

# СИСТЕМА НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ

## **С.А. ГЛУШЕНКО**

*аспирант кафедры информационных систем и прикладной информатики, факультет компьютерных технологий и информационной безопасности, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)*

*Адрес: 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69*

*E-mail: gs-gears@yandex.ru*

## **А.И. ДОЛЖЕНКО**

*доктор экономических наук, профессор кафедры информационных систем и прикладной информатики, факультет компьютерных технологий и информационной безопасности, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ)*

*Адрес: 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 69*

*E-mail: doljenkoalex@gmail.com*

*В статье обосновывается важность применения анализа рисков при реализации инвестиционно-строительного проекта (ИСП) и обосновывается целесообразность применения нечеткой логики для оценки риска. Применение нечетких моделей позволяет учитывать как количественные, так и качественные характеристики, а также представлять нечеткие описания с помощью нечетких множеств и лингвистических переменных.*

*Описываемая нечеткая продукционная модель (НПМ) содержит 19 входных лингвистических переменных, характеризующих факторы риска, и 14 выходных лингвистических переменных, характеризующих риски различных областей ИСП. Модель содержит 14 баз правил и позволяет проводить лингвистический анализ рисков, которые несут потенциальный ущерб проекту, а также выявлять приоритеты рисков (очень высокий, высокий, средний, низкий, очень низкий), которые важны для менеджмента инвестиционно-строительного проекта. НПМ позволяет снять ограничения на число учитываемых входных переменных и интегрировать как качественные, так и количественные подходы к оценке рисков.*

*Выполнена постановка задачи для инструментария управления рисками с поддержкой нечетких моделей и обосновывается целесообразность собственной разработки системы поддержки принятия решений (СППР) анализа рисков. Описывается процесс реализации нечеткого моделирования базы правил посредством разработанной СППР ModelingFuzzySet. Механизм получения оценок риска на основе алгоритма Мамдани позволяет получить численное значение риска, лингвистическое описание степени риска, а также степень уверенности эксперта в возникновении рискового события.*

*Результаты моделирования были использованы лицами, принимающими решения, для выявления приоритетов рисков и позволили выработать эффективный план мероприятий по снижению влияния наиболее опасных угроз на инвестиционно-строительный проект.*

**Ключевые слова:** риск, нечеткое множество, терм-множество, нечеткая продукционная модель, лингвистическая переменная, база правил, функция принадлежности, система поддержки принятия решений.

**Цитирование:** Глушенко С.А., Долженко А.И. Система нечеткого моделирования рисков инвестиционно-строительных проектов // Бизнес-информатика. 2015. № 2 (32). С. 48–58.

## 1. Введение

Строительство является одной из ведущих отраслей экономики страны. Она связана с удовлетворением важнейших потребностей населения и сосредоточила значительные материальные, людские и финансовые ресурсы. Поэтому финансирование строительства занимает одно из ведущих мест в инвестиционной политике различных коммерческих организаций. Рынок недвижимости является наиболее доходным, а инвестиции в объекты недвижимости – одними из самых надежных и эффективных. Основными направлениями капиталовложений в этой области являются строительство офисных и торговых зданий, жилых комплексов, гостиниц, выставочных центров и складских помещений. Каждое из направлений имеет свою специфику, отличается масштабом и сроками реализации, а также объемом необходимых финансовых ресурсов [1].

Анализ инвестиционно-строительных проектов (ИСП) показал, что принятие управленческих решений в процессе проектирования и реализации строительных объектов (СО) происходит в условиях неопределенности, которая проявляется в виде неполноты или неточности информации о реализации процесса строительства. Неопределенность сопутствует всем этапам жизненного цикла ИСП и определяется следующими факторами:

- ◆ невозможность точно и в полной мере определить цели и сформулировать требования к проекту;
- ◆ трудность выбора архитектуры проекта и ее структуры в целом;
- ◆ неполное знание всех параметров, обстоятельств и ситуаций для выбора оптимальных решений при проектировании технологии реализации.

Повышение качества принимаемых решений в указанных условиях может быть достигнуто посредством применения моделей, учитывающих имеющиеся неопределенности.

Неопределенность является причиной возникновения неблагоприятных ситуаций, характеризующихся риском. В работе [2] риск определяется как воздействие, которое может привести к потерям или иному ущербу.

При принятии стратегических решений в процессе анализа проектных рисков применяется общеизвестный принцип лингвистического подхода, в котором оценка проводится при помощи терминов «низкий риск», «допустимый риск» и «высо-

кий риск». Однако лицу, принимающему решение (руководителю или менеджеру проекта), сложно придать им точную (объективную) количественную оценку и описать с помощью математического языка. Это влияет на качество принимаемых решений, повышение которого может быть достигнуто посредством применения методов и моделей, учитывающих имеющиеся неопределенности [3]. Зачастую учет и анализ неопределенностей и рисков проектов производится аналитическими и экспертными методами. Однако аналитические методы требуют наличия большого объема статистических данных и ориентированы, как правило, на количественные показатели, а экспертные методы затруднительно применять при оперативной оценке неопределенностей и рисков, поскольку они требуют наличия специалистов высокой квалификации и больших временных затрат.

Применение методов и моделей, основанных на нечетких знаниях, лишены упомянутых недостатков. Они позволяют ЛПР использовать для оценки риска как количественные характеристики, которым объективно свойственна неопределенность, так и качественные, субъективные оценки экспертов, выраженные нечеткими понятиями, а также формализовать нечеткие описания с помощью нечетких чисел, множеств, лингвистических переменных и нечетких свидетельств [4, 5].

