

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛИЗМА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

М.Г. СЕМЕНЕНКО, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Экономико-математических методов и моделей», Всероссийский заочный финансово-экономический институт, филиал в г. Калуге  
*e-mail: msemenenko@mail.ru*

Т.В. ЛЕСИНА, аспирант, ст. преподаватель кафедры «Бухгалтерского учета и анализа хозяйственной деятельности», Всероссийский заочный финансово-экономический институт, филиал в г. Калуге  
*e-mail: jalesina@mail.ru*

### **Аннотация**

Инвестиции в автоматизированные информационные системы (АИС) составляют значительную часть вложенных средств. Многообразие видов и классов систем, основательно меняющих потребности в подходах к анализу их эффективности, многообразие форм предприятий, сфер и масштабов деятельности требует особых подходов к анализу, а его сложность и многоступенчатость определяет необходимость формирования качественно новых методических подходов.

В данной работе показаны перспективы применения для решения подобных задач систем нечеткой логики, в частности, пакета прикладных программ Fuzzy Logic вычислительной системы MATLAB.

Сделан вывод о том, что направления практической реализации анализа эффективности инвестиций в АИС соответствуют возможностям представленной методики. Выполнение анализа инвестиций в АИС должно носить циклический характер, т.к. обновление и/или внедрение новых АИС стали для предприятий закономерной необходимостью.

### **Ключевые слова:**

эффективность инвестиций, нечеткая логика, автоматизированные информационные системы

### **Введение**

В качестве стратегической линии развития экономики в нашей стране принята инновационная модель развития. Современная ситуация в России тесно связана с экономическим кризисом, риском и неопределенностью. В этот период необходимо осуществлять поиск новых подходов к увеличению

доходности от инвестиций. Организация управлением инвестициями позволит хозяйствующим субъектам занять достойное место в рыночной системе.

В современном мире деятельность предприятий осуществляется с использованием информационных технологий, которые все глубже проникают в структуру сегодняшнего бизнеса, все теснее интегрируются с производственными, учетными, аналитическими и управленческими процессами, все активнее используются функциональными подразделениями предприятий в их собственной деятельности, во взаимоотношениях с другими службами и окружающим миром.

Инвестиции в автоматизированные информационные системы (АИС) составляют значительные вложения средств. Хозяйствующие субъекты рассчитывают на сохранность вложенных средств и на получение экономических выгод. Целесообразное использование инвестиций, ограниченность финансовых ресурсов в условиях финансового кризиса ставят перед предприятиями вопрос выбора автоматизированной информационной системы, дающей наибольшие экономические выгоды.

Увеличение объемов инвестиций в автоматизированные информационные системы, многообразие видов и классов систем, основательно меняющих потребности в подходах к анализу их эффективности, многообразие форм предприятий, сфер деятельности, масштабов деятельности требует особых неоднозначных подходов к анализу, а его сложность и многоступенчатость определяет необходимость формирования качественно новых методических подходов.

Исследование методов экономической и финансовой оценки эффективности инвестиций в автоматизированные информационные системы представляет собой недостаточно изученную область экономических знаний. Это связано с тем, что невозможно заранее предусмотреть все последствия связанные с инвестициями в автоматизированные информационные системы, реализация которых чаще всего связана с риском и неопределенностью.

Известно, что значительная доля проектов в области инвестиций в информационные системы управления являются неудачными, поскольку не соответствуют целям, бюджету или срокам: в среднем в мире этот показатель превышает 50%, а в государственном секторе даже 70% [1]. Во многом такие проблемы связаны с недостаточно полным и качественным рассмотрением сопутствующих рисков. Поэтому на заключительном этапе анализа инвестиций необходимо определять уровни риска, соответствующие различным вариантам реализации проекта.

В настоящее время существуют различные подходы к оценке рисков. Особый интерес представляет теория нечеткой логики (Fuzzy Logic), определяющая современный подход к описанию бизнес-процессов, в которых присутствует неопределенность и неточность исходной информации [2 - 4]. Процесс принятия решений в этом случае имеет многоаспектный и чрезвычайно сложный характер и требует привлечения современных средств программного обеспечения (ПО). Применение современного ПО позволяет более точно по сравнению с другими методиками определить уровень риска и значительно

сокращает время на соответствующие расчеты. Одним из таких инструментов является система MATLAB, включающая пакет нечеткой логики (Fuzzy Logic Toolbox).

