

3.3. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В ОЦЕНКЕ РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Гавриленко М.А., аспирант кафедры математических методов анализа экономики, аналитик Департамента нефтегазовых проектов ОАО «Газпромбанк»

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Применение теории нечетких множеств в оценке рисков инвестиционных проектов несет в себе ряд преимуществ по сравнению с классическими подходами к оценке рисков. Данная статья посвящена описанию алгоритма оценки риска инвестиционного проекта на основе теории обобщенных нечетких чисел. Данная теория является инновационной, и ее использование в риск-анализе открывает большие возможности для исследователя.

ВВЕДЕНИЕ

Теория обобщенных нечетких чисел (ОНЧ) является относительно молодой теорией, которая становится все более и более популярной последние несколько лет. В 1985 г. в свет вышла статья Чен [3], в которой автор вводит понятие обобщенного нечеткого числа. Теория ОНЧ позволяет отойти от повсеместного использования нормальных нечетких чисел в анализе различных экономических проблем. Если эксперт не обладает полной уверенностью относительно каких-либо решений, то, согласно теории ОНЧ, он вправе варьировать степень уверенности в различных суждениях. Другими словами, теория ОНЧ обобщает и расширяет теорию нормальных нечетких чисел. Все выводы, которые будут получены далее в рамках теории ОНЧ, также верны и для нечетких чисел стандартного вида.

1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ОНЧ

Строго говоря, обобщенным нечетким числом может являться нечеткое число с абсолютно любым видом функции принадлежности. Однако наиболее популярным видом ОНЧ, исследуемых в настоящее время, являются обобщенные нечеткие числа с трапециевидной функцией принадлежности. Основной причиной выбора трапециевидной функции является тот факт, что данная функция состоит из линейных участков, что делает возможным проведение точных и не громоздких вычислений. Также данная функция хорошо описывает различные виды неопределенности и может быть легко трансформирована в треугольную функцию. В связи с вышеописанными фактами далее будут рассмотрены именно трапециевидные нечеткие числа.

ОНЧ

Прежде чем переходить к рассмотрению алгоритма оценки риска, необходимо рассмотреть определение обобщенного трапециевидного нечеткого числа.

Обобщенное трапециевидное нечеткое число можно представить в виде:

$$A = (a, b, c, d, w),$$

где

a, b, c, d, w являются действительными числами, а $0 \leq w \leq 1$.

Обобщенное трапециевидное нечеткое число – это нечеткое подмножество действительной оси R , функция принадлежности $u_A(x)$ которого описывается следующим образом [8, с. 3]:

- (1) $u_A(x)$ является непрерывным отображением из R на отрезок $[0; w]$, где $0 \leq w \leq 1$;
- (2) $u_A(x) = 0$ для всех $x \in (-\infty; a]$;
- (3) $u_A(x)$ строго возрастает на участке $x \in [a; b]$;
- (4) $u_A(x) = w$ для всех $x \in [b; c]$;
- (5) $u_A(x)$ строго убывает $x \in [c; d]$;
- (6) $u_A(x) = 0$ для всех $x \in [d; +\infty]$.

На рис. 1 приведено графическое изображение трапециевидного нечеткого числа.

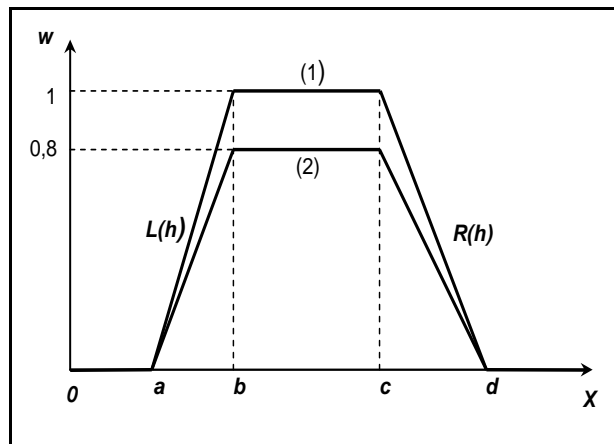


Рис. 1. Графическое представление обобщенного нечеткого числа

Если $w = 1$, то обобщенное трапециевидное нечеткое число является нормальным трапециевидным нечетким числом. В задачах принятия решений переменная w является степенью уверенности лица, принимающего решение (ЛПР) в том или ином мнении. Данное число может принимать любые значения из отрезка $[0, 1]$ и позволяет учесть в моделях неопределенность ЛПР относительно тех или иных решений и мнений. Если $w \in (0, 1)$, то такое нечеткое число называется ОНЧ. На приведенном рис. 1 число (1) является трапециевидным числом нормального вида, тогда как число (2) является ОНЧ со степенью принадлежности на уровне 0,8.