## 2. Нечеткая продукционная модель оценки риска

Для моделирования рисков инвестиционно-строительных проектов нечеткие модели представляются в виде нечетких продукционных сетей (НПС), элементы и совокупности элементов которых реализуют различные компоненты нечетких моделей и этапы нечеткого вывода [6]. Для построения НПС оценки риска ИСП необходимо определить полное пространство предпосылок  $X = \{x_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$  – факторов, являющихся источниками риска, и полное пространство заключений  $Y = \{y_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$  – показателей риска различных областей проекта.

Анализ проектов СО с привлечением экспертов – ведущих специалистов консалтинговых организаций данной предметной области, позволил выявить факторы, которые могут быть источниками риска ИСП (табл. 1). При задании лингвистических переменных, характеризующих факторы риска, могут использоваться следующие терм-множества, определяющие уровни факторов [7]:

Таблица 1.

**Факторы риска инвестиционно-строительных проектов (фрагмент)**

Обозначение	Наименование лингвистической переменной	Вид терм-множества и интерпретация уровней факторов
$X_1$	Цель проекта	$T_3$ . $H$ – недостаточно соответствует целям организации; $C$ – соответствует целям с определенными ограничениями; $B$ – полностью соответствует.
$X_2$	Границы проекта	$T_3$ . $H$ – определяют минимальную функциональность; $C$ – соответствуют требуемой функциональности; $B$ – имеют избыточную или неточно определенную функциональность.
...	...	...
$X_{13}$	Строительная площадка	$T_3$ . $H$ – недостаточно ориентирована на решение задач проекта; $C$ – хорошо ориентирована на решение задач проекта; $B$ – хорошо ориентирована на решение задач проекта, имеет большой потенциал развития проекта.
$X_{14}$	Техническое оснащение	$T_3$ . $H$ – удовлетворительное для реализации начальных задач, требует обновления; $C$ – достаточное для реализации основных задач, имеет минимальный потенциал для развития проекта; $B$ – полностью соответствует задачам проекта, имеет потенциал развития.
...	...	...
$X_{19}$	Менеджмент проекта	$T_3$ . $H$ – слабое планирование или отсутствие планирования и мониторинга; $C$ – планирование и мониторинг по совершенствованию заданий; $B$ – планирование системы и мониторинг процессов проводится своевременно.

Таблица 2.

**Показатели риска инвестиционно-строительных проектов (фрагмент)**

Обозначение	Наименование лингвистической переменной	Примечание
$Y_1$	Достижение цели проекта	Риск проявляется в том случае, если цели инвестиционно-строительного проекта не могут быть реализованы застройщиком.
$Y_2$	Сложность	Риск проявляется тогда, когда из-за размера проекта трудно детально проанализировать каждый этап работ, обеспечить взаимодействие участников и организацию работ.
$Y_3$	Компетентность заказчика в сфере строительства	Риск проявляется при согласовании с заказчиком большинства проектных документов, внесении изменений в объект строительства.
$Y_4$	Компетентность застройщика	Риск проявляется, когда в команде застройщика отсутствуют или недоступны специалисты, обладающие необходимой компетенцией.
$Y_5$	Новые технологии	Риск проявляется, когда в проекте необходимо использовать новые средства и технологии строительства, использовать современную специальную технику.
$Y_6$	Архитектурный	Риск проявляется, когда архитектура не обеспечивает устойчивость проектных решений, которая проявляется в приспособленности к возможным изменениям требований.
$Y_7$	Технический	Риск проявляется, когда трудно реализовать требования к проекту.

- $T_2 = \{\text{Низкий (H), Высокий (B)}\}$ ;
- $T_3 = \{\text{Низкий (H), Средний (C), Высокий (B)}\}$ ;
- $T_4 = \{\text{Очень Низкий (OчH), Низкий (H), Средний (C), Высокий (B)}\}$ ;
- $T_5 = \{\text{Очень Низкий (OчH), Низкий (H), Средний (C), Высокий (B), Очень Высокий (OчB)}\}$ .

В процессе анализа факторов риска выявлены показатели, которые могут характеризовать риски ИСП (табл. 2). При задании лингвистических переменных, характеризующих показатели риска, используются следующие терм-множества, определяющие показатели риска:

- $T_1 = \{\text{Низкая очевидность риска (НОР), Средняя очевидность риска (СОР), Высокая очевидность риска (ВОР)}\}$ ;
- $T_2 = \{\text{Очень низкая очевидность риска (ОНОР) Низ-$

$\text{кая очевидность риска (НОР); Средняя очевидность риска (СОР); Высокая очевидность риска (ВОР), Очень высокая очевидность риска (ОВОР)}\}$ .

Взаимосвязь между факторами (антецедентом) и показателями риска (консеквентом) представляет собой бинарное нечеткое отношение на декартовом произведении соответствующих нечетких множеств. Нечеткое причинно-следственное отношение между антецедентом и консеквентом задается в виде нечеткой продукции [4]. Процесс формирования базы нечетких продукционных правил (НПП) представляет собой формальное представление эмпирических знаний эксперта в исследуемой проблемной области по схеме «если ..., то ...». НПП модели оценки рисков инвестиционно-строительных проектов приведены в табл. 3.

Таблица 3.