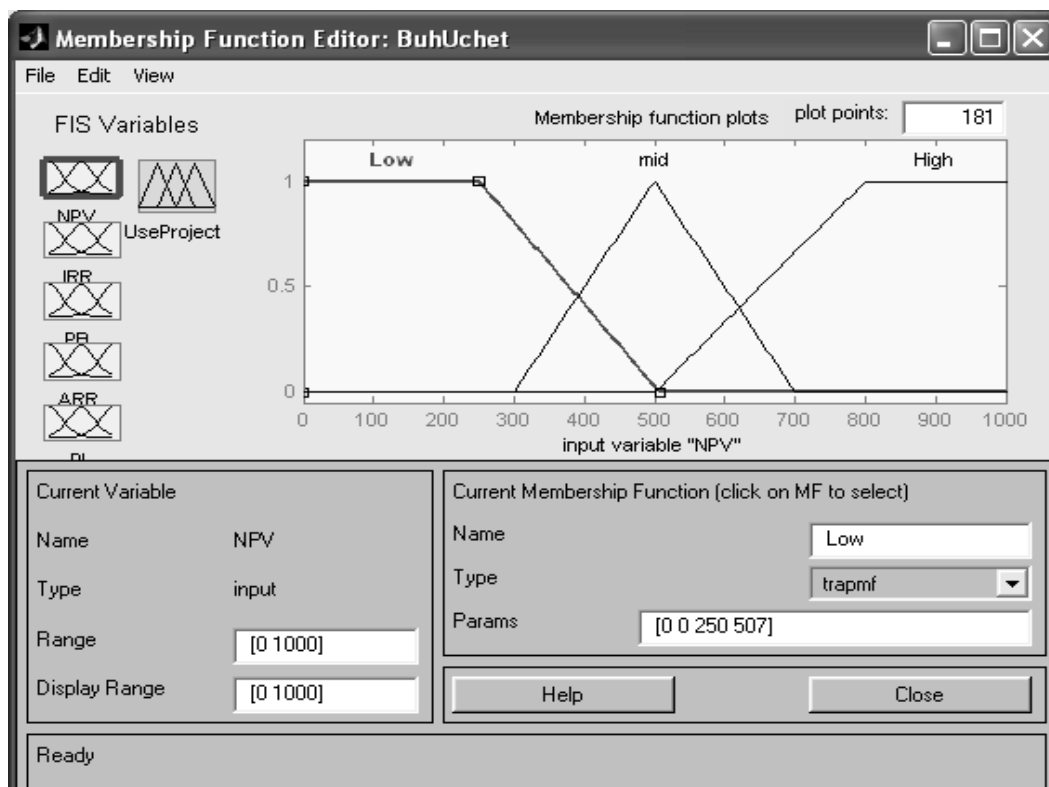
### **Характеристики нечетких множеств и функций принадлежности**

В основе формализма нечеткой логики лежат понятия нечетких множеств, нечетких высказываний и т.п. Для анализа нечетких высказываний разработана нечеткая логика, методы которой относятся к так называемым «мягким» вычислениям, основанным на вероятностном подходе. В нечеткой логике также введено понятие нечеткой функции и разработана концепция построения нечетких регрессионных моделей. В рамках такого подхода было введено понятие нечеткой лингвистической переменной, значения которой могут быть выражены в терминах типа «низкая», «умеренная», «большая», «очень высокая» и т.п. Множество значений нечеткой переменной образуют так называемое терм-множество. Например, переменная «Уровень менеджмента организации» может обладать терм-множеством значений {«Очень низкий», «Низкий», «Средний», «Высокий», «Очень высокий»}. Другим примером нечеткой лингвистической переменной может служить переменная «Уровень фактора» при осуществлении комплексной оценки риска банкротства предприятия, основанной только на качественных шкалах и отношениях предпочтения между факторами в структуре иерархии этих факторов.