Арифметические операции с ОНЧ

Рассмотрим два трапециевидных нечетких числа:

$$A = (a_1, a_2, a_3, a_4, w_A)$$

и

$$B = (b_1, b_2, b_3, b_4, w_B)$$

Арифметические операции с ОНЧ осуществляются по следующим формулам [19, с. 1756].

1. Сложение двух ОНЧ может быть выполнено по следующей формуле:

$$A + B = (a_1 + b_1; a_2 + b_2; a_3 + b_3; a_4 + b_4; \min(w_A, w_B)).$$

2. Вычитание двух ОНЧ может быть выполнено по следующей формуле:

$$A - B = (a_1 - b_1; a_2 - b_2; a_3 - b_3; a_4 - b_4; \min(w_A, w_B)).$$

3. Умножение двух ОНЧ может быть выполнено по следующей формуле:

$$A \cdot B = (a_1 * b_1; a_2 * b_2; a_3 * b_3; a_4 * b_4; \min(w_A, w_B)).$$

4. Деление двух ОНЧ может быть выполнено по следующей формуле:

$$A / B = (a_1 / b_1; a_2 / b_2; a_3 / b_3; a_4 / b_4; \min(w_A, w_B)).$$

В соответствии с данным подходом получаемое в результате деления ОНЧ принадлежит отрезку $[0, 1]$.

Средняя интеграция

Обобщенное трапециевидное нечеткое число также может быть представлено в виде:

$$A = (P(A), w_A),$$

где $P(A)$ – средняя интеграция числа A .

Обозначим через L^{-1} и R^{-1} обратные функции к L и R (см. рис. 1). Пусть трапециевидное нечеткое число задано в следующем виде:

$$A = (a, b, c, d, w_A).$$

Тогда среднее значение h -уровня может быть записано как:

$$h(L^{-1}(h) + R^{-1}(h)) / 2.$$

Оцененная средняя интеграция¹ обобщенного нечеткого числа A может быть записана в виде [7, с. 7]:

$$P(A) = \frac{\int_0^{w_A} (h(L^{-1}(h) + R^{-1}(h)) / 2) dh}{\int_0^{w_A} h dh} = \frac{\int_0^{w_A} (h(c + (a - c)h + d + (b - d)h) / 2) dh}{\int_0^{w_A} h dh} = \frac{1}{6} * (c + 2a + 2b + d)$$

Арифметические операции с ОНЧ также проводятся через их средние интеграции [1, с. 1757].

1. Сложение.

$$A + B = (P(A) + P(B), \frac{w_A + w_B}{2}).$$

2. Вычитание.

$$A - B = (P(A) - P(B), \frac{w_A + w_B}{2}).$$

3. Умножение.

$$A * B = (P(A) * P(B), \sqrt{w_A * w_B}).$$

4. Деление.

$$A / B = (P(A) / P(B), \frac{\min(w_A, w_B)}{\max(w_A, w_B)}).$$

Все данные операции осуществляются только при помощи средней интеграции и степеней принадлежности к нечеткому множеству.

Стандартизация ОНЧ происходит в соответствие с описанным ниже способом [8, с. 2]:

$$A = (a_{i1} / k, a_{i2} / k, a_{i3} / k, a_{i4} / k, w_{Ai}) = (a_{i1}^*, a_{i2}^*, a_{i3}^*, a_{i4}^*, w_{Ai}),$$

где $k = \max_{ij}(a_{ij}, 1)$

Среднее значение стандартизованного ОНЧ рассчитывается, как простая средняя его стандартизованных координат [8, с. 2]:

$$\chi_{Ai} = \frac{a_{i1}^* + a_{i2}^* + a_{i3}^* + a_{i4}^*}{4};$$

$$\chi_{Ai} \in [-1; 1].$$

¹ В английском варианте – graded mean integration. Термин «средняя интеграция» был введен автором, так как до сих пор не был найден подходящий русскоязычный эквивалент.

