

Формирование портфеля инвестиционных проектов с использованием теории нечетких множеств

Г. Р. Хакимова¹, Л. О. Какава², А. Ш. Киреевкова³

Санкт-Петербургский государственный экономический университет

¹haki10@mail.ru, ²kakava71@mail.ru, ³Anaida@inbox.ru

Л. В. Лапочкина

Северный (Арктический) федеральный университет

им. М.В. Ломоносова

lyvip@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены исследования применения теории нечетких множеств при формировании портфеля инвестиционных проектов из дискретного множества доступных проектов. Исследования даны в разрезе анализа лингвистических переменных оценки риска и нечетких параметров основных показателей проекта и дополнены элементами сценарного анализа.

Ключевые слова: теория нечетких множеств; инвестиционные проекты; сценарный анализ; оценка риска; портфель инвестиционных проектов; инновационные проекты

I. ВВЕДЕНИЕ

Для решения стратегических задач при выборе инвестиционных проектов важным является обоснованная и всесторонняя оценка. Принимать решения, основываясь только лишь на оценке показателей, соизмеряющих полученный эффект от реализации ИП с его затратами, является недостаточным, так как на эффективность и результативность реализации проекта влияют и другие показатели, по которым не всегда можно получить точные данные.

Наиболее сложным является оптимизировать портфель на фоне постоянно меняющихся условий реализации проектов. Всегда есть место воздействию посторонних факторов внутренней и внешней среды, процессы принятия решений происходит в условиях неопределенности. При выборе инвестиционных проектов для учета фактора неопределенности заменяют детерминированные данные на вероятностные, используют сочетание экспертных и статистических методов, учитывают рисковую премию.

Авторы предполагают, что выражение экспертных оценок через нечеткие числа уменьшают недостатки применения средневзвешенных значений входных параметров проектов, что может привести к получению значительно смещенных точечных оценок показателей эффективности и риска. В ряде ситуаций, применение теории вероятностей не дает эффекта из-за недостатка данных или их неточности, в таких ситуациях оправдано применение теории нечетких множеств. Нечёткие множества были определены Л. Заде в 1965 году, как формальный аппарат для обработки высказываний естественного языка. Согласно данной теории эксперты могут придать результатам экспертной

оценки конкретный математический смысл, что позволяет перевести качественные экспертные оценки в количественные [1]. Положительным моментом является и использование сценарного подхода в нечетких множествах: экспертная комиссия предлагает несколько вариантов развития событий: пессимистический, оптимистический и ожидаемый сценарий, а полученную в результате информацию можно объединить в виде нечёткого треугольного числа – для каждого проекта и сравнить их для выбора оптимальных проектов.

II. МЕТОДОЛОГИЯ

Проведенный анализ основных публикаций по использованию теории нечетких множеств при формировании портфеля инвестиционных проектов и оценки их рисков показал популярность данной темы, как в отечественных, так и в зарубежных источниках. Можно выделить следующие правила применения нечетких множеств к оптимизации портфеля проектов.

При применении теории нечетких множеств к оценке инвестиционных проектов следует определиться с алгоритмом действий, а также с выбором методики оценки. Так, например, при определении функции принадлежности определяется количественно степень точности знания о сложном явлении, для этого оценивается степень принадлежности переменной к нечеткому множеству. Элемент может принадлежать множеству в диапазоне от 0 до 1 с большей или меньшей степенью достоверности.

Функция принадлежности выражает субъективную оценку эксперта через нечеткие числа. Под треугольным нечетким числом понимается нечеткое число с треугольной функцией принадлежности (a_1, a_2, a_3). Также применяется и трапециевидная функция принадлежности. В тех случаях, когда речь идет о меняющихся данных, нечетких или недостоверных цифрах показателей, имеет смысл применение теории нечетких множеств [2].

Для оценки проектов вводятся лингвистические переменные, обозначаются они не в числовом формате, а словами, например, низкий, средний, высокий. Количество терм – множества должно содержать шкалу, которая определяет весь возможный спектр состояний показателя, что

позволит получить дифференцированные оценки. Обычно выделяют 5-11 термов.

Для графического отображения определенных экспертами лингвистических переменных в виде нечетких множеств для каждой переменной определяется функция совместимости, т.е. каждому элементу лингвистической переменной определяется значение совместимости этого элемента [5].