Многочисленные приложения формализма нечеткой логики показали его эффективность при построении автоматических и автоматизированных систем управления объектами в условиях неопределенности (в частности, на фондовом рынке Токио используется несколько трейдерских систем, основанных на нечеткой логике, которые превосходят по скоростным и динамическим характеристикам традиционные информационные системы [5]). Примеры применения методов нечеткой логики к инвестиционному анализу можно найти в [6].

В случае четкой («обычной») логики и четких множеств, определенных на некотором универсальном множестве  $U$ , о каждом элементе универсального множества можно сказать, принадлежит ли он рассматриваемому четкому множеству  $X$ . Таким образом, можно определить функцию принадлежности множеству  $X$ , которая принимает значение 1, если элемент принадлежит множеству, и 0 - в противном случае. В случае нечеткой логики функция принадлежности принимает значения на отрезке  $[0; 1]$  и задает вероятность события, что элементы универсального множества принадлежат заданному нечеткому множеству  $A$ .

Основными видами функций принадлежности являются треугольные, трапециевидные, кусочно-линейные, гауссовы, сигмоидные и другие функции. Примеры треугольной и двух трапециевидных функций принадлежности приведены на рис.1.



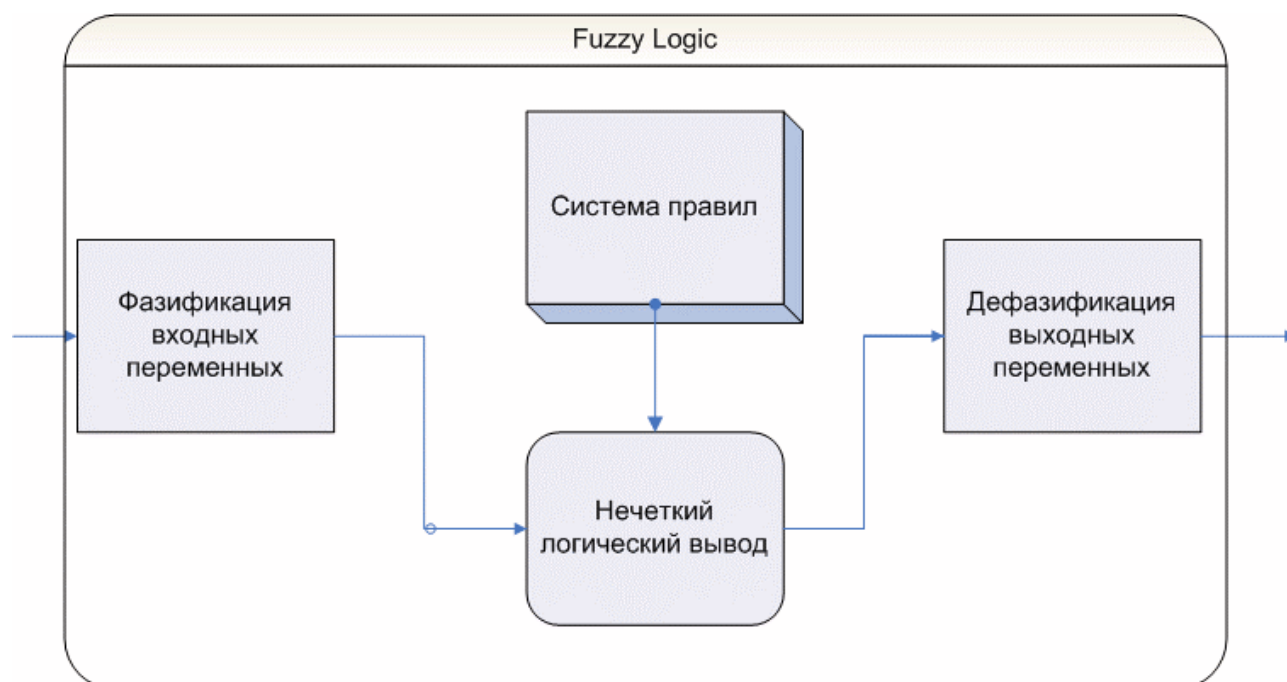
**Рис. 1.** Пример функций принадлежности