Мера сходства

Важной переменной в теории обобщенных нечетких чисел является мера сходства (или мера схожести, степень сходства) ОНЧ. На интуитивном уровне меру сходства можно определить как число из отрезка [0, 1], которое характеризует сходство обобщенных нечетких чисел с точки зрения их формы и расположения. Если сравниваются два абсолютно одинаковых ОНЧ, то мера сходства равна единица. Если же, к примеру, сравнивается обычное число (четкое) с числом, которое, содержит в себе полную неопределенность (прямоугольного вида), то можно констатировать, что мера сходства равна нулю. Существует множество методов расчета данного показателя. Ниже приведен авторский способ определения меры схожести, которая преодолевает большую часть недостатков существующих на сегодняшний день способов:

$$S(A; B) = \frac{1}{1 + |P(A) - P(B)| + |w_A - w_B|}$$

или

$$S(A; B) = \frac{1}{1 + |\chi(A) - \chi(B)| + |w_A - w_B|},$$

где

χ – среднее значение ОНЧ;

$P()$ – оцененная средняя интеграция;

w – степень принадлежности к нечеткому множеству.

2. Алгоритм оценки риска инвестиционного проекта

Алгоритм оценки риска инвестиционного проекта описывается следующим образом.

1. Задать все переменные в лингвистической форме.
2. Провести модифицированный качественный анализ риска инвестиционного проекта.
3. Приписать степень уверенности эксперта в вероятности реализации каждого фактора риска.
4. Рассчитать показатель риска проекта как взвешенное среднее вероятности неудачи по каждому фактору риска, где в качестве весов выступают величины возможного ущерба.
5. Рассчитать меру сходства рассчитанной в п. 4 переменной риска проекта с каждым из термов заданной в пункте 1 лингвистической переменной риска.
6. Приписать переменной риск лингвистический терм, соответствующий наибольшему значению степени сходства, полученной в п. 5.
7. Рассчитать точное значение риска проекта.

Остановимся более подробно на каждом пункте данного алгоритма.

1. Задание переменных в лингвистической форме

Первым этапом реализации алгоритма анализа риска является процедура задания экспертом (группой экспертов) его видения лингвистических термов. Исследователь должен определиться относительно соответствия лингвистических термов и числовых характеристик всех входящих в модель переменных, так для проведения анализа риска эксперт должен задать три лингвистические переменные: риск проекта, вероятность реализации риска, величина ущерба при реализации риска.

Пусть лингвистическая переменная задается в следующей форме (табл. 1) [19, с. 1757]:

РИСК = {Крайне низкий, Очень низкий, Низкий, Достаточно низкий, Средний, Достаточно высокий, Высокий, Очень высокий, Экстремальный}.

Таблица 1

**ТАБЛИЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ**

№	Название термина	Координаты
1	Крайне низкий	(0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 1,0)
2	Очень низкий	(0,0; 0,0; 0,02; 0,07; 1,0)
3	Низкий	(0,04; 0,1; 0,18; 0,23; 1,0)
4	Достаточно низкий	(0,17; 0,22; 0,36; 0,42; 1,0)
5	Средний	(0,32; 0,41; 0,58; 0,65; 1,0)
6	Достаточно высокий	(0,58; 0,63; 0,80; 0,86; 1,0)
7	Высокий	(0,72; 0,78; 0,92; 0,97; 1,0)
8	Очень высокий	(0,93; 0,98; 1,0; 1,0; 1,0)
9	Экстремальный	(1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0)

Данный способ задачи переменной риска был впервые выбран в работе Chen S.J. и Chen S.M. [4]. Большинство последующих работ, затрагивающих теорию обобщенных нечетких чисел, также используют такой вид переменной риска. Это связано в первую очередь с тем, что после разработки (модификации) новой модели ученые проводят процедуру сравнения результатов моделирования с результатами, полученными в более ранних работах. Данное сравнение имеет смысл, только если все работы используют в исследовании одинаковую запись переменной риска. Другой причиной данного выбора может служить факт, что переменная включает девять термов, что указывает на то, что эксперт стремится получить наиболее точную оценку риска.

Вероятность неудачи по каждому виду риска и возможная величина ущерба должны быть также заданы в лингвистической форме. В общем случае эксперт задает данные переменные на основе собственного восприятия. В дальнейшем анализе вероятность неудачи по каждому фактору риска и величина возможного ущерба задаются по аналогии с переменной «риск», то есть могут быть описаны в соответствии с табл. 1. Также важно уточнить, что для задания величины ущерба в соответствии с табл. 1 эксперту необходимо сперва провести процедуру стандартизации данной переменной.

2. Модифицированный качественный анализ риска инвестиционного проекта

Наиболее важным этапом оценки риска инвестиционного проекта является проведение качественного анализа риска. Основной целью проведения такого анализа является выявление основных факторов риска конкретного проекта, вероятности реализации данных факторов и величины возможного ущерба каждого фактора.

