

УДК. 338.2(075.8)

ПРИНЯТИЕ ИНВЕСТИЦИОННОГО РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОГО УСЛОВНОГО ВЫВОДА

В.Г. Чернов

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

Рассматривается задача выбора наилучшего инвестиционного проекта из множества альтернативных вариантов в условиях неопределенности оценок их параметров. Обосновывается целесообразность применения в этих условиях методов теории нечетких множеств, в частности правил нечеткого условного вывода. Показано, что традиционные схемы обработки этих правил не позволяют в полной мере учесть особенности принятия решений по выбору инвестиционного проекта. В отличие от известных методов, отбор проектов предлагается осуществлять не по агрегированной системе критериевых оценок, а по степени соответствия каждой из них условиям выбора, сформулированным в виде нечетких лингвистических утверждений.

Ключевые слова: инвестиционный проект, нечеткое множество, функция принадлежности, правило нечеткого вывода, нечеткое лингвистическое утверждение.

Оценка инвестиционных проектов (ИП) представляет собой один из наиболее ответственных и трудных этапов реализации инвестиционной стратегии экономического субъекта. В основе оценки эффективности ИП лежит система показателей, соизмеряющих полученный эффект от его реализации с затратами, необходимыми для осуществления проекта [1]. В исследованиях по оценке ИП [2-4] используются различные модификации формул для расчетов основных показателей проектов:

- чистая приведенная стоимость NPV;
- индекс рентабельности PI;
- период окупаемости PP;
- внутренняя норма доходности IRR;
- рентабельность инвестиций ROI.

Степень достоверности оценки этих параметров определяет уровень обоснованности инвестиционного решения. Достаточно часто практикующие инвестиционные менеджеры пользуются точечными, детерминированными значениями исходных данных. Очевидно, что это является неоправданным упрощением реальности, т.к. любой ИП, развиваясь во времени, сопровождается множеством факторов неопределенности [5-7]. Практически любой ИП является либо уни-

кальным, либо содержит существенные признаки уникальности. Очевидно, что получить в этих условиях репрезентативную статистику практически невозможно, что ставит под сомнение корректность применения вероятностных методов для учета неопределенностей, сопровождающих анализ ИП [5-7]. В большом количестве исследований показано, что аппарат нечетких множеств позволяет строить математические модели достаточно глубоко, учитывающие характер фактор неопределенностей характерных для ИП.

Методами теории нечетких множеств решаются две задачи инвестиционного анализа:

- оценка параметров ИП;
- поддержка принятия решения по выбору наилучшего проекта из множества альтернативных вариантов.

Эти задачи отличаются как по содержанию, так и по способам их решения. Первая – это расчетная задача, реализуемая методами нечеткой математики. Различные варианты выполнения расчетов параметров ИП с использованием нечетких исходных данных рассмотрены в многочисленных исследованиях [5-7]. Задачу выбора наилучшего варианта ИП

можно отнести к задачам многокритериального альтернативного выбора в условиях неопределенности. Хотя известно достаточно много методов ее решения [8,9], применительно к инвестиционному анализу имеются особенности, которые исследованы недостаточно.

Имеется одно весьма существенное обстоятельство в теории нечетких множеств, которое необходимо учитывать при их использовании в инвестиционном анализе. Оно заключается в том, что операции объединения и пересечения, которые приходится использовать при агрегировании критериев оценки ИП, определены для нечетких множеств, заданных на одном и том же универсальном множестве. Параметры инвестиционного проекта определены на различных универсальных множествах:

- NPV выражается в денежных единицах – это одно универсальное множество;
- PI, IRR, ROI - в относительных единицах – другое универсальное множество;
- PP временной период (годы) – третье универсальное множество.

В некоторых работах указанное условие просто игнорируется, что ставит под сомнение корректность [10] предлагаемых моделей.

Из существующего множества решений задачи многокритериального

альтернативного выбора в настоящей работе остановимся на применении правил нечеткого условного вывода (ПНВ), представляющих логическую конструкцию «если $\langle x=A \rangle$, то $\langle y=B \rangle$ », в которой в условной части присутствуют нечеткие оценки соответствия альтернатив требованиям системы критериев, консеквент (вывод) имеет форму нечеткого лингвистического высказывания.