В нашей работе мы рассматривали следующие нечеткие переменные. В качестве входных переменных использовались чистая текущая стоимость (NPV), внутренняя норма рентабельности (IRR), срок окупаемости проекта (PB), учетная норма рентабельности (ARR), индекс рентабельности инвестиций (PI). Значение выходной переменной определяло вероятность принятия проекта. Так как все параметры обладают «размытостью», т.е. их точное планируемое значение неизвестно, в качестве исходных данных предлагается использовать треугольные нечеткие числа, в некоторых случаях трапециевидные функции.

Все переменные, кроме PB и ARR, характеризовались терм-множеством значений {«низкое» (low), «среднее» (mid) и «высокое» (high)}. Переменные PB и ARR описывались трапециевидной функцией принадлежности и для проектов со сроком окупаемости менее 5 лет или нормой рентабельности более 20% имели логическое значение «Да» (yes).

### **Алгоритм нечеткого вывода**

Говоря о нечеткой логике, чаще всего имеют в виду системы нечеткого вывода, которые лежат в основе различных экспертных и управляющих систем. Алгоритм нечеткого вывода схематично изображен на рис. 2.



**Рис. 2.** Схема алгоритма нечеткого вывода

Основными этапами нечеткого вывода являются:

1. Фазификация (определение значений) входных параметров, когда задаются «четкие» значения входных переменных, для которых вычисляются значения соответствующих функций принадлежности.

Рассмотрим классические показатели оценки инвестиций с учетом условий неопределенности.

В таблице 1 представлен этап приведения показателей инвестиционного анализа к нечеткости - этап фазификации.

Таблица 1

**Приведение показателей инвестиционного анализа к нечеткости стадия фазификации**

Показатель	Интерпретация с точки зрения нечеткой логики
$PB = \frac{IC}{CF_{cp}}$	<p>IC – общая сумма инвестиций в проект не может быть точно оценена;</p> <p>CF<sub>cp</sub> – среднегодовой финансовый поток от реализации проекта не может быть точно оценен.</p>
$NVP(N, r) = \sum_{n=0}^N \frac{CF_n}{(1+r)^n} - \sum_{n=0}^N \frac{IC_n}{(1+r)^n}$	<p>CF<sub>n</sub>- доход, достигнутый за период времени n не может быть точно оценен;</p> <p>IC<sub>n</sub>- сумма инвестиций на n-шаге не может быть оценена достоверно;</p> <p>N - расчетный период оценки не определен точно;</p> <p>r - ставка дисконтирования меняется в зависимости от внешних условий</p>

$ARR = \frac{PR_{cp}}{(IC - LV)/2} * 100\%$	<p>PR<sub>cp</sub>- среднегодовая прибыль проекта не может быть точно определена;  IC –инвестиционные затраты не могут быть оценены точно;  LV – ликвидационная стоимость основных средств.</p>
$PI = \sum_{t=0}^T \frac{P_t}{(1+r)^t} : IC$	<p>P<sub>t</sub>- сумма приведенных доходов не может быть оценена достоверно;  IC<sub>n</sub>- сумма инвестиций на n-шаге не может быть оценена достоверно;</p>
$DPI_2 = \frac{\sum_{n=0}^N CF_n / (1+r)^n}{\sum_{n=0}^n IC_n / (1+r)^n}$	<p>CF<sub>n</sub> - доход, достигнутый за период времени n не может быть точно оценен;  IC<sub>n</sub> - сумма инвестиций на n-шаге не может быть оценена достоверно;  Г - ставка дисконтирования меняется в зависимости от внешних условий</p>

## 2. Формирование базы правил (базы знаний) системы нечеткого вывода.

Для построения алгоритма в ППП Matlab необходимо учесть, что между показателями *NPV*, *PI*, *IRR*, *CC* имеются очевидные взаимосвязи:

если  $NPV > 0$ , то одновременно  $IRR > CC$  и  $PI > 1$ ;

если  $NPV < 0$ , то одновременно  $IRR < CC$  и  $PI < 1$ ;

если  $NPV = 0$ , то одновременно  $IRR = CC$  и  $PI = 1$ .