Согласно Грачевой М.В., Секерину А.Б. [2, с. 114], самым распространенным видом представления качественного анализа риска является таблица, состоящая из четырех столбцов: наименование риска, факторы риска, последствия и возможный ущерб, меры по предотвращению и приближенная оценка их стоимости.

Аккуратное заполнение первых трех столбцов данной таблицы является крайне важным для последующего анализа риска инвестиционного проекта. Однако если перед исследователем стоит проблема оценки

риска проекта, то оценка мер по предотвращению является, бесспорно, важной, но не является необходимой мерой оценки риска. В этой связи, в целях оценки риска должны заполняться лишь первые три столбца. Для проведения дальнейшего анализа риска на основе ОНЧ эксперту необходимо оценить вероятность реализации того или иного фактора риска. В этой связи будет использована модификация описанного выше качественного анализа риска проект. Необходимо заполнить таблицу, состоящую из трех столбцов: наименование риска, возможный ущерб, оценка вероятности реализации риска.

Рассмотрим более подробно каждый из пунктов модифицированного качественного анализа.

Наименование риска

В настоящее время в теории риск менеджмента существуют различные классификации рисков. Согласно Грачевой М.В., Секерину А.Б. [2, с. 75] к основным видам рисков могут быть отнесены следующие виды:

- строительный риск;
- технический риск;
- маркетинговый риск;
- экологический риск;
- риск участников проекта;
- социальный риск;
- организационно-управленческий риск;
- финансовый риск;
- юридическо-правовой риск;
- риск форс-мажор;
- военно-политический риск;
- специфический риск.

Первым шагом, который должен сделать эксперт при осуществлении модифицированного качественного анализа, является выделения основных видов рисков, которые характерны для данного инвестиционный проект. Данная процедура может быть аккуратно осуществлена только на основе тщательного анализа всех информационных материалов по проекту, таких как бизнес-план, финансовая модель, маркетинговые исследования и т.д. Эксперт может выделить все факторы риска, только после того, как приобретет должное понимание сущности проекта.

Последствия и возможный ущерб

Реализация того или иного вида риска влечет за собой негативные последствия. Так реализация одних рисков ведет к краху проекта и потере первоначальных инвестиций, тогда как другие риски могут привести к потере только части будущих денежных потоков. Итак, для оценки возможного ущерба эксперт может прибегать к различным способам оценки. Самым популярным методом является использование финансовой модели с целью определения количественного изменения чистого приведенного дохода² проекта при реализации того или иного вида риска. В данном случае эксперт должен варьировать некоторые входные переменные финансовой модели, чтобы получить величину возможного ущерба (величина уменьшения ЧДД).

Однако существуют факторы риска, наличие которых достаточно сложно отразить в финансовой модели. К таким факторам, например, может быть отнесен риск участников проекта. В данном случае эксперт может применять как все известные методы оценки величины ущерба, так и основываться на здравой логике.

² Или любого другого критерия эффективности проекта.

Так как величина ущерба должна быть задана в лингвистической форме, после проведения оценки возможного ущерба, эксперт должен описать полученную величину ущерба в лингвистической форме (по аналогии с п. 1 текущего алгоритма).

Оценка вероятности реализации риска

После оценки ущерба эксперт должен оценить вероятность реализации всех видов риска, свойственных данному инвестиционному проекту. Получить данную оценку чаще всего можно только экспертным путем. В данном случае на основе имеющихся знаний, на основе опроса других экспертов или на основе анализа прочих источников информации эксперт приписывает каждому фактору риска вероятность его реализации. Если в оценке возможного ущерба существуют некоторые популярные и обоснованные методы проведения данной оценки, то проблема оценки вероятности реализации риска решается субъективными методами. В процессе оценке вероятности эксперт должен использовать все свои знания относительно сущности проекта, текущей экономической ситуации в стране и в мире и прочие знания.

Примером реализации п. 2 алгоритма может служить таблица следующего вида (табл. 2).

Таблица 2

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ РИСКА

Наименование риска	Возможный ущерб	Оценка вероятности реализации риска
Риск 1	Высокий	Низкая
.....
Риск N	Низкий	Высокая

Итак, первым разделом алгоритма оценки риска ИП является проведение модифицированного качественного анализа риска. Данный раздел является крайне важным, так все входные переменные формируются именно за счет выполнения данного анализа. На данном этапе эксперт должен сосредоточить все усилия на глубинном анализе проекта, рассмотрении проекта как системы взаимосвязанных процессов, каждому из которых присущ тот или иной риск.