В общем виде для многокритериального альтернативного выбора применительно к инвестиционному анализу необходимо построить базу знаний, состоящую из совокупности ПНВ:

$$R_i : \text{если} \langle NPV=A_i \rangle \text{ и} \langle PI=B_i \rangle \text{ и} \langle IRR=C_i \rangle \text{ и} \langle PP=D_i \rangle \text{ и} \langle ROI=F_i \rangle, \text{ то} \langle S_i \rangle, \quad (1)$$

где $i = \overline{1, N}$ - количество правил в базе знаний;

A_i, B_i, C_i, D_i, F_i – лингвистические оценки по критериям для i -го правила;

S_i – консеквент (вывод) для i -го правила.

Сразу отметим, что построение базы знаний вида (1) это отдельная задача, которая не является предметом рассмотрения настоящей работы.

Предположим, что рассматриваются три ИП, для которых получены следующие оценки (табл.1).

Таблица 1

Параметры анализируемых ИП

ИП	NPV, млн.руб	PI	IRR,%	PP, лет	ROI,%
A ₁	9,8	1,42	49	5	65,5
A ₂	2,9	5,63	43	7	21,7
A ₃	7,9	1,85	64	9	84,9

Эти значения носят условный характер и нужны только для иллюстрации предлагаемого метода решения задачи и получены в предположении, что все ис-

ходные данные имеют детерминированный характер. Наличие неучтенных факторов неопределенности указывает на то, что эти значения должны рассматривать-

ся как приближенные, нечеткие. Для учета нечеткости, данных, указанных в табл.1, перейдем к лингвистической форме их представления. Для этого зададим терм-множество лингвистических оценок $T = \{\tau_j; j = \overline{1, J}\}$.

$$\tilde{M} = \{\mu_H(x), \mu_{HC}(x), \mu_{Cp}(x), \mu_{BC}(x), \mu_B(x) : x \in [0,1]\} \quad (2)$$

Для простоты графического представления будем использовать треугольные функции принадлежности. Это выбор не ограничивает общность предлагаемого

Пусть $T = \{\text{низкое, ниже среднего, среднее, выше среднего, высокое}\}$, лингвистические оценки формализуются нечеткими множествами

метода. В тоже время при выборе вида функций принадлежности можно руководствоваться рекомендациями [11].

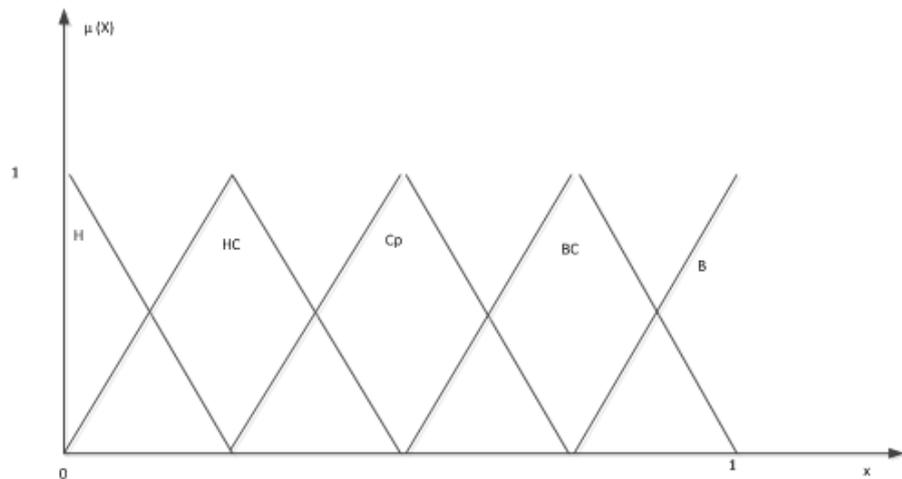


Рис.1. Функции принадлежности элементов терм-множества

Процедура перехода к лингвистическим оценкам (фаззификация) представлена на рис.2.