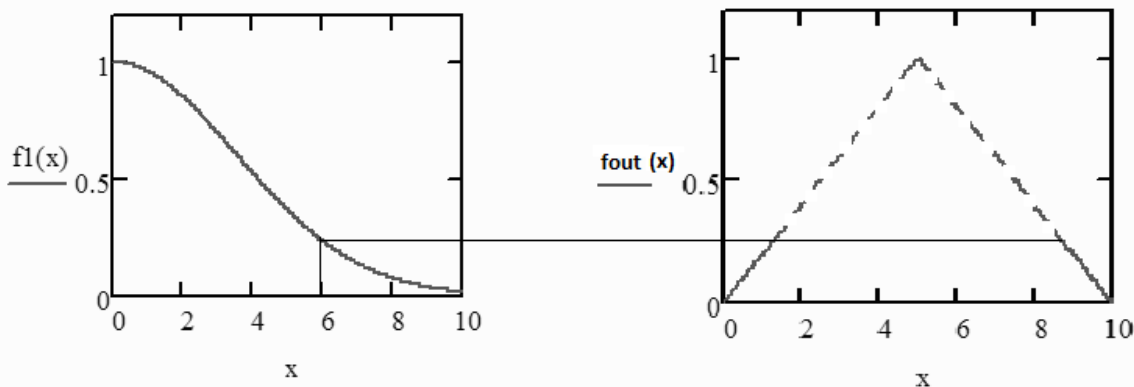
С учетом взаимосвязи показателей оценки эффективности проекта в исследовании предложен алгоритм приведения нечетких «размытых» данных по проекту к четкому варианту.

В нашей работе база правил задавалась следующим образом:

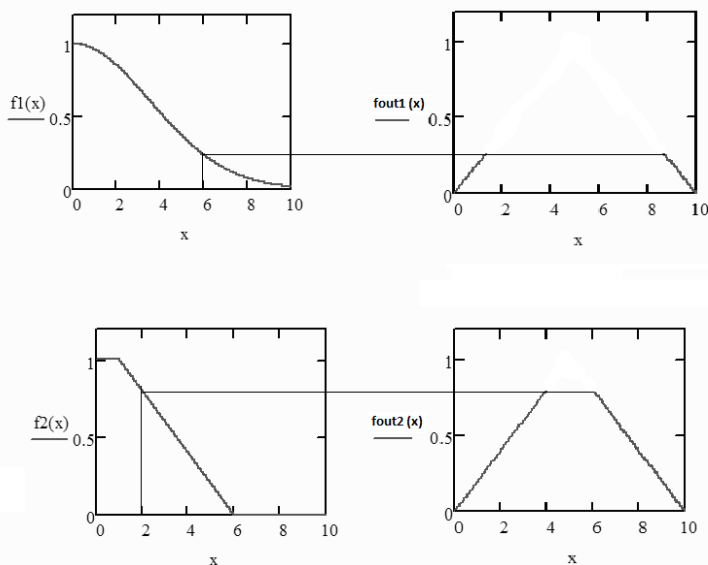
- Если *NVP* низкий или *IRR* низкий, то результат низкий.
- Если *NVP* средний и *IRR* средний и *PB* – да и *ARR* – да и *PI* - высокий, то результат средний.
- Отвергаются проекты со сроком окупаемости более 5 лет или учетной нормой рентабельности менее 20%. Здесь возможны два варианта: 1) данные проекты отвергаются в процессе предварительного анализа и не обрабатываются на основе нечеткой логики; 2) для переменных *PB* и *ARR* задаются «ступенчатые» функции принадлежности, которые равны нулю на соответствующих интервалах.
- Если *PB* и *ARR* имеют логическое значение *yes* и *PI* - высокий, то результат высокий.
- Если *NVP* высокий и *PB* и *ARR* имеют значение *yes* и *PI* - высокий, то результат высокий.