Функции совместимости значений термов записываются как наборы упорядоченных пар: по оси OX значение базовой переменной и по оси OY откладываются значения функции совместимости. При анализе инвестиционных проектов проблема возникает с количеством выбранных для анализа показателей: оценки каждого из них неоднозначны, сложно сопоставимы и требуют дополнительной информации. Существуют два типа лингвистической информации – взвешенная, когда определяется степень важности переменной в полном наборе, и не взвешенная, когда имеется только список лингвистических переменных. И в этом случае, взвешенная информация наиболее предпочтительна, даже при наличии экспертной комиссии с большим разбросом оценок, для выбора лучших оценок. Мнения экспертов могут противоречить друг другу, поэтому подвергаются агрегированию для получения единого заключения. Также необходимо оценить коэффициент конкордации.

Нами предлагается оптимизировать портфель проектов, анализируя нечеткие параметры риска, что также позволит оценить уровень рисков проектов портфеля. Для этого выберем два основных направления: NPV и риски. На рис. 1 представлена схема формирования портфеля инвестиционных проектов с использованием аппарата нечетких множеств.



Рис. 1. Схема отбора оптимальных инвестиционных проектов с использованием аппарата нечетких множеств

Несомненным преимуществом применения теории нечетких множеств к оценке проектов является возможность сопоставления качественно разных показателей и параметров с различными единицами измерения.

При рассмотрении на предприятии множества инвестиционных проектов сложно выбрать качественные показатели для сравнения и выбора среди представленных аль-

тернатив, для сравнения эффективности проекта чаще всего используют чистый дисконтированный доход. Интегрированную ценность каждого проекта в целом определить сложно, но при этом каждый проект представляет собой единую схему, без возможности использования отдельными предложениями. И для анализа и выбора проекта необходимо определить основные параметры, по которым будет приниматься решение о формировании портфеля. Поэтому, при принятии решения выбираются те проекты, которые могут быть реализованы с учетом возможной суммы первоначальных капиталовложений и обеспечат максимальную величину чистого дисконтированного дохода.

Для проектов, которые выбраны для анализа, определяются a_i – инвестиционные затраты и общий объем доступных инвестиционных средств b , при этом предлагается сочетать теорию нечетких множеств, сценарный подход и оценку риска. Для каждого проекта расчеты проводятся отдельно, определяются риски как общего плана: недофинансирования, стратегические риски, так и специфические, присущие только выбранному проекту. В то время как выбор экономических показателей проекта предпочтителен единый для всех проектов: в основном это NPV, IRR, в редких случаях срок окупаемости проекта. Для крупных проектов или проектов с длительным сроком реализации NPV разделяется на дисконтированные денежные потоки.

В результате предлагается ориентироваться на стремление чистого дисконтированного дохода к максимуму [5,6]. В форме нечеткой модели это оформляется как задача выбора из n инвестиционных проектов. Модель задачи выражается как функция стремления суммарной (интегральной) NPV к максимальному результату:

$$c(x) = \sum_{i=1}^n NPVi \rightarrow \max$$

Для достижения подобного варианта должны выполняться следующие условия: $\sum_{i=1}^n a_i x_i \leq b$, $x_i = 0$ при исключении проекта из инвестиционного портфеля, и $x_i = 1$, если инвестиционный проект выбирается в портфель; n – количество проектов, $b > 0$, $a_i > 0$, $NPVi > 0$, $\sum_{i=1}^n a_i > b$, $a_i \leq b$, $i = 1, \dots, n$.

Для дальнейшего анализа x_i присваиваются значения 0 или 1 так, что функционал $c(x)$ достигает максимального значения, а следовательно выполняются условия нашей задачи. Все значения показателей, которые выбраны в заданном интервале, все возможные, выражаются нечеткими числами.

Если принимается решение оценивать NPV отдельно по статьям, оценивать каждый денежный поток, участвующие в расчете показателя NPV, то для оценки и учета следует выбрать все ожидаемые потоки – поступления от продаж в период t , переменные и постоянные издержки в период t , инвестиции в период t , налоги и другие выплаты и т.д.

При применении теории нечетких множеств следует учитывать сценарный анализ проектов, что предполагает

анализ и оценку трех вариантов развития реализации проекта: оптимистического, пессимистического и вероятного, с расчетом трех значений NPV: NPV_p – для пессимистического, NPV_0 – для оптимистического, и NPV_v – для вероятного варианта [5]. Следовательно выражаем выбранные параметры нечеткими треугольными числами ($NPVi(l,t)p$, $NPVi(l,t)o$, $NPVi(l,t)s$) для $i = 1, 2, \dots, 6$.