3. Приписывание степени уверенности в вероятности реализации того или иного фактора риска

После проведения качественного анализа риска исследователь имеет определенный список факторов риска. Каждый фактор риска характеризуется тремя факторами: вероятностью его реализации, величиной возможного ущерба и степени уверенности эксперта в оценке вероятности реализации.

На основе проведенного качественного анализа эксперт, опираясь на свое понимание процесса, должен придать переменным вероятности реализации и величины возможного ущерба те или иные лингвистические термы. В зависимости от уверенности эксперта в своем решении относительно отнесения вероятности неудачи к тому или иному терму, он должен приписать каждому фактору риска свой показатель степени уверенности ($0 \leq w \leq 1$).

В процессе поиска вероятностей реализации тех или иных факторов риска, эксперт может обладать разной степенью уверенности в своих решениях. В каких-то случаях существует высокая доля уверенности в том,

что определенный фактор риска имеет ту или иную вероятность, а в каких-то случаях эксперт испытывает сильные сомнения относительно вероятности реализации фактора риска. Все сомнения вводятся в модель через переменную степени уверенности.

Схематично для трех факторов риска данный процесс можно представить следующим образом (табл. 3).

После того как исследователь приведенным выше образом описывает все возможные факторы риска, необходимо перейти к расчету показателя риска проекта.

Таблица 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УВЕРЕННОСТИ В ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФАКТОРОВ РИСКА

Факторы риска (наименование риска)	Вероятность реализации фактора P _i	Величина ущерба W _i	Степень уверенности в вероятности реализации риска w
A ₁	Крайне низкая	Низкая	1.0
A ₂	Высокая	Очень высокая	0.8
A ₃	Средняя	Средняя	0.76

4. Получить переменную риск проекта в форме ОНЧ

Рассчитать показатель риска проекта с учетом имеющихся характеристик вероятности реализации, величины возможного ущерба и степени уверенности эксперта в оценке вероятности реализации можно как средневзвешенное среднее вероятности неудачи по каждому фактору риска, где в качестве весов выступают величины ущерба [19, с. 1760]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Так как все показатели, входящие в данную формулу являются ОНЧ, то все расчеты должны проводиться в соответствии с описанными выше методами проведения арифметических операций с ОНЧ. В результате проведения данных расчетов эксперт должен получить одну из двух (или обе) альтернативных записей переменной риска:

$R = (P(R), W_R)$

или

$R = (a, b, c, d, w_R)$.

5. Рассчитать меру сходства полученной переменной риска проекта с каждым из термов заданной лингвистической переменной риска

В данном пункте необходимо провести расчет степени сходства полученной п. 4 настоящего алгоритма переменной риска с каждым из лингвистических термов риска, введенными в п. 1 настоящего алгоритма. При условии использования в расчетах показателя средней интеграции степень сходства необходимо рассчитать по следующей формуле:

$$S(R; term_i) = \frac{1}{1 + |P(R) - P(term_i)| + |w_R - w_{term_i}|}$$

При условии использования в расчетах стандартной записи ОНЧ степень сходства необходимо рассчитать по следующей формуле:

$$S(R; term_i) = \frac{1}{1 + |\chi_R - \chi_{(term_i)}| + |W_R - W_{term_i}|}$$

Результатом проведения данных расчетов являются девять чисел, характеризующих меру сходства риска проекта с каждым из заданных термов.

6. Приписать переменной риск лингвистический терм, соответствующий наибольшему значению степени сходства

На основе итераций, проделанных в п. 5 настоящего алгоритма, необходимо ранжировать полученные меры сходства и выбрать наибольшую из них. Переменная риск будет отнесена к лингвистическому терму с наибольшей степенью сходства.

Рассчитать точное значение риска проекта.

После реализации п. 6 настоящего алгоритма исследователь получает информацию о типе риска, который несет в себе проект. Однако эта информация представлена в лингвистической форме. Возможно, исследователю необходимо оценить точное значение риска. Для этого необходимо выполнить процедуру дефазификации по следующей формуле:

$$y = \frac{\int_{\min}^{\max} x * \varphi(x) dx}{\int_{\min}^{\max} \varphi(x) dx} = \frac{(a_3^2 + a_4^2 + a_3 a_4 - a_1^2 - a_2^2 - a_1 a_2)}{3(a_4 + a_3 - a_1 - a_2)}$$

После проведения соответствующих расчетов исследователь получает четкую оценку риска. Однако для расчета точного значения риска проекта эксперту необходимо иметь в наличии стандартную запись переменной риска.

3. ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ РИСКА

Предположим, что перед экспертом (группой экспертов) стоит задача оценить риск конкретного инвестиционного проекта. Также предположим, что эксперт ознакомился со всей необходимой проектной документацией и обладает достаточным уровнем знаний для оценки типов риска, свойственных данному проекту.

Ниже приведено краткое описание реализации алгоритма оценки риска.

1. Задать все переменные в лингвистической форме

Необходимо задать три лингвистические переменные: риск проекта, вероятность реализации фактора риска и величина возможного ущерба. Все переменные состоят из девяти термов. Переменные в лингвистической форме задаются следующим образом:

РИСК = {Крайне низкий, Очень низкий, Низкий, Достаточно низкий, Средний, Достаточно высокий, Высокий, Очень высокий, Экстремальный};

Вероятность реализации фактора риска = {Крайне низкая, Очень низкая, Низкая, Достаточно низкая, Средняя, Достаточно высокая, Высокая, Очень высокая, Экстремальная};.

Величина ущерба = {Крайне низкая, Очень низкая, Низкая, Достаточно низкая, Средняя, Достаточно высокая, Высокая, Очень высокая, Экстремальная}.

Координаты соответствующих термов приведены в табл. 1.

2. Провести модифицированный качественный анализ риска инвестиционного проекта

Предположим, что эксперт на основе анализа проектной документации выделяет четыре основные фактора риска, свойственные данному проекту (табл. 4).

Таблица 4

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ВТОРОГО ЭТАПА АЛГОРИТМА

Факторы риска (наименование риска)	Вероятность реализации фактора P1	Величина ущерба W1
Риск участников проекта	Очень высокая	Очень высокий
Сбытовой риск	Высокая	Достаточно высокий
Маркетинговый риск	Высокая	Высокий
Финансовый риск	Средняя	Средний

3. Присвоение степени уверенности эксперта в вероятности реализации всех факторов риска

Далее эксперт приписывает каждому фактору риска степень уверенности в вероятности реализации данного фактора (табл. 5).

Таблица 5

ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕТЬЕГО ЭТАПА АЛГОРИТМА

Факторы риска (наименование риска)	Вероятность реализации фактора Pi	Величина ущерба Wi	Степень уверенности в вероятности реализации w
Риск участников проекта	Очень высокая	Очень высокий	1,0
Сбытовой риск	Высокая	Достаточно высокий	0,9
Маркетинговый риск	Высокая	Высокий	0,9
Финансовый риск	Средняя	Средний	0,7

В данном случае эксперт абсолютно уверен, что риск участников проекта присущ данному проекту. Также эксперт с достаточно большой степенью уверенности приписывает сбытовому и маркетинговому риску высокую вероятность реализации. Степень уверенности в реализации финансового риска меньше.

4. Рассчитать показатель риска проекта как средневзвешенное среднее вероятности неудачи по каждому фактору риска, где в качестве весов выступают величины ущерба

Риск может быть рассчитан по следующей формуле [19, с. 1760]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Все входящие в данную формулу переменные были получены в п. 2 настоящего алгоритма и собраны в финальной таблице. На основе заданных лингвистических термов и на основе имеющейся степени уверенности эксперта в реализации того или много фактора риска, необходимо провести расчет риска по вышеописанной формуле.

Все расчеты проведены и для случая задания ОНЧ через среднюю интеграцию и для случая стандартной записи ОНЧ. Ниже приведены результаты расчетов:

$$R = (P(R), w_R) = (0,81; 0,899)$$

или

$$R = (a, b, c, d, w_R) = (0,76; 0,84; 0,9; 0,96; 0,7).$$

5. Рассчитать меру сходства

Рассчитать меру сходства полученной в предыдущем пункте переменной риска проекта с каждым из термов заданной лингвистической переменной риска по следующей формуле:

$$S(R; term_i) = \frac{1}{1 + |P(R) - P(term_i)| + |w_R - w_{term_i}|}.$$

Альтернативным вариантом расчета меры сходства является мера, рассчитанная через средние значения³:

$$S(R; term_i) = \frac{1}{1 + |\chi_R - \chi_{(term_i)}| + |w_R - w_{term_i}|}.$$

Все расчеты были проведены с помощью построенной модели в MS Excel. Получаем следующие результаты расчетов (табл. 6).