3. Агрегирование (композиция). На этом этапе строятся «усеченные» функции принадлежности переменной вывода, которые объединяются вместе,

чтобы формировать одно нечеткое множество. Построение усеченной функции принадлежности выходной переменной (треугольная функция  $f_{out}(x)$ ) показано на рис.3. Функция принадлежности входной переменной обозначена как  $f_1(x)$ . Четкое значение входной переменной равно 6. Подобное построение проводится для каждой входной переменной (пример построения усеченных функций принадлежности для четких значений двух переменных показан на рис. 4). Затем строится итоговое нечеткое множество для выходной переменной. В алгоритме Мамдани объединение усеченных функций принадлежности переменной вывода производится с использованием операции МАКСИМУМ, если соответствующее правило соответствует логическому ИЛИ, и с использованием операции МИНИМУМ, если соответствующее правило соответствует логическому И. Очевидно, что для функций на рис. 4 логическому ИЛИ будет соответствовать нижняя фигура, а логическому И - верхняя.



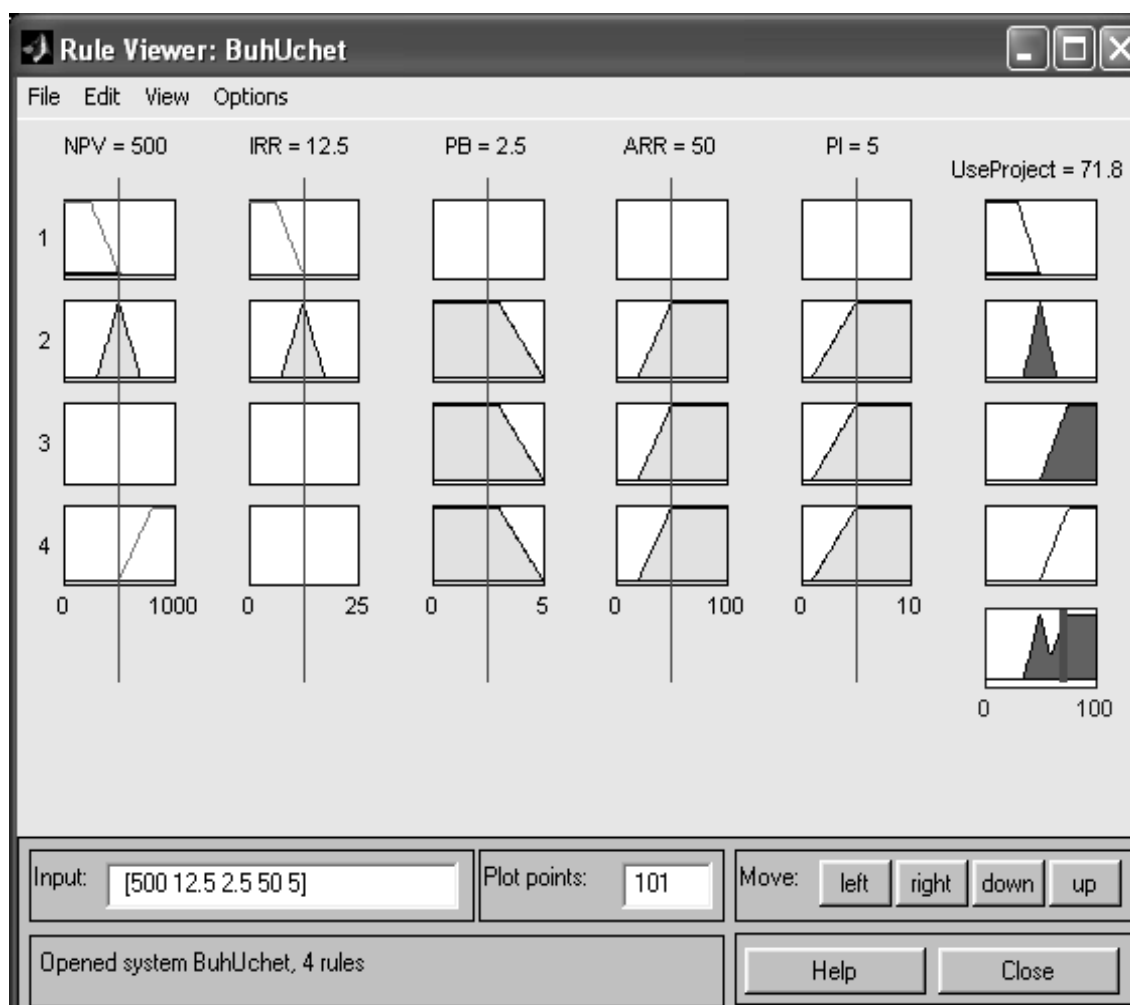
**Рис. 3.** Пример построения усеченной функции принадлежности переменной вывода