Функции принадлежности этих нечетких чисел выражаются интервалами у которых границы заданы оптимистическими и пессимистическими оценками, а вершинами с максимальными значениями функций принадлежности, определяемыми вероятными оценками. Данные оценки приближительны, поэтому, можно считать, что треугольные функции принадлежности вполне пригодны для описания неопределенности и удобны для выполнения всех необходимых операций с нечеткими числами. Единственным неохваченным показателем является риск проекта. Для оценки рисков используем вторую колонку рис. 1.

Алгоритм оценки рисков инвестиционного проекта описывается следующим образом.

- Выделить риски инвестиционного проекта и по каждому задать все переменные в лингвистической форме.
- Определить важность, вероятность реализации каждого фактора риска и ущерб по ним.
- Выбрать наиболее опасные риски по предыдущему пункту и определить показатель риска проекта как взвешенное среднее по каждому фактору риска с учетом возможного ущерба.
- Определить меру сходства переменной риска инвестиционных проектов с каждым из термов заданной лингвистической переменной риска.
- Выбрать инвестиционный проект.

Анализ риска начинается с определения экспертом набора лингвистических термов: виды рисков по проектам, вероятность наступления риска, важность риска, величина ущерба в случае наступления риска. Переменными риска выберем следующие: ничтожный, очень низкий, низкий, среднее низкий, средний, среднее высокий, высокий, очень высокий, критичный [8, 10]. Все виды рисков классифицируются, подразделяются на группы, соответствующие определяющим NPV прогнозируемым денежным потокам. Например, риски снижения дохода от продаж, риски увеличения себестоимости и т.п. Смысл термов задается нечеткими числами, определенными на интервале от 0 до 1 и треугольными функциями принадлежности.

ТАБЛИЦА I ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ РИСКА

№	Название термина	Координаты
1	Ничтожный	(0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 0,0; 1,0)
2	Очень низкий	(0,0; 0,0; 0,02; 0,05; 0,07; 1,0)
3	Низкий	(0,04; 0,1; 0,18; 0,23; 0,34; 1,0)
4	Средне низкий	(0,17; 0,22; 0,36; 0,42; 0,55; 1,0)
5	Средний	(0,29; 0,34; 0,49; 0,53; 0,69; 1,0)

№	Название термина	Координаты
6	Средне высокий	(0,47; 0,53; 0,78; 0,83; 0,92; 1,0)
7	Высокий	(0,62; 0,74; 0,82; 0,95; 0,99; 1,0)
8	Очень высокий	(0,91; 0,94; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0)
9	Критичный	(1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0; 1,0)

На втором этапе эксперты выделяют риски проектов на основании анализа всех их параметров и определяют вероятность наступления риска, возможный ущерб по нему и важность риска для проекта, используя экспертно-статистические методики. На основе проведенного качественного анализа эксперт должен придать переменным вероятности, важности и ущерба лингвистические термы [4].

ТАБЛИЦА II ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ УВЕРЕННОСТИ В ВЕРОЯТНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ФАКТОРОВ РИСКА

Факторы риска	Вероятность реализации риска P_i	Важность риска для проекта w	Величина ущерба W_i
Риск 1	Крайне низкая	1,0	Низкая
Риск 2	Высокая	0,8	Очень высокая
Риск 3	Средняя	0,5	Средняя
Риск 4	Достаточно высокая	0,76	Средняя

Для инновационных проектов имеет смысл определить риски по двум направлениям: риски увеличения затрат на подготовку и создание проекта и риски недостаточных денежных потоков проекта. Чем выше уровень риска негативного изменения параметра, тем больше значение базовой переменной с максимальным значением функции принадлежности должно смещаться от величины денежного потока для вероятного варианта к величине денежного потока для пессимистического варианта [6].

Все выбранные показатели риска рассчитываются как средневзвешенное вероятности наступления по каждому фактору риска, по которому ущерб является ощутимым для проекта [3]:

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

В результате эксперт получает одну или обе альтернативных записей переменной риска: $R = (P(R), WR)$ или $R = (a, b, c, d, wR)$.

Следующим этапом проводится оценка степени сходства полученной переменной риска с каждой из лингвистических термов риска. При условии использования в расчетах показателя средней интеграции степень сходства необходимо рассчитать по следующей формуле [3]:

$$c(R, term_i) = \frac{1}{(1 + |P(R) - P(term_i)|) + |W_r - W_{term_i}|}$$

Результатом проведения данных расчетов являются числа, характеризующих меру сходства риска проекта с каждым из заданных термов. Полученные меры сходства ранжируются и выбирается наибольшая из них. Переменная риск будет отнесена к лингвистическому терму с наибольшей степенью сходства [7, 9].