Таблица 6

РЕЗУЛЬТАТ ОЦЕНКИ РИСКА

№	Название терма	Координаты	S(R, term) через P	S(R, term) через χ
1	Крайне низкий	(0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 1,0)	0,52326	0,461746
2	Очень низкий	(0,0; 0,0; 0,02; 0,07; 1,0)	0,5274	0,466593
3	Низкий	(0,04; 0,1; 0,18; 0,23; 1,0)	0,556763	0,49305
4	Достаточно низкий	(0,17; 0,22; 0,36; 0,42; 1,0)	0,605659	0,533848
5	Средний	(0,32; 0,41; 0,58; 0,65; 1,0)	0,683638	0,596768
6	Достаточно высокий	(0,58; 0,63; 0,80; 0,86; 1,0)	0,812285	0,690515
7	Высокий	(0,72; 0,78; 0,92; 0,97; 1,0)	0,904378	0,758614
8	Очень высокий	(0,93; 0,98; 1,0; 1,0; 1,0)	0,79319	0,708312
9	Экстремальный	(1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0)	0,369103	0,697201

Из приведенной таблицы можно заключить, что результаты проведения расчетов степени сходства различны при использовании средней интеграции или среднего значения. Однако в большинстве случаев рассчитанные по разным способам меры сходства имеют схожую структуру. При расчете по обеим формулам получаем, что наибольшее значение меры

сходства присуще одному и тому же терму. Так, в данном примере, риск проекта имеет наибольшую степень сходства с термом «высокий» при использовании обоих методов расчета.

6. Приписать переменной риск лингвистический терм, соответствующий наибольшему значению степени сходства

В соответствии с расчетами, проведенными в п. 4 настоящего алгоритма, получаем, что максимальное значение степени сходства соответствует терму 7. Тем самым риск в данном случае является «высоким».

7. Рассчитать точное значение риска проекта

Точное значение риска может быть рассчитано в соответствие со следующей формулой:

$$y = \frac{\int_{min}^{max} x * \varphi(x) dx}{\int_{min}^{max} \varphi(x) dx} = \frac{(a_3^2 + a_4^2 + a_3 a_4 - a_1^2 - a_2^2 - a_1 a_2)}{3(a_4 + a_3 - a_1 - a_2)} = 0,8645.$$

Для того чтобы провести расчеты в соответствие с данной формулой необходимо получить переменную риск, рассчитанную через стандартные арифметические операции. Данное представление переменной получено в п. 3 настоящего алгоритма.

В принципе, в большинстве случаев алгоритм оценки риска может быть завершен на этапе 5, так как эксперт получает оценку риска в лингвистической форме и может на основе данной оценки принимать решения. В рассмотренном выше случае риск проекта является высоким и возможность неудачи оценивается в 86,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение алгоритма оценки риска инвестиционного проекта на основе теории обобщенных нечетких чисел несет в себе ряд преимуществ.

- Во-первых, разработанные алгоритмы предполагают проведение достаточно большой работы на этапе идентификации факторов риска, что является большим преимуществом, так как точная и аккуратная идентификация факторов риска способствует наиболее точной оценке риска.
- Во-вторых, теория обобщенных нечетких чисел позволяет рассмотреть степень уверенности эксперта в своем мнении относительно возможности реализации тех или иных факторов риска.
- В-третьих, разработанный алгоритм оценки риска на основе теории обобщенных нечетких чисел является универсальным способом оценки риска. Отличительным преимуществом данного алгоритма является тот факт, что он применим к любым инвестиционным проектам, так как для любого проекта может быть проведен качественный анализ риска.

Основным недостатком нечеткого подхода является трудность восприятия постулатов данной теории. Если классический подход зиждется на привычной всем булевой логике, то весьма не просто сменить не только математический аппарат, но и логику, в рамках которой приходится работать.

Гавриленко Максим Алексеевич

³ Необходимость расчета меры сходства по двум формулам обусловлена тем, что деффагификация ОНЧ может быть проведена только при осуществлении всех расчетов через среднее значение ОНЧ.