**Рис. 4.** Пример построения усеченных функций принадлежности переменной вывода для двух значений входных переменных

4. Дефаззификация. На этом этапе нечеткий набор выводов преобразовывается в четкое число, например, с применением центроидного метода, когда результат является x-координатой центра тяжести фигуры, полученной на этапе 3.

Пример оценки эффективности проекта по алгоритму Мамдани показан на рис. 5. В данном случае очевидно, что вероятность эффективной реализации проекта достаточно высока (71,8%). Варьируя значения набора входных переменных, можно получить проект для оценки эффективности внедрения различных информационных систем на государственных предприятиях, предприятиях малого бизнеса и т.п.



**Рис. 5.** Пример результата выполнения алгоритма Мамдани для оценки эффективности инвестиционного проекта

При оценке результата проекта необходимо учитывать различные варианты развития событий, т.е. проводить разработку сценариев реализации проектов в наиболее вероятных или наиболее «опасных» для каких-либо участников условиях и давать оценку финансовых последствий осуществления таких сценариев. Такие сценарии условно можно рассматривать как оптимистичный, пессимистичный и наиболее вероятный. Каждому варианту отвечают свои значения входных переменных. Так, в нашем примере наиболее вероятному сценарию соответствует значение NPV в пределах от 300 до 700.



Одним из преимуществ подсистемы Fuzzy Logic вычислительной системы MATLAB является возможность визуализации результатов в виде двумерных и трехмерных графиков. Пример поверхности результата в координатах IRR и NPV показан на рис. 6. Полученный график поверхности можно вращать, рассматривая его с различных ракурсов. На графике четко выделяется область «провала» эффективности реализации проекта.

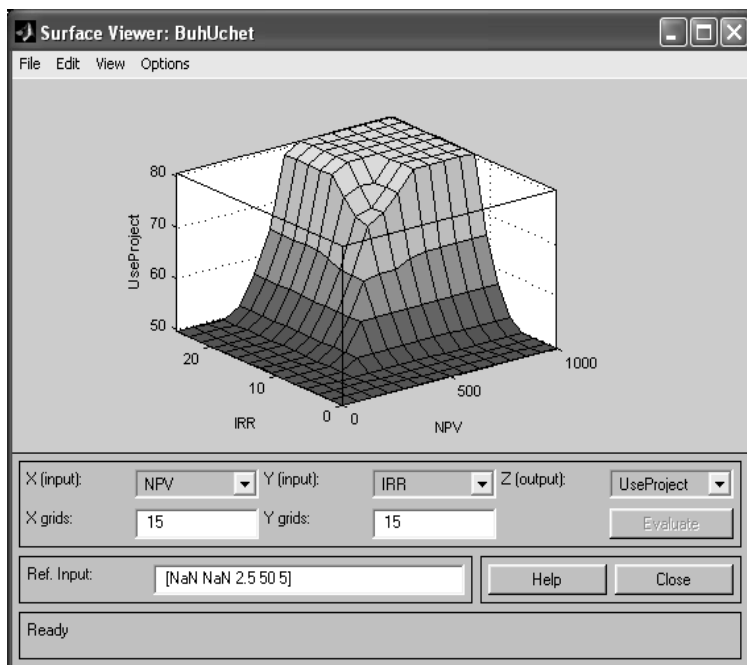


Рис. 6. Пример визуализации результата вычислений в MATLAB

Двумерные графики можно получить, зафиксировав все значения входных параметров, кроме одного. Например, на рис.6 показан график зависимости эффективности проекта от чистой текущей стоимости. Остальные параметры фиксированы и принимают следующие значения:  $IRR = 12,5$ ;  $PB = 2,5$ ;  $ARR = 50$ ;  $PI = 5$ . Из графика видно, что в данных условиях внедрение АИС нецелесообразно, если ее чистая текущая стоимость менее 200 млн. руб., а начиная со значения, равного 600, внедрение, скорее всего, будет эффективно.

