

УДК: 330.322.2:658.011

Пуряев Айдар Султангалиевич,

кандидат экономических наук, доцент,

Камская государственная инженерно-экономическая академия (г. Набережные Челны);

e-mail: aidarp@mail.ru

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ КОМПРОМИСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Представлена проблема компромиссной оценки эффективности инвестиционных проектов. Обосновано применение теории агрегирования и теории нечетких множеств в оценке эффективности инвестиционных проектов. Разработан математический аппарат компромиссной оценки эффективности инвестиционных проектов.

Ключевые слова: инвестиционный проект, оценка, нечеткие множества, функция желательности, эффективность.

Puryaev Aidar Sultangalievich,

candidate of Economic Science,

professor assistant of the Kama State Academy for Engineering and Economics

(Naberezhnye Chelny)

THE MATHEMATICAL APPARATUS OF INVESTMENT PROJECTS EFFICIENCY COMPROMISE ESTIMATION

The problem of investment projects efficiency compromise estimation is presented. Application of the theory aggregation and the theory fuzzy sets in an estimation of investment projects efficiency is proved. The mathematical apparatus of investment projects efficiency compromise estimation is developed.

Keywords: investment project, estimation, fuzzy sets, desirability function, efficiency.

Сущность проблемы оценки эффективности инвестиционных проектов. Проблема заключается в том, как объективно и системно оценить (измерить) эффективность предстоящей инвестиционной деятельности (проекта), включая в возможность оценки все существенные и не-существенные, значимые и не очень, простые и сложные, экономические и внеэкономические (социальные, экологические, ресурсные, технико-технологические и т.п.), стоимостные и временные, количественные и качественные и прочей природы параметры. При этом, с нашей точки зрения, все должно сводиться в один итоговый показатель, чтобы дать понятную, объективную и однозначную оценку эффективности проекта. Итоговый (конечный) показатель эффективности должен удовлетворять ряду требований, предъявляемых к параметрам оптимизации [1]: являться

- *количественным*;
- *единым* (выражаться одним числом);
- *однозначным*, т.е. заданному набору значений учитываемых показателей в оценке (частных параметров оценки) соответствует одно значение итогового показателя;
- *универсальным*, всесторонне характеризовать объект (эффективность ИП);
- *соответствовать требованию полноты*, т.е. являться достаточно общим, неспецифичным, характеризовать объект как единое целое.

Проблема оценки эффективности предстоящей инвестиционной деятельности предприятий в современных условиях является многофакторной и компромиссной. Она сталкивается с необходимостью учета большого многообразия параметров различной физической сущности, размерности,

статуса и взаимных «уступок» между противоположными различными параметрами. Особенно это актуально для объектов машиностроения.

Обоснование применения теории агрегирования и теории нечетких множеств в оценке эффективности инвестиционных проектов. Наиболее удобным способом решения такого рода компромиссных многофакторных задач является процедура обобщения параметров, ведущая к единому параметру оптимизации [1]. С такого рода обобщением связан ряд трудностей. Во-первых, в силу того, что каждый частный параметр оценки (оптимизации), любой возможный параметр объекта, подвергающийся оценке и (или) оптимизации, имеет свой физический смысл и свою размерность, необходимо ввести для каждого из них некоторую безразмерную шкалу, являющуюся единой для всех параметров. Это позволяет их сравнивать. Во-вторых, трудность возникает в выборе правила комбинирования исходных частных параметров в обобщенный показатель.