Нечеткое NPVi находится в интервале его значений от пессимистического до оптимистического. Цифра 1 – максимальная степень функции принадлежности, соответствует пессимистическому значению параметра при максимальном значении уровня риска. Соответственно, при уровне риска соответствующем лингвистической переменной «практически отсутствует» максимальную степень функции принадлежности имеет вероятное ожидаемое значение параметра NPV.

Использовать для подобного уровня риска оптимистическое значение параметра NPV означает игнорировать влияние риска на проект, так как практическое отсутствие риска или его ничтожно малое воздействие на проект не говорит о том, что это вызывает благоприятное изменение параметра и не дает гарантии отсутствия данного риска в будущем, в течении реализации проекта. В результате для каждого проекта определяется чистый приведенный доход NPV, значение которого представляется нечетким числом.

В большинстве случаев на данном этапе получения интервала, нечетких чисел и параметров сравнения инвестиционных проектов является достаточным для формирования портфеля, но иногда требуется получить точное значение показателей, выбранных для анализа и трансформированных в нечеткие числа. Процесс получения точного значения показателя называется дефазификация.

В случае необходимости провести процедуру дефазификации для получения точного числа риска можно по следующей формуле [3]:

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

В качестве основы для смещения используется величина NPV вероятного варианта, так как риск проявляется в отклонении достигнутых параметров проекта от их ожидаемого значения.

III. ВЫВОДЫ

Все проекты проходят процедуру структурирования в виде иерархии по экспертному мнению, анализ важности критериев выбора, оценку показателей NPV и рисков с помощью теории нечетких множеств и выбор альтернатив. Схема является цикличной, так проекты после отбора еще раз подвергаются структурированию по важности.

Фактически вся процедура графически может быть представлена следующим рисунком (рис. 2).

Формирование портфеля инвестиционного проекта на основе теории нечетких множеств несет в себе ряд преимуществ, таких как универсальность, гибкость, широкий охват оценок. Аппарат теории нечетких множеств предполагают проведение большой предварительной работы на этапе выявления и анализа факторов риска, что способствует более точной оценке риска, накоплению базы данных по рискам и в перспективе оценке факторов риска в динамике. К недостаткам можно отнести трудность восприятия данной теории и сложность интерпретации ре-

зультатов. Критерий риска определяется не только оценкой, но и весом критерия, степенью важности в комплексной оценке риска проекта. Сочетание оценки риска с анализом NPV помогает определить оптимальный состав проектов портфеля. Другим существенным преимуществом этого метода можно назвать возможность сопоставления качественно разных элементов системы с различными единицами измерения.



Рис. 2. Процедура формирования портфеля инвестиционных проектов с использованием аппарата нечетких множеств

Всегда ли оправдано применение нечетких множеств к формированию портфеля проектов? На наш взгляд, эффективность применения подходов на основе вероятностных, нечетко-множественных и экспертных оценок, зависит от конкретного проекта, его характеристик, зависимости от внешней среды, от уровня и характера риска. По мере увеличения риска вероятностные описания менее эффективны, чем экспертные, а их сочетание с теорией нечетких множеств позволяет охватить большее количество факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Алтуний А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. - 352 с.
- [2] Гавриленко М.А. Применение теории нечетких множеств в оценке рисков инвестиционных проектов // Аудит и финансовый анализ. 2013. № 5. URL: http://www.auditfin.com/fin/2013/5/2013_V_03_03.pdf.
- [3] Грачева М.В. Риск-менеджмент инвестиционного проекта [Текст] / М.В. Грачева, А.Б. Секерин. – М.: Юнити, 2009
- [4] Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. Физматлит, 2001. - 224 с.
- [5] Перерва О.Л. Основные показатели оценки экономической эффективности альтернативных инновационных проектов // Вестник машиностроения. - 2005. - № 12. - С. 60-65.
- [6] Птускин, А.С. Решение стратегических задач в условиях размытой информации. М.: Дашков и К, 2003.
- [7] Пупков К.А., Коньков В.Г. Интеллектуальные системы. – М.: МГТУ им.Баумана, 2003. – 348 с.
- [8] Лившиц М.Л., Шишялковский Б.И. Лакокрасочные материалы: Справ. пособие. 2-е изд. СПб.: Химия, 1996. 264 с.
- [9] Bollinger, D., Pictet, J. Multiple criteria decision analysis of treatment and land-filling technologies for waste incineration residues // OMEGA The International Journal of Management Science. 2008. 36. Pp. 418-428.
- Chen, C. T., Lin, C. T., Huang S.F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management // International Journal of Production Economics. 2006. 102. Pp. 289-301.