**Нечеткие продукционные правила модели (фрагмент)**

Обозначение правила	Антецедент	Консеквент
<b>База правил П1</b>		
П1.1	$x_1 = H \wedge (x_2 = B \vee x_2 = C)$	$y_1 = \text{Очень ВОР}$
П1.2	$x_1 = H \wedge x_2 = H$	$y_1 = \text{ВОР}$
П1.3	$x_1 = C \wedge x_2 = H$	$y_1 = \text{СОР}$
П1.4	$x_1 = B \wedge (x_2 = B \vee x_2 = C)$	$y_1 = \text{НОР}$
П1.5	$x_1 = B \wedge x_2 = H$	$y_1 = \text{Очень НОР}$
<b>База правил П2</b>		
П2.1	$x_4 = H \wedge (x_3 = B \vee x_3 = OB)$	$y_2 = \text{Очень НОР}$
П2.2	$x_4 = H \wedge x_3 = C$	$y_2 = \text{НОР}$
П2.3	$x_4 = C \wedge x_3 = \neg OH$	$y_2 = \text{СОР}$
П2.4	$x_4 = B \wedge (x_3 = B \vee x_3 = OB)$	$y_2 = \text{ВОР}$
П2.5	$x_4 = B \wedge \neg (x_3 = B \vee x_3 = OB)$	$y_2 = \text{Очень ВОР}$
<b>База правил П3</b>		
П3.1	$(x_5 = OH \wedge x_5 = H) \wedge x_6 = H$	$y_3 = \text{Очень ВОР}$
П3.2	$(x_5 = H \wedge x_5 = C) \wedge x_6 = C$	$y_3 = \text{ВОР}$
П3.3	$x_5 = C \wedge (x_6 = C \vee x_6 = B)$	$y_3 = \text{СОР}$
П3.4	$x_5 = B \wedge x_6 = B$	$y_3 = \text{НОР}$
П3.5	$x_5 = CB \wedge x_6 = B$	$y_3 = \text{Очень НОР}$

Нечеткая продукционная модель позволяет снять ограничения на число учитываемых входных переменных и интегрировать как качественные, так и количественные подходы к оценке рисков. В НПМ определены 19 входных лингвистических переменных, характеризующих факторы риска, 14 выходных лингвистических переменных, характеризующих риски различных областей ИСП. Модель содержит 14 баз правил и позволяет проводить лингвистический анализ рисков, которые несут потенциальный ущерб проекту, а также выявить приоритеты рисков (очень высокий, высокий, средний, низкий, очень низкий), которые важны для менеджмента инвестиционно-строительного проекта.

**3. Построение НПМ оценки риска**

Автоматизация процесса анализа рисков посредством применения систем поддержки принятия решений (СППР) повышает эффективность работы лица, принимающего решение. Однако существующие программные пакеты анализа и оценки рисков не обладают возможностями использования нечетких продукционных сетей, либо в них отсутствуют функции интегрального анализа как качественных,

так и количественных факторов риска [8].

В [9] проведен обзор известных программных пакетов (ПП) для нечеткого моделирования, таких как пакет *CubiCalc* фирмы Hyper Logic, *FuzzyTECH* фирмы Inform Software, пакет *JFS, FIDE* фирмы Ar-tronix, пакет расширения *Fuzzy Logic Toolbox* для программного средства MatLab.

Обзор показал, что большинство из указанных ПП ориентированы на построение экспертных систем на основе нечеткой логики, однако, наибольшей универсальностью обладают *FuzzyTECH* и расширение *Fuzzy Logic Toolbox*. Программное средство MatLab наиболее популярно в СНГ, в связи с чем оно имеет достаточное количество информационных источников по его применению на русском языке.

К недостаткам перечисленных программных пакетов следует отнести их стоимость, которая начинается от 2,5 тыс. долларов в стандартной поставке.

В работах [7, 10] описывается процесс построения экспертной системы оценки рисков на основе нечеткой логики в пакете *Fuzzy Logic Toolbox* и проводится реализация нечеткого вывода на основе алгоритма Мамдани (*Mamdani*) [11].

Использованный пакет показал себя достаточно универсальным, однако для реализации разработанной нечеткой продукционной сети, ориентированной на оценку рисков, не обеспечивает требуемой функциональности, так как не позволяет строить многоуровневые модели.

Таким образом, вышеприведенные ограничения программных пакетов побудили выполнить собственную разработку системы поддержки принятия решений анализа рисков на базе нечетких продукционных сетей, которая позволит получить как качественные, так и количественные оценки.

Для реализации процесса нечеткого моделирования рисков инвестиционно-строительных проектов посредством разработанной СППР *ModelingFuzzySet* [12], выполненной в среде *Microsoft.Net* на языке *C#*, лицу, принимающему решение, необходимо выполнить следующие действия:

*Шаг 1.* Сформировать нечеткую продукционную модель оценки рисков проектов строительных объектов с помощью дизайнера модели (*рис. 1*).