Литература

1. Беллман Р. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде – М. : Мир, 1976.
2. Грачева М.В. Риск-менеджмент инвестиционного проекта [Текст] / М.В. Грачева, А.Б. Секерин. – М. : Юнити, 2009.
3. Chen S.H. Ranking fuzzy numbers with maximizing set and minimizing set // Fuzzy sets and systems. 1985. Vol. 17, №2. p. 113-129.
4. Chen S.J., Chen S.M. Fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers // Expert systems with applications. 2008. Vol.35. p. 6833-6842.
5. Chen S.M. New methods for subjective mental workload assessment and fuzzy risk analysis. 1996.
6. Deng Yong, Shi Wenkang, Du Feng, Liu Qi. A new similarity measure of generalized fuzzy numbers and its application to pattern recognition. 2004.
7. Hsieh C.H., Chen S.H. Similarity of generalized fuzzy numbers with graded mean integration representation. 1999.
8. Jim-Ho Chen Shyi-Ming Chen. A new method for ranking generalized fuzzy numbers for handling fuzzy risk analysis problems. 2011.
9. Kangari R., Riggs L.S. Construction risk assessment by linguistics // IEEE Trans. Eng. Manag. 1989.
10. Lee H.S. Optimal consensus of fuzzy opinions under group decision making environment // Fuzzy sets systems. 2002.
11. Liu Qi, Xiong Jia, Deng Yong. A subjective methodology for risk quantification based on generalized fuzzy numbers // International journal of general systems. 2008. Vol. 37, №2. p. 149-165.
12. Peida Xu, Xiaoyan Su, Jiye Wu, Xiaohong Sun, Yajuan Zhang, Yong Deng. A note on ranking generalized fuzzy numbers. 2012.
13. Shih-Hua Wei, Shyi-Ming Chen. A new approach for fuzzy risk analysis based on similarity measures of generalized fuzzy numbers. 2009.
14. Shyi-Ming Chen, Abdul Munif, Guey-Shya Chen, Hsiang-Chuan Liu, Bor-Chen Kuo. Fuzzy risk analysis based on ranking generalized fuzzy numbers with different left heights and right heights. 2012.
15. Smolyak S.A. Optimality criteria for investment projects under uncertainty / CEMIRAS.
16. Shyi-Ming Chen, Chih-Huang Wang. Fuzzy risk analysis based on ranking fuzzy numbers using α -cuts, belief features and signal / noise ratios // Expert systems with applications. 2009. Vol.36. p. 5576-5581.
17. Sridevi B., Nadarajan R. Fuzzy smilarity measure for generalized fuzzy numbers // Int. J. Open problems compt. 2009. Math., Vol.2, №2.
18. Shyi-Ming Chen, Kata Sanguansat. Analyzing fuzzy risk based on a new fuzzy ranking method between generalized fuzzy numbers // Expert systems with applications. 2011. Vol.38. p. 2163-2171.
19. Xiaoyan Su, Wen Jiang, Jianling Xu, Peida Xu, Yong Deng. A new fuzzy risk analysis method based on generalized fuzzy numbers // Expert systems with applications. 2012.

Ключевые слова

Инвестиционный проект; риск; неопределенность; нечеткое множество; нечеткое число; функция принадлежности; обобщенное нечеткое число; лингвистическая переменная; терм лингвистической переменной; степень принадлежности; мера схожести чисел.

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность темы исследования. В условиях постоянно меняющейся экономической конъюнктуры, внедрение эффективной системы анализа рисков на сегодняшний день является одним из наиболее приоритетных направлений развития бизнеса. Однако эффективная процедура анализа риска должна быть построена не только на существующих методиках оценки рисков, но и должна включать в себя новейшие подходы к риск-анализу, использование которых в процессах принятия решений позволило бы сократить возможность потерь и стимулировало бы принятие наиболее рациональных решений. Именно развитие новейших и наиболее эффективных подходов риск-анализа является необходимым условием минимизации риска потерь всех участников инвестиционного процесса. Актуальность исследования обусловлена разработкой авторского подхода к анализу риска инвестиционного проекта на основе одного из новейших течений в риск-менеджменте – теории нечетких множеств.

Научная новизна и практическая значимость. В статье подробно описаны основные этапы разработанного алгоритма оценки риска инвестиционного проекта. Данный алгоритм является модификацией существующих на сегодняшний день подходов к оценке риска инвестиционного проекта на основе теории обобщенных нечетких чисел. С одной стороны, автор модифицирует математический инструментарий алгоритма, преодолевая недостатки существующих аналогов. С другой стороны, автор не ограничивается улучшением математического инструментария, но и подробно рассматривает каждый этап алгоритма и приводит пример его практической реализации на основе учебного примера. Практическая применимость разработанной методики оценки риска подтверждается тем, что данный алгоритм применим к любым инвестиционным проектам. Необходимым условием успешного применения алгоритма является наличие эксперта.

Заключение: рецензируемая статья отвечает требованиям, предъявляемым к научным публикациям, заслуживает высокой положительной оценки и может быть рекомендована к опубликованию.

Грачева М.В., д.э.н., профессор, зав. кафедрой математических методов анализа экономики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова