствует максимальное среднее значение функции принадлежности риск ВЫСОКИЙ (0,32) и минимальное среднее значение функции принадлежности риск НИЗКИЙ (0,34). Опираясь на данные табл. 3, исходя из суммы необходимых резервов по каждому риску, получаем границы необходимого резерва на случай реализации рисков для всего проекта – резерв должен составлять от 45,65 до 68,15% от планируемого бюджета.

Для данного примера при использовании RUP, как наиболее соответствующей требованиям проекта

модели, критическим риском оказалось нарушение спецификаций. Согласно предоставленным рекомендациям необходимо подписание договора между заказчиком и компанией с описанием входных и выходных условий, оценка рисков независимыми экспертами.

## Выводы

Таким образом, собранные в работе экспертные знания позволили создать базу продукционных правил и определить функции принадлежности уровней основных рисков разработки ПП. Уровень риска определялся путем анализа всех рисков, т.е. факторов, влияющих на эффективность проекта, в зависимости от модели ПО, выбранной для разработки ПП.

Научная новизна работы заключается в том, что выполнен анализ основных рисков создания программных проектов для прогнозирования проектного риска с использованием нечеткого вывода, который позволяет использовать лингвистические переменные, определяющие риск проекта.

Практическая ценность работы заключается в том, что на основе рассмотренных данных были определены функции принадлежности наиболее критических рисков для ПП с итеративным ЖЦ.

## Список литературы

1. Брагина Т.И. Методы управления рисками программных проектов / Т.И. Брагина, Г.В. Табунщик // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: тези доповідей V Міжн. НПК, 2010. – Запоріжжя, Україна. – Т. 2 – С. 144-145
2. Брагина Т.И. Сравнительный анализ итеративных моделей разработки программного обеспечения / Т.И. Брагина, Г.В. Табунщик // Радіоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2010. – № 2. – С. 130-139
3. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: навчальний посібник / С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.
4. Тэрано Т. Прикладные нечеткие системы / Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугано. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

Поступила в редколлегию 8.04.2011

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. И.Э. Таланин, Классический частный университет, Запорожье.

## НЕЧІТКИЙ АНАЛІЗ ПРОЕКТНОГО РИЗИКУ

Т.І. Брагіна, Г.В. Табунщик

Запропонований заснований на нечіткому висновку метод аналізу проектного ризику в залежності від рівня ризиків, виділених у проекті, і вибраної моделі розробки програмного забезпечення з ітеративним життєвим циклом. Використання даного методу дозволяє визначити найбільш критичні ризики для конкретного проекту, рівень проектного ризику і найбільш відповідну модель розробки програмного забезпечення. Крім того, на основі розглянутих даних були визначені функції приналежності найбільш критичних ризиків.

**Ключові слова:** управління ризиками, програмний проект, реакція на ризик, прогнозування.

## FUZZY RISK PROJECT ANALYSIS

T.I. Bragina, G.V. Tabunshchik

Based on fuzzy inference method for the project risk, depended on the risks level analysis identified in the project and the selected model of software development with an iterative lifecycle is proposed in the article. Usage of this method makes it possible to identify the most critical risks for a particular project, the level of project risk and the most appropriate model of software development. In addition, the most critical risks membership functions are identified by the authors.

**Keywords:** risk management, software project, the response to risk, prediction.