Формирование модели предполагает задание лингвистических переменных (ЛПхх), формализующих факторы и показатели рисков инвестиционно-строительных проектов, а также базы нечетких продукционных правил (БПхх). ЛПР может использовать предложенную нечеткую продукци-

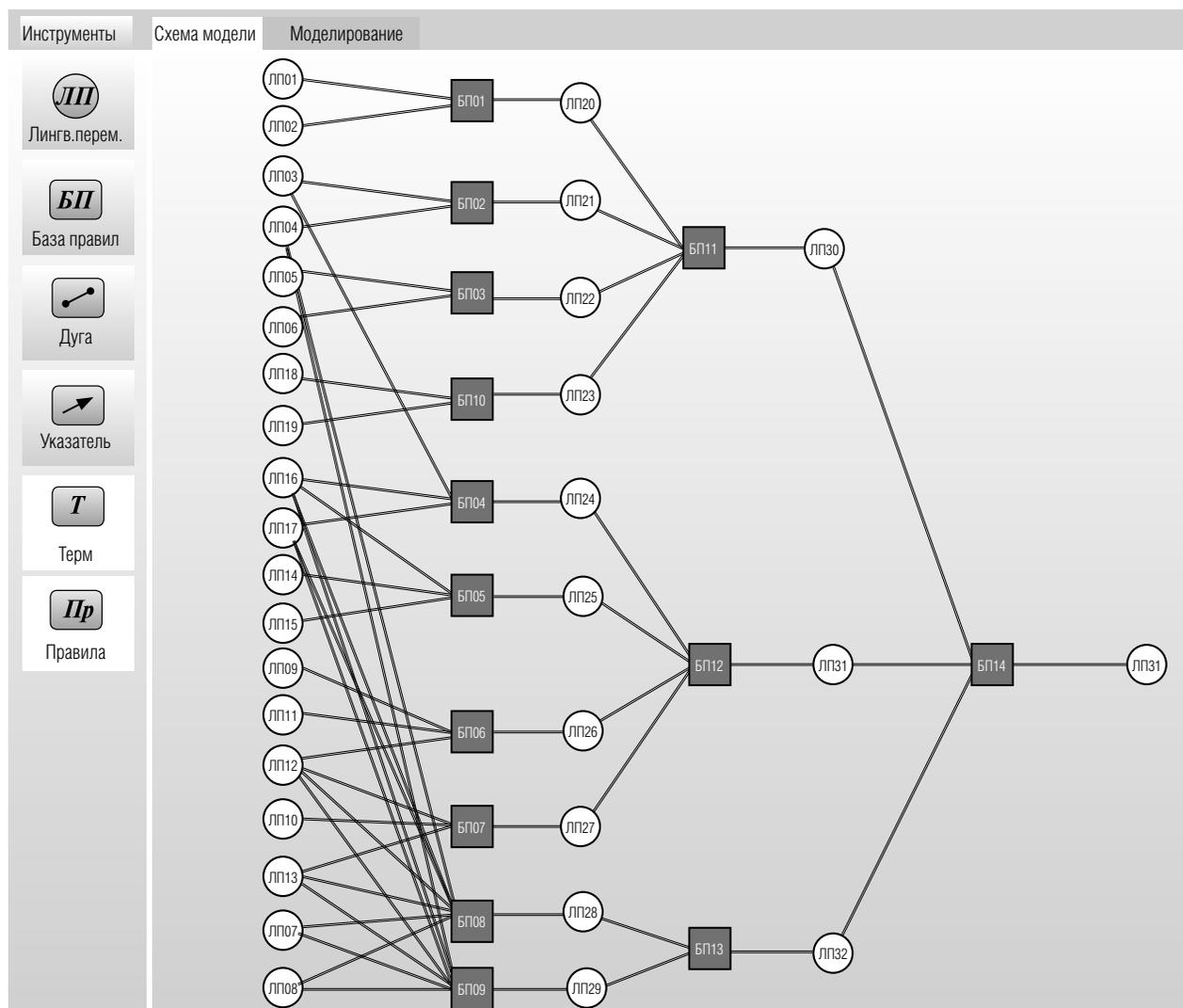


Рис. 1. Нечеткая продукционная модель оценки рисков ИСП

онную модель, либо произвести модификацию модели, определяя факторы и показатели риска, актуальные для конкретного проекта, а также изменить правила нечеткого вывода.

**Шаг 2. Фазификация** – введение нечеткости. На этом шаге необходимо задать функции принадлежности для терм-множеств входных и выходных лингвистических переменных [5]. Программное средство *ModelingFuzzySet* обеспечивает формирование функций принадлежности терм-множеств различных видов: треугольные, трапециевидные, Z-, S- и П-образные.

В общем случае методы построения функций принадлежности определяются следующими факторам:

- ◆ предполагаемый вид области определения нечеткого множества (дискретная, непрерывная, нечисловая);
- ◆ применяемый способ экспертного опроса (индивидуальный, групповой);
- ◆ тип используемой экспертной информации (порядковая, кардинальная);
- ◆ интерпретация данных экспертного опроса (вероятностная, детерминированная).

На начальных этапах исследования инвестиционно-строительных проектов вполне допустимо использовать типовые (L-R)-функции<sup>1</sup> треугольного и трапецеидального типов, определенные на 01-носителе<sup>2</sup>, в дальнейшем их можно уточнять в

<sup>1</sup> Нечеткие числа (L-R)-типа – это разновидность нечетких чисел специального вида, т.е. задаваемых по определенным правилам с целью снижения объема вычислений при операциях над ними.

<sup>2</sup> 01-носитель – отрезок единичной длины.

процессе набора статистических данных по объектам и процессам предметной области.

Например, графики функций принадлежности входной переменной ЛПО1 – «Цель проекта», терм-множество которой состоит из трех термов  $T=\{\text{Низкий (H)}, \text{Средний (C)}, \text{Высокий (B)}\}$  и характеризует низкий, средний и высокий уровень соответствия цели ИСП целям или задачам организации. Функции принадлежности для переменной ЛПО1 являются трапецевидными и имеют следующий вид:

$$\mu_a^H(x; 0; 0; 0,15; 0,4), \mu_a^C(x; 0,3; 0,45; 0,55; 0,7), \mu_a^B(x; 0,6; 0,85; 1,0; 1,0).$$

**Шаг 3.** Задание нечетких правил. Правила модели формируются на основе общих закономерностей поведения исследуемой системы и позволяют «вложить» в механизм вывода логическую модель прикладного уровня. В табл. 4 приведен пример модифицированной базы правил БП1 из табл. 3.

Таблица 4.

База правил БП01

№ правила	ЛПО1	ЛПО2	ЛПО0
1	Низкий	Низкий	Высокий
2	Средний	Низкий	Средний
...	...	...	...
8	Средний	Высокий	Средний
9	Высокий	Высокий	Низкий

Также в процессе формирования нечетких правил модели ЛПП задает степень влияния показателя риска на ИСП (табл. 5), который используется для оценки возможного ущерба при возникновении данного рисковог о события, например, ранг выходной лингвистической переменной ЛПО20 – 4.

Таблица 5.

Степень влияния показателя риска на проект

Ранг показателя риска	Описание
1	Незначительное влияние на проект
2	Заметное влияние на проект
3	Большое влияние на проект
4	Критическое влияние на проект
5	Катастрофическое влияние на проект

**Шаг 4.** Дефаззификация – преобразование нечеткого множества в четкое число. Существует несколько классических алгоритмов нечеткого вывода, таких как Мамдани, Сугено и Цукамото. В

описываемом исследовании реализация нечеткого вывода осуществляется на основе алгоритма Мамдани (Mamdani) [13]. Данный алгоритм в общем виде использует схему «два входа – база правил – один выход» и достаточно легко может быть модифицирован для схемы с многими входами. Результаты, полученные на этапе дефаззификации, имеют вид нечеткого множества, что характерно для разработанной нечеткой продукционной сети оценки проектных рисков. Алгоритмы Сугено и Цукамото предполагают формирование четкого значения для выходной переменной, что не согласуется с моделью в данном исследовании.

Для преобразования дискретного множества значений функций принадлежности в четкое число применяется метод центра тяжести:

$$y' = \frac{\sum_{r=1}^{Y_{max}} y_r \mu_{B'}(y_r)}{\sum_{r=1}^{Y_{max}} \mu_{B'}(y_r)} \quad (1)$$

где  $Y_{max}$  – число элементов  $y_r$  в дискретизированной для вычисления «центра тяжести» области  $Y$ ;  $B'$  – нечеткое множество, определенное на  $Y$ ;  $\mu_{B'}(y_r) \in [0,1]$  – функция принадлежности нечеткого множества  $B'$ .

Реализуя систему нечеткого вывода на этапе дефаззификации посредством системы поддержки принятия решений управления рисками проектов *ModelingFuzzySet*, получим качественную (Низкий риск) и количественную (13,5) оценку показателя риска, а также степень уверенности (0,65) в полученной оценке.

Полученные данные могут быть использованы ЛПП для определения возможного ущерба от возникновения рисковог о события, а также влияния данного события на сроки, функциональность и качество инвестиционно-строительного проекта.

#### 4. Использование модели оценки рисков ИСП

Апробация нечеткой продукционной модели оценки рисков происходила при реализации одного из субпроектов в процессе строительства мультимодального транспортно-логистического узла «Ростовский универсальный порт» ОАО «Азово-Донское пароходство». На этапе идентификации рисков проектной командой были определены уровни факторов риска, характерные для данного инвестиционно-строительного проекта (табл. 6).

Таблица 6.

**Идентифицированные факторы риска ИСП (фрагмент)**

Обозначение	Описание фактора риска	Степень уверенности
$X_1$	Цель проекта полностью соответствует целям организации	0,8
$X_2$	Границы проекта соответствуют требуемой функциональности проекта	0,9
...	...	...
$X_{14}$	Техническое оснащение удовлетворительное, для реализации начальных задач и требует обновления	0,9
$X_{15}$	Сырьевое обеспечение низкое	0,8
$X_{16}$	Квалификация команды застройщика соответствует требованиям проекта с определенными ограничениями	0,8
$X_{17}$	В составе команды застройщика имеется дефицит специалистов по некоторым областям проекта	1,0
$X_{18}$	Менеджер проекта имеет ограниченный опыт работы с проектами данного типа	0,9
$X_{19}$	Руководство проекта проводит планирование и мониторинг по совершенствованию технических заданий	0,8

Полученная информация была использована в качестве входных данных для нечеткой продукционной модели интегральной оценки риска инвестиционно-строительного проекта, для вычисления которой необходимо провести моделирование всех выходных лингвистических переменных

первого уровня (ЛП20–ЛП29). Затем программой рассчитывается значение каждой выходной лингвистической переменной второго уровня (ЛП30–ЛП32), с использованием полученных ранее оценок в качестве входных данных, после чего программа определяет интегральную оценку риска ИСП. Полученные результаты представлены в табл. 7.

Используя результаты моделирования, ЛПП может определить сумму возможного ущерба от возникновения конкретного рисковог события по табл. 8.

Таблица 8.