Отметим, что функция, обеспечивающая переход от числовых значений к лингвистическим оценкам, может быть и нелинейной [9]. Соответствующий выбор зависит от субъективных представлений

экспертов или лица, принимающего решение.

Как следует из рис.2, некоторому числовому значению параметра ИП будет поставлено в соответствие лингвистическое значение {HC или Cp} (рис.2а) или {Cp или BC} (рис.2б).

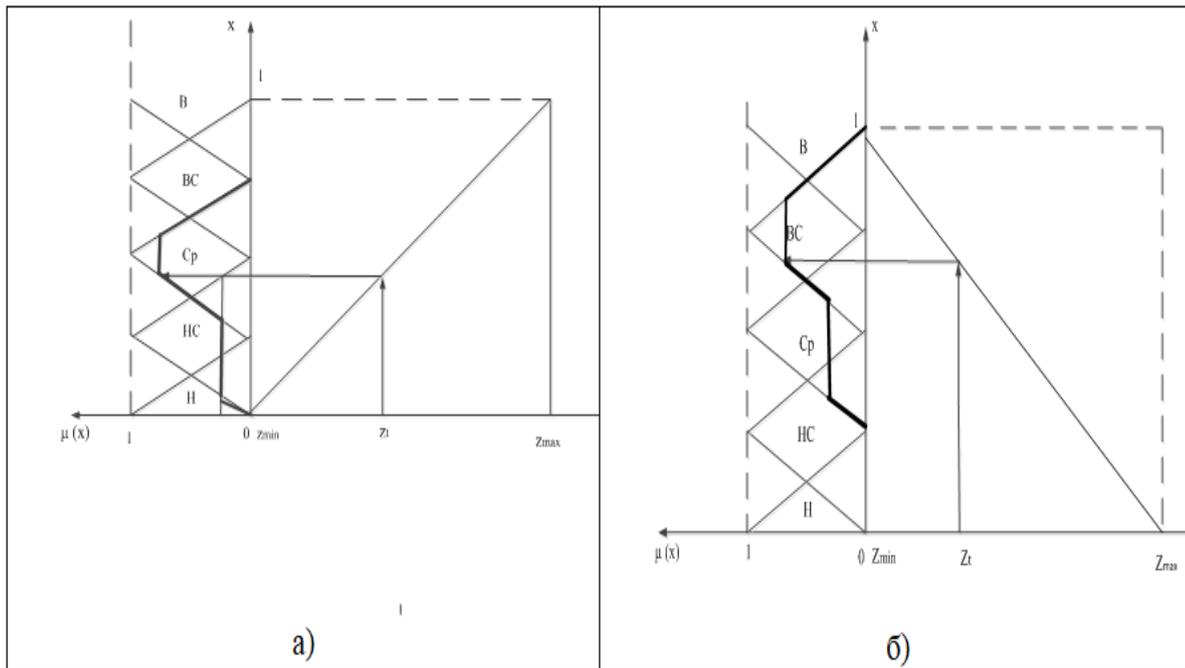


Рис.2. Процедура фаззификации:

- а) для параметров увеличение, которых имеет положительное влияние на принимаемое решение,
 б) для параметров увеличение, которых имеет негативное влияние на принимаемое решение,
 $\{Z_{\min}, Z_{\max}\}$ область определения параметров ИП

Традиционная схема определения наилучшей альтернативы на основе ПНВ состоит в следующем:

- в условную часть правил подставляются критериальные оценки альтернатив;
- выполняется агрегирование критериев в условной части правил;
- по заранее выбранной формуле вычисляется нечеткая импликация для каждого из ПНВ, входящего в базу знаний;
- вычисляется интегрированный вывод по всей совокупности правил.