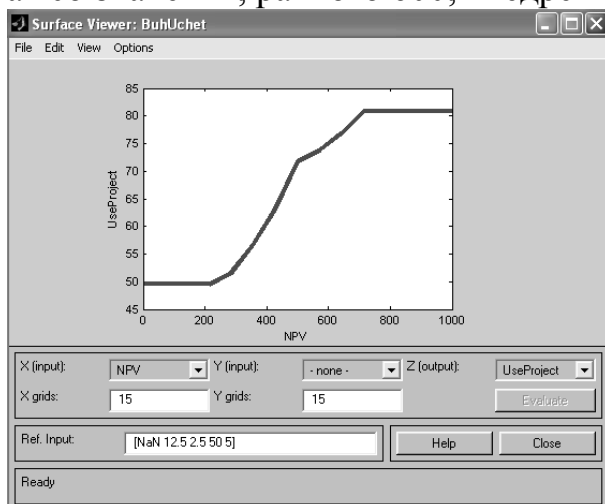


Рис. 7. Двумерный график зависимости эффективности проекта от чистой текущей стоимости при фиксированных значениях других параметров проекта

Применяя тот или иной метод анализа риска, следует иметь в виду, что кажущаяся высокая (особенно при использовании имитационного моделирования) точность результатов может быть обманчивой и ввести в заблуждение аналитиков и лиц, принимающих решение.

## **Выводы**

В настоящей работе предлагается методика оценки эффективности инвестиционных проектов внедрения информационных систем на основе нечетко-множественного подхода, который позволяет учитывать в качественные аспекты, не имеющие точной числовой оценки, что должно существенно повысить уровень адекватности применяемых методик.

Подробно описан алгоритм Мамдани построения экспертных систем и методика его применения к сформулированной выше задаче.

Приведены примеры оценки эффективности предполагаемого проекта внедрения информационной системы.

Исследования, представленные в научной статье могут быть использованы:

- в качестве методических рекомендаций для аналитиков, владельцев объектов АИС или для инвесторов, а также фирм, специализирующихся на вопросах стоимостной оценки объектов АИС;
- при выборе альтернативных инвестиционных проектов в автоматизированные информационные системы на промышленных предприятиях.

Направления практической реализации методики анализа эффективности инвестиций в АИС еще раз подчеркивают широкие возможности использования представленной методики. Выполнение анализа инвестиций в АИС имеет циклический характер, т.к. обновление и/или внедрение новых АИС стали для предприятий закономерной необходимостью.

Работа поддержана РГНФ и администрацией Калужской области (грант № 11-12-40023а/Ц).

## **Литература:**

1. Слюсаренко А. Управление рисками в проектах внедрения информационных систем управления предприятием // СІО, №7, 2008.
2. Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. – Тюмень: Изд-во «ТГУ», 2000. – 352 с.
3. Деревянко П.М. Оценка риска неэффективности инвестиционного проекта с позиций теории нечетких множеств // Тр. VII Международной конференции «Мягкие вычисления и измерения (SCM'2004)». – СПб: Изд-во ЛЭТИ, 2004. с. 167–171.

4. Деревянко П.М. «Нечеткое моделирование деятельности предприятия и оценка риска принятия стратегических финансовых решений в условиях неопределенности // Тр. I научно-практической конференции «Современные проблемы прикладной информатики». – 2005. – С. 81–83.
5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб: «БХВ-Петербург», 2005. – 736 с.
6. Недосекин А.О. «Применение теории нечетких множеств к задачам управления финансами» // Аудит и финансовый анализ, №2, 2000.
5. Кофман А., Хил Алуха Х. «Введение теории нечетких множеств в управлении предприятиями». – Минск: Вышэйшая школа, 1992. – 224 с.