**Шкала возможного ущерба при возникновении риска**

Ранг показателя риска	Значение показателя риска				
	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
1	\$500	\$1 тыс.	\$1,5 тыс.	\$2 тыс.	\$3 тыс.
2	\$5 тыс.	\$10 тыс.	\$15 тыс.	\$20 тыс.	\$30 тыс.
3	\$50 тыс.	\$100 тыс.	\$150 тыс.	\$200 тыс.	\$300 тыс.
4	\$500 тыс.	\$1 млн.	\$1,5 млн.	\$2 млн.	\$3 млн.
5	\$5 млн.	\$10 млн.	\$15 млн.	\$20 млн.	\$30 млн.

Также определить влияние данного события на сроки, функциональность и качество инвестиционно-строительного проекта по табл. 9. Под качеством понимается совокупность свойств, которая обуславливает пригодность проектного продукта удовлетворять потребности конечного потребителя.

Таблица 7.

**Результаты моделирования показателей риска ИСП**

Обозначение	Наименование лингвистической переменной	Ранг	Значение термина	Значение показателя риска	Степень уверенности
$Y_1$	Достижение цели проекта	4	НОР	13,5	0,79
$Y_2$	Сложность	3	СОР	50	0,7
$Y_3$	Компетентность заказчика в сфере строительства	2	НОР	19,5	0,8
$Y_4$	Компетентность застройщика	4	СОР	50	0,7
$Y_5$	Новые технологии	3	ВОР	83	0,7
$Y_6$	Архитектурный	3	НОР	21	0,6
$Y_7$	Технический	3	СОР	50	0,7
$Y_8$	Производительность труда	3	СОР	50	0,75
$Y_9$	Безопасность	3	СОР	50	0,68
$Y_{10}$	Управленческий	3	СОР	50	0,8
$Y_{11}$	Организационная стабильность	3	НОР	30	0,7
$Y_{12}$	Функциональный	4	ВОР	70	0,7
$Y_{13}$	Нефункциональный	3	СОР	50	0,7
$Y_{14}$	Риск проекта	5	СОР	50	0,7

Таблица 9.

**Шкала влияния риска на проект**

Проект	Значение показателя риска				
	0–20	21–40	41–60	61–80	81–100
Сроки	Незначительное увеличение времени (< 5 %)	Увеличение времени на 5-10%	Увеличение времени на 10-20%	Увеличение времени на 20-30%	Серьезное увеличение времени (< 30 %)
Функциональность	Незначительное уменьшение функциональности проектного продукта	Затронута функциональность во второстепенных областях проекта	Затронута функциональность в основных областях проекта	Уменьшение функциональности проекта на неприемлемом уровне для заказчика	Реализуемый проектный продукт практически бесполезен
Качество	Незначительное уменьшение качества проектного продукта	Снижение качества во второстепенных областях проекта	Снижение качества в основных областях проекта	Неприемлемое для заказчика понижение качества проектного продукта	Реализуемый проектный продукт практически бесполезен

Таким образом, интегральная оценка риска проекта показывает, что возможный ущерб организации застройщика может составить около \$15 млн., срок реализации проекта может увеличиться на 20%, а также может быть затронута функциональность и снижение качества в основных областях проекта.

Полученная информация была передана стейкхолдерам – представителям заказчика проекта, разработчика проекта, лизинговой компании и поставщика сырья.

По результатам совещания была определена слабая сторона ИСП – функциональность проекта, причиной которой стала ограниченность застройщика в техническом оснащении и сырьевом обеспечении для технологии реализации проекта. В связи с этим лицами, принимающими решения, было решено:

- ◆ арендовать дополнительную более мощную строительную технику;
- ◆ сменить поставщика сырья и закупить крупную партию строительных материалов;
- ◆ привлечь недостающих сотрудников в отдельные области проекта;

◆ провести переобучение собственного персонала за счет резервных средств, заложенных в план управления проектом.

После этого командой проекта был проведен повторный анализ уровней факторов риска. Результаты изменений *табл. 6* приведены в *табл. 10*.

Полученная информация была использована в нечеткой продукционной модели для повторного определения интегральной оценки риска инвестиционно-строительного проекта. Результаты изменений *табл. 7* приведены в *табл. 11*.

Таблица 10.

**Изменившиеся факторы риска ИСП**

Обозначение	Описание фактора риска	Степень уверенности
$X_{14}$	Техническое оснащение полностью соответствует задачам проекта	0,9
$X_{15}$	Полное обеспечение строительными материалами	0,8
$X_{16}$	Квалификация команды застройщика полностью соответствует требованиям проекта	0,8
$X_{17}$	Команда застройщика полностью укомплектована и мобильна	1,0

Таблица 11.

**Результаты повторного моделирования показателей риска ИСП**

Обозначение	Наименование лингвистической переменной	Ранг	Значение терма	Значение показателя риска	Степень уверенности
$Y_4$	Компетентность застройщика	4	НОР	15	0,7
$Y_5$	Новые технологии	3	НОР	21	0,7
$Y_{12}$	Функциональный	4	НОР	23	0,7
$Y_{14}$	Риск проекта	5	НОР	30	0,7

Таким образом, анализ показывает, что уровень риска проекта позволяет реализовать ИСП в нормальном режиме, но имеются предпосылки увеличения срока реализации проекта на 5–10%, а также изменений функциональности и снижения качества во второстепенных областях проекта. Поэтому необходимо проводить мониторинг и контроль уровней риска и в случае необходимости разработать и применить план по снижению или передаче риска, иначе ущерб организации застройщика может составить около \$10 млн.

Графический результат моделирования интегральной оценки риска ИСП приведен на рис. 2.

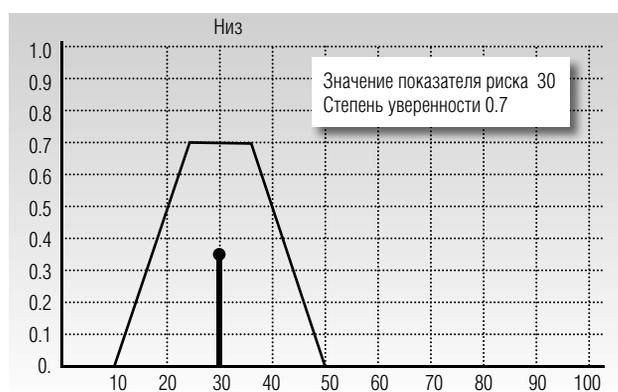


Рис. 2. Результат нечеткого моделирования интегральной ЛПЗ3

### 5. Заключение

Использование разработанной нечеткой продукционной модели и системы поддержки принятия решений при анализе риска инвестиционно-строительного проекта показало, что НПМ и СППР могут достаточно эффективно применяться для данной предметной области.

Нечеткая продукционная модель позволяет снять ограничения на число учитываемых входных переменных и интегрировать как качественные, так и количественные подходы к оценке рисков. В ней определены 19 входных лингвистических переменных, характеризующих факторы риска, 14 выходных лингвистических переменных, характеризующих показатели риска различных областей ИСП. Модель содержит 14 баз правил и позволяет проводить лингвистический анализ рисков, которые несут потенциальные угрозы и ущерб строительной организации.

Система поддержки принятия решений позволяет строить многоуровневые нечеткие продукционные модели, а используемый механизм нечеткого вывода на основе алгоритма Мамдани (*Mamdani*) позволяет получить числовое значение риска, лингвистическое описание уровня риска, а также степень уверенности эксперта в возникновении неблагоприятного события. Полученная информация позволит лицу, принимающему решение, выявить приоритеты рисков (очень высокий, высокий, средний, низкий, очень низкий) и выработать план мероприятий по снижению влияния наиболее опасных угроз для проекта.

Механизм анализа риска на основе нечеткой логики обладает широкими возможностями и позволяет адаптировать его к имеющимся моделям управления рисками, а также модифицировать с учетом реальных условий реализации инвестиционно-строительного проекта.

Недостатками данного подхода являются субъективность в выборе функций принадлежности и формировании правил нечеткого ввода, а также необходимость специального программного обеспечения и специалистов, умеющих с ним работать. ■

### Литература

1. Глушенко С.А. Нечеткая модель и инструментарий управления рисками инвестиционно-строительных проектов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Выпуск 3. СПб: Университет ИТМО, 2014. С. 172–174.
2. Симонов С.В. Анализ рисков, управление рисками // Информационный бюллетень «Jet Info». 1999. № 1 (68). С. 2–28.
3. Горшков А.С., Мясников А.В., Хованов Н.В. Прогнозирование эволюции сложных систем в условиях неопределенности // Материалы 6-й Международной конференции «Анализ, прогнозирование и управление в сложных системах». СПб. 2005. Т. 2. С. 168–174.
4. Борисов В.В., Круглов А.С., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. 2-е изд., стереотип. М.: Горячая линия-Телеком, 2012. 284 с.
5. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 168 с.

6. Долженко А.И. Нечеткие модели – эффективный инструмент для анализа потребительского качества информационных систем. Ростов н/Д: РГЭУ «РИНХ», 2008. 220 с.
7. Долженко А.И. Модель анализа риска потребительского качества проектов экономических информационных систем // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2009. № 1 (18). С. 129–134.
8. Глушенко С.А. Анализ функциональной полноты программных систем управления рисками // Вестник РГЭУ (РИНХ). 2012. № 38. С. 53–62.
9. Атанов С.К. Программные средства реализации адаптивных моделей с нечеткой логикой // Вестник науки КазАТУ им. С.Сейфуллина. 2009. № 2. С. 27–31.
10. Глушенко С.А. Применение системы MATLAB для оценки рисков информационной безопасности организации // Бизнес-информатика. 2013. № 4 (24). С. 35–42.
11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
12. Долженко А.И., Глушенко С.А., Калугян К.Х., Лозина Е.Н., Чередниченко А.С. Система моделирования производственной нечеткой сети (ПРОНЕС) // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010612952. М., 25.05.2010.
13. Анисимова Г.Б., Долженко А.И. Система оценки риска потребительского качества проектов информационных систем // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. 2010. №1 (38). С. 179–191.