Эта схема вызывает ряд вопросов, относящихся в первую очередь ко второму и третьему пунктам. Критерии в условной части правил (1) связываются логическим союзом «И». Эта связка формализуется как пересечение, выполняемое обычно с помощью операции \min , что может привести к тому, что свертка нечетких критериальных оценок в условной

части ПНВ даст пустое нечеткое множество, и соответствующее ПНВ не может быть использовано в процессе принятия решения. Это приводит к тому, что альтернативы будут оцениваться по различным наборам ПНВ. Второе обстоятельство состоит в том, что использование операции \min приводит к преобладающему влиянию худших оценок. Поэтому в [12] предложено отказаться от агрегирования критериев в условной части ПНВ и вычислять частные импликации с их последующим агрегированием.

Кроме этого, можно отметить еще и следующее. При создании правил базы знаний (1) обычно указывают значения выводов для каждого из правил. Задача построения правил и в том числе определение лингвистических оценок вывода для различных комбинаций оценок параметров ИП является далеко не тривиальной. Далее предлагается другая схема решения задачи многокритериального альтернативного выбора при неопределенности критериальных оценок.

Предположим, для простоты, что для всех параметров ИП используется одно и то же терм множество (2). В общем случае не исключается, что для отдельных параметров ИП могут использоваться как различные по составу терм-множества, так и различные варианты функций принадлежности. Отметим, что предлагаемый алгоритм решения задачи останется без изменений и не потеряет своей общности. Для удобства последующего изложения переведем все значения табл. 1 в относительные шкалы.

Пусть для всех параметров ИП определены предельные границы:

NPV[2,10], PI[1,6], IRR[40,70], PP[4,8], ROI[20,90]. Используя известные соотношения

$$\hat{x} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \in [0,1]$$

Или

$$\hat{y} = 1 - \frac{y - y_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \in [0,1],$$

получим относительные значения соответствующих параметров ИП. Тогда табл.1 преобразуется к виду (табл.2).

Таблица 2

Относительные значения параметров ИП

ИП	NPV	PI	IRR	PP	ROI
A ₁	0,975	0,084	0,3	0,6	0,673
A ₂	0,112	0,926	0,1	0,2	0,089
A ₃	0,737	0,17	0,8	0,6	0,932

Применив к этим значениям описанные процедуры фаззификации, полу-

чим следующий набор лингвистических значений (табл.3).

Таблица 3

Лингвистические оценки параметров ИП

ИП	NPV	PI	IRR	PP	ROI
A ₁	В	Н	НС	Ср или ВС	Ср или ВС
A ₂	Н или НС	ВС или В	Н или НС	Н или НС	Н или НС
A ₃	Ср или ВС	Н или НС	ВС	Ср или ВС	ВС или В

В традиционной схеме обработки ПНВ вида (1) предполагается агрегирование критериев в условной части правил. Возможные затруднения, связанные с этим процессом, были рассмотрены ранее. В работе [12] доказано, что можно отказаться от процедуры агрегирования, а нечеткую импликацию вычислять для каждого из критериев. Для вычисления

импликации надо построить систему возможных нечетких выводов, например такую: {неудовлетворительный (US), удовлетворительный (S), более чем удовлетворительный (MS), очень удовлетворительный(VS), безупречный(P)}. Приведенные лингвистические значения формализуются нечеткими множествами:

$$\mu_S(x) = x, \mu_{US}(x) = 1 - x, \mu_{MS}(x) = x^2, \mu_{VS}(x) = \sqrt[3]{x^2}, \mu_P(x) = \begin{cases} 0, & x \neq 1 \\ 1, & x = 1 \end{cases}. \quad (3)$$

Этот выбор не является обязательным и будет определяться представлениями экспертов или лица, принимающего решения. В различных источниках при построении правил вида (1) указывается значение нечеткого вывода, который считается наиболее подходящим для системы критериев, указанных в условной части правила, например: если $\langle NPV=B \rangle$ и $\langle PI=Cp \rangle$ и $\langle IRR=Cp \rangle$ и $\langle PP=Cp \rangle$ и $\langle ROI=Cp \rangle$, то $\langle MS \rangle$. Это правило имеет чисто иллюстративный характер и в дальнейшем использоваться не будет.

Как уже отмечалось, построение ПНВ – это весьма сложная задача. Даже для достаточно небольшого, в данном случае, числа критериев возможны их различные комбинации, для которых совсем непросто корректно сформулировать вывод. Поэтому в дальнейшем предлагается не

$$\tilde{q}_i(j, k) = \mu_{ik}(x) \cap \mu_j(z) = \min\{\mu_{ik}(x), \mu_j(z)\} \text{ по всем } j, k. \quad (4)$$

Отметим, что в данном случае использование операции пересечения вполне корректно, т.к. элементы множества выводов не имеют конкретной размерности.

Результаты расчетов по соотношениям (4) представлены на рис. 3,4. Каждый элемент таблиц – это степень соответствия значения параметров ИП используемым оценкам выводов, формализуемая нечеткими множествами. Числовые значения, приведенные в таблице – это координаты центров тяжести фигур, ограниченных соответствующими ФП.

Для получения окончательного решения по выбору наилучшего проекта предлагается для каждого параметра конкретного ИП и каждого из возможных

определять заранее вывод, а подбирать наиболее подходящий в смысле некоторого критерия для конкретной совокупности параметров ИП.

Обозначим для удобства дальнейшего изложения:

$\tilde{S} = \{\tilde{s}_j : j = \overline{1,5}\}$ – множество нечетких выводов с ФП $\mu_{s_j}(z), z \in [0,1]$;

$C = \{C_k : k = \overline{1,5}\}$ – множество критериев оценки;

$\tilde{M} = \{m_{ik} : i = \overline{1,3}, k = \overline{1,5}\}$ – множество нечетких оценок альтернатив по критериям (табл.3) с ФП $\mu_{ik}(x), x \in [0,1]$.

Для упрощения расчетов воспользуемся наиболее простой импликацией Мамдани [13]. Тогда для каждого проекта будет построено множество частных импликаций:

выводов вычислить интегральную оценку $\gamma_i(j, k) = CG_i(\tilde{q}_i(j, k)) \mu(CG_i), i = \overline{1,3}$,

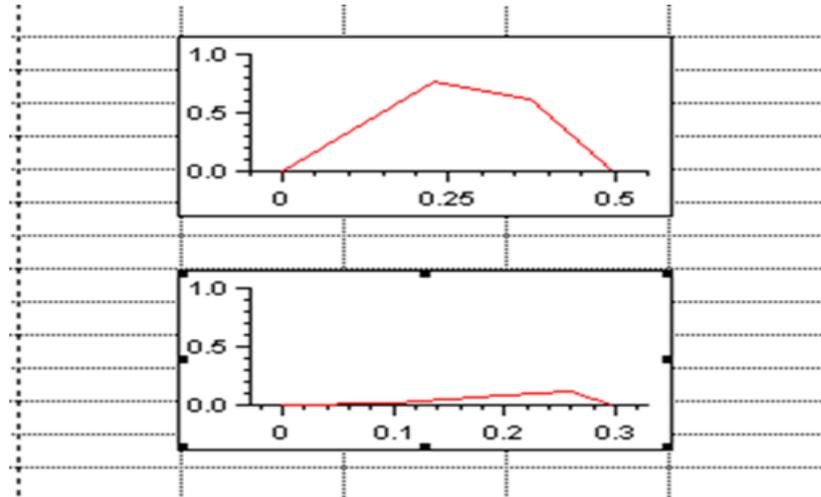
где $CG(\tilde{q}_i(j, k))$ – координаты центров тяжести, указанные в таблицах на рис.3,4, значения ФП нечетких множеств, рассчитанных по соотношению (4), соответствующих координатам центров тяжести. Затем, для каждого значения выводов для конкретного ИП вычисляется средняя оценка по всему множеству критериев

$$\beta_{A_i}(j) = \frac{1}{K} \sum_k \gamma_i(j, k). \quad (5)$$

Результаты расчетов по соотношению (5) представлены в следующей таблице 4.

	A1	->VS			
US	▶ 0.872386	▶ 0.101212	▶ 0.265546	▶ 0.407172	▶ 0.573938
S	▶ 0.937912	▶ 0.183456	▶ 0.319036	▶ 0.475692	▶ 0.666875
MS	▶ 0.934192	▶ 0.198946	▶ 0.335574	▶ 0.523798	▶ 0.690921
VS	▶ 0.937641	▶ 0.216031	▶ 0.750673	▶ 0.548621	▶ 0.707366
P	▶ 0	▶ 0.929015	▶ 0	▶ 0	▶ 0
	NPV	PI	IRR	PP	ROI

а)



б)

Рис.3. Результат оценки соответствия параметров ИП1 критериям их отбора:

а) значения координат ФП,

б) ФП нечеткой оценки «значение P проекта A1 может считаться более чем удовлетворительным (MS) и ФП нечеткой оценки «значение IRR проекта A1 может считаться не удовлетворительным (US)».

	A2	->US			
US	▶ 0.203699	▶ 0.695546	▶ 0.195028	▶ 0.247177	▶ 0.186964
S	▶ 0.314472	▶ 0.800525	▶ 0.335574	▶ 0.335574	▶ 0.335574
MS	▶ 0.335574	▶ 0.800525	▶ 0.335574	▶ 0.335574	▶ 0.359942
VS	▶ 0.359942	▶ 0.800676	▶ 0.359942	▶ 0.359942	▶ 0.359942
P	▶ 0	▶ 0	▶ 0	▶ 0	▶ 0
	NPV	PI	IRR	PP	ROI

а)

	A3				
US	▶ 0.609995	▶ 0.235027	▶ 0.69424	▶ 0.407172	▶ 0.359942
S	▶ 0.712855	▶ 0.319036	▶ 0.766987	▶ 0.475692	▶ 0.805307
MS	▶ 0.717122	▶ 0.335574	▶ 0.767474	▶ 0.523798	▶ 0.804972
VS	▶ 0.717141	▶ 0.359942	▶ 0.76889	▶ 0.548621	▶ 0.8052
P	▶ 0.943096	▶ 0	▶ 0.943096	▶ 0	▶ 0
	NPV	PI	IRR	PP	ROI

б)

Рис.4. Результаты расчетов соответствия ИП A2 (а) и A3 (б) возможным выводам по проектам

Итоговые оценки ИП

	β_{A_1}	β_{A_2}	β_{A_3}
US	0.167	0.118	0.176
S	0.278	0.096	0.339
MS	0.252	0.086	0.282
VS	0.519	0.098	0.262
P	0.117	0	0.239

Из полученных результатов следует, что ИП A_1 может рассматриваться как очень подходящий для инвестирования (VS), A_3 – как удовлетворительный (S), A_2 – как неудовлетворительный (US).

Полученное решение соответствует принятой практике инвестиционного анализа, когда вопрос выбора сводится к сопоставлению NPV и IRR для альтернативных проектов. В большинстве случаев у лучшего ИП наибольший положительный NPV и его IRR больше, чем у других. Не исключаются и другие ситуации. Тогда следует ориентироваться на NPV, как показатель, позволяющий наиболее объективно подойти к выбору проекта с позиции максимизации выгод. Если у предприятия ограничен капитал, и оно не имеет широкого доступа к ссудному капиталу, его главной целью становится

получение наибольшего прироста на собственный ограниченный капитал. Если рассматривать с этих позиций полученный вывод, то ИП A_1 превосходит A_3 по значению NPV, не очень существенно уступая по IRR.