## FUZZY MODELING OF RISKS IN INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECTS

**Sergey A. GLUSHENKO**

*Post-graduate Student, Department of Information Systems and Applied Computer Science,  
Faculty of Computer Technologies and Information Security, Rostov State Economic University (RINE)  
Address: 69, Bolshaya Sadovaya street, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation  
E-mail: gs-gears@yandex.ru*

**Alexey I. DOLJENKO**

*Professor, Department of Information Systems and Applied Computer Science,  
Faculty of Computer Technologies and Information Security, Rostov State Economic University (RINE)  
Address: 69, Bolshaya Sadovaya street, Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation  
E-mail: doljenkoalex@gmail.com*

*This paper substantiates the importance of risk analysis in implementation of an investment and construction project (ICP) and validates feasibility of fuzzy logic in risk assessment. Application of fuzzy models enables to consider both quantitative and qualitative characteristics, as well as to represent fuzzy descriptions by using fuzzy sets and linguistic variables.*

*A fuzzy production model (FPM) introduced contains 19 input linguistic variables characterizing risk factors, 14 output linguistic variables characterizing risks in different areas of the ICP. The model builds on a set of 14 rules and allows a linguistic analysis of risks, which may cause potential detriment to a project, as well as to identify risk priorities (extremely high, high, medium, low, extremely low) that are essential for investment & construction project management. The FPM enables to remove restrictions on the number of considered input variables and to integrate both qualitative and quantitative approaches to risk assessment.*

A problem statement is formulated for risk management tools to support fuzzy models and expediency of a proprietary decision support system (DSS) for risk analysis is justified. Then this paper describes a process of fuzzy modeling of the set of rules by using ModelingFuzzySet DSS that has been developed. Mamdani algorithm-based risk assessment mechanism enables to quantify risk, to obtain a linguistic description of a risk and expert's degree of confidence relating to risk occurrence.

The simulation results have been used by decision-makers to identify risk priorities and allowed to develop an effective action plan to mitigate the impact of the most dangerous threats faced by an investment & construction project.

**Key words:** risk, fuzzy set, term set, fuzzy production model, linguistic variable, set of rules, membership function, decision support system.

**Citation:** Glushenko S.A., Doljenko A.I. (2015) Sistema nechetkogo modelirovaniya riskov investicionno-stroitel'nyh proektov [Fuzzy modeling of risks in investment and construction projects]. *Business Informatics*, no. 2 (32), pp. 48–58 (in Russian).

#### References

1. Glushenko S.A. (2014) Nechetkaja model' i instrumentarij upravljenija riskami investicionno-stroitel'nyh proektov [Fuzzy model and tools for risk management in investment and construction projects]. Proceedings of the *Congress of Young Researchers*, vol. 3, St. Petersburg, ITMO University, pp. 172–174. (in Russian)
2. Simonov S.V. (1999) Analiz riskov, upravlenie riskami [Risk analysis, risk management]. *Jet Info Information Bulletin*, no. 1 (68), pp. 2–28. (in Russian)
3. Gorshkov A.S., Myasnikov A.V., Khovanov N.V. (2005) Prognozirovanie jevoljucii slozhnyh sistem v uslovijah neopredelennosti [Forecasting of complex systems evolution in the conditions of uncertainty]. Proceedings of the *6th International Conference «Analysis, Management and Forecasting in Complex Systems»*, St. Petersburg, vol. 2, pp. 168–174. (in Russian)
4. Borisov V.V., Kruglov A.S., Fedulov A.S. (2012) *Nechetkie modeli i seti* [Fuzzy models and networks]. Moscow: Hotline-Telecom (in Russian)
5. Zade L.A. (1976) *Ponjatije lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinjatiju priblizhennyh reshenij* [A concept of linguistic variable and its application for fuzzy decision making]. Moscow: Mir. (in Russian)
6. Dolzhenko A.I. (2008) *Nechetkie modeli – jeffektivnyj instrumentarij dlja analiza potrebitel'skogo kachestva informacionnyh sistem* [Fuzzy models as efficient tools for analysis of consumer quality of information systems]. Rostov-on-Don: RSEU «RINE». (in Russian)
7. Dolzhenko A.I. (2009) Model' analiza riska potrebitel'skogo kachestva proektov jekonomicheskikh informacionnyh sistem [A model for analysis of consumer quality risks of economic information systems]. *Herald of North-Caucasus Federal University*, no. 1 (18), pp. 129–134. (in Russian)
8. Glushenko S.A. (2012) Analiz funkcional'noj polnoty programmyh sistem upravljenija riskami [Analysis of functional completeness of risk management information systems]. *Herald of RSEU (RINE)*, no. 38, pp. 53–62. (in Russian)
9. Atanov S.K. (2009) Programmnye sredstva realizacii adaptivnyh modelej s nechetkoj logikoj [Software for adaptive models with fuzzy logic]. *Research Herald of S.Seifullin Kazakh Agro Technical University*, no. 2, pp. 27–31. (in Russian)
10. Glushenko S.A. (2013) Primenenie sistemy MATLAB dlja ocenki riskov informacionnoj bezopasnosti organizacii [Risk assessment information security systems organization with MATLAB system]. *Business Informatics*, no. 4 (24), pp. 35–42. (in Russian)
11. Leonenkov A.V. (2005) *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modelling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg: BVH-Petersburg. (in Russian)
12. Dolzhenko A.I., Glushenko S.A., Kalugyan K.H., Lozina E.N., Cherednichenko A.S. (2010) *Sistema modelirovaniya produkcionnoj nechetkoj seti (PRONES)* [Productive fuzzy net modelling system PRONES]. Certificate of software official registration, no. 2010612952. Moscow, 25 May 2010. (in Russian)
13. Anisimova G.B., Dolzhenko A.I. (2010) Sistema ocenki riska potrebitel'skogo kachestva proektov informacionnyh sistem [A system for evaluation of consumer quality risks of information systems projects]. *Herald of INZHECON. Series: Economics*, no. 1 (38), pp. 179–191. (in Russian)