Заключение

Предложенная модель принятия инвестиционного решения позволяет учесть влияние факторов неопределенности, сопровождающих реализацию инвестиционного проекта, обеспечивает учет влияния всех критериев оценки через вычисление частных импликаций и формирование на их основе вывода о целесообразности выбора инвестиционного проекта в форме нечеткого лингвистического высказывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков И.М., Грачева М.В. Проектный анализ. : Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998.426с.
2. Ендовицкий Д.А. Комплексный анализ и контроль инвестиционной деятельности: методология и практика. Под ред. Проф. Л.Т. Гиляровской. – М.: Финансы и статистика. 2001. 400с.
3. Царев В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций. СПб.: Питер,2004. 464с.
4. Количественные методы в экономических исследованиях/ Под ред. М.В. Грачевой и др. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 791с.
5. Недосекин А.О. Нечетко-множественный анализ риска фондовых инвестиций. СПб.: Типография «Сезам», 2002. 181с.
6. Деревянко П.М. Сравнение нечеткого и имитационного подхода к моделированию деятельности предприятий в условиях неопределенности// Современные проблемы экономики и управления народным хозяйством. Сб. научн. статей. Вып.14. СПб.:СПбГИЭУ,2005.с. 286-292.
7. Чернов В.Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств. М.: Горячая линия –Телеком, 2007.312с.
8. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с.
9. Мелихов А.Н., Бернштейн Л.С., Коровин С.Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой.М.: Наука, 1990. 272с.
10. Андрейчиков А.В., Чесноков О.К. Оценка инвестиционных проектов с использованием методов теории нечетких множеств// Известия вузов. Машиностроение. 2004.№1. С.65-68.

11. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.
12. Чернов В.Г. Модификация алгоритмов управления, использующих правила нечеткого условного вывода // Информационно-управляющие системы. 2013. № 3(64). С. 23–29.
13. Mamdani E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems/E. H. Mamdani // IEEE Trans. Comput. 1977. P. 1182–1191.

Рукопись поступила в редакцию 11.04.2019г.:

JEL code: CO2: C10

ACCEPTANCE OF THE INVESTMENT DECISION ON THE BASIS OF THE RULES OF FUZZY CONDITIONAL CONCLUSION.

V.G. Chernov

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs

The problem of choosing the best investment project from a variety of alternatives is considered in the context of uncertainty in the estimates of their parameters. The expediency of applying in these conditions the methods of the theory of fuzzy sets, in particular, the rules of fuzzy conditional inference, is substantiated. It is shown that the traditional processing schemes of these rules do not allow to fully take into account the features of decision making on the choice of an investment project. Unlike well-known methods it is proposed to select projects not according to an aggregated system of criterion assessments, but according to the degree of compliance of each of them with the conditions of choice, formulated in the form of fuzzy linguistic statements.

Keywords: investment project, fuzzy set, membership function, fuzzy inference rule, fuzzy linguistic statement.

References

1. Volkov I.M., Gracheva M.V. Proektnyj analiz. M.: Bankiibirzhi, YUNITI, 1998.426s.
2. Endovickij D.A. complex the analysis and control of investment activity: methodology and practice. Under the editorship of Prof. L.T.Giljarovsky. – M: the Finance and statistics. 2001. 400с.
3. Carev V.V. Otsenka of economic efficiency of investments: Piter,2004. 464s.
4. Quantitative methods in economic researches / Under the editorship of / Pod red. M. V. Grachevoji dr. M.: YUNITI-DANA, 2004. 791s.
5. Nedosekin A.O. The analysis of risk of share investments/Типографиya «Sezam», 2002. 181s.
6. Derevyanko P.M. Sravnenie of the indistinct and imitating approach to modelling of activity of the enterprises in the conditions of uncertainty//Modern problems of economy and management of a national economy, 2005.c. 286-292.
7. Chernov V.G. Modeli of support of decision-making in investment activity on the basis of the device of indistinct sets. M: the Hot line – a Telecom, 2007.312с.
8. Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P. Decision-making on the basis of indistinct models: use Examples. Riga: 1990. 184.
9. Melihov A.N., Bernshnejn L.S., Korovin S. Situational advising systems with indistinct logic. M: the Science, 1990. 272с.
10. Andrejchikov A.V., Chesnokov O.K. Otsenka investment projects with use of methods of the theory of indistinct sets//News of high schools. Mechanical engineering. 2004. № 1. С.65-68.
11. Pegat A. Indistinct modelling and management, 2013. 798 с.
12. Chernov V. G. Modifikatsija of algorithms of the management using rules of an indistinct conditional conclusion/information-operating systems. 2013. № 3 (64). With. 23–29.
13. Mamdani E. H. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems/E. H. Mamdani // IEEE Trans. Comput. 1977. P. 1182–1191.