Одним из способов построения такой шкалы предпочтения является функция желательности Е. С. Харрингтона [1, 7, 8, 11, 3, 6, 12, 13], позволяющая в какой-то степени моделировать процесс согласованного поведения отдельных подсистем единого целого, учитывать связи и взаимодействия между ними при решении поставленной задачи выбора из совокупности существующих альтернатив. Основой построения и приоритетной возможностью этой обобщенной функции является *преобразование натуральных значений частных параметров различной физической сущности и размерности в единую без-*



Таблица 1

Шкала желательности Е.С.Харрингтона

| Эмпирическая система предпочтений (желательность) | Числовая система предпочтений (система психологических параметров) |
|---|--|
| Очень хорошо | 1,00 – 0,80 |
| Хорошо | 0,80 – 0,63 |
| Удовлетворительно | 0,63 – 0,37 |
| Плохо | 0,37 – 0,20 |
| Очень плохо | 0,20 – 0,00 |

размерную шкалу желательности (предпочтительности). Назначение шкалы заключается в установлении соответствия между физическими и психологическими параметрами оптимизации. Под физическими понимаются всевозможные параметры, характеризующие функционирование исследуемого объекта. Сюда могут входить экономические, технико-экономические, технико-технологические, эстетические, статистические и другие параметры. Под психологическими параметрами понимаются чисто субъективные оценки исследователя (желательность, предпочтительность). Психологические параметры выражаются через числовую систему (баллы, отметки) на шкале желательности.

Для получения шкалы желательности удобно пользоваться готовыми разработанными таблицами соответствий между отношениями предпочтения в эмпирической и числовой (психологической) системах. Числовая система предпочтений, представленная в табл. 1, и является безразмерной шкалой желательности, разработанной Харрингтоном. Значения этой шкалы имеют интервал от 0 до 1 и обозначаются через d (от *desirable* фр. – желательный).

Значение i -го частного параметра оптимизации, переведенное в безразмерную шкалу желательности, обозначенное через d_i , называется частной желательностью, где $i = 1, 2, 3... n$ – текущий номер параметра, n – количество частных параметров.

Значение $d_i = 0$ соответствует абсолютно неприемлемому уровню i -го параметра оптимизации. Значение $d_i = 1$ – самому лучшему значению i -го параметра.

Функция желательности, соответствующая шкале желательности Е. С. Харрингтона, имеет следующий вид:

- для одностороннего ограничения:

$$d = e^{-e^{-y'}}; \tag{1}$$

- для двустороннего ограничения:

$$d = e^{-|y'|^n}, \tag{2}$$

где y' – кодированное значение частного параметра u , т.е. его значение в условном масштабе;

n – показатель степени.

Кривые перевода, выраженные формулами (1) и (2), не являются единственной возможностью, однако они возникли эмпирически как результат наблюдений за реальными решениями исследователей-экспериментаторов [1]. Кривые обладают такими полезными свойствами, как непрерывность, монотонность, гладкость.

Для того чтобы использовать данный метод при оценке и выборе оптимального варианта решения, первоначально необходимо установить (задать) границы допустимых значений для всех частных параметров оценки (оптимизации). Ограничения могут быть односторонними (y_{min} или y_{max}) или двусторонними (y_{min} и y_{max}). При одностороннем ограничении отметке $d_i = 0,37$ на шкале желательности соответствует y_{min} или y_{max} (задан нижний или верхний предел соответственно), при двустороннем ограничении – y_{min} и y_{max} .

После того как все частные параметры (y_i) переведены в свои желательности (d_i), необходимо приступить к построению обобщенного параметра оценки (оптимизации), названного Харрингтоном обобщенной функцией желательности D . Одним из удачных способов решения задачи выбора оптимального варианта является представление обобщенной функции желательности как среднее геометрическое частных желательностей:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3 \cdot \dots \cdot d_i \cdot \dots \cdot d_n}. \tag{3}$$

Обобщенный показатель данного вида позволяет, во-первых, использовать ту же шкалу предпочтительности (см. табл. 1); во-вторых, «отбросить» вариант решения из совокупности рассматриваемых, если хотя бы один его частный параметр не удовлетворяет строгому требованию исследователя ($d_i = 0$); в-третьих, удовлетворяет ряду требований, предъявляемых к итоговому критерию оптимизации и указанных выше.

Вопрос оценки эффективности деятельности предприятия (в т.ч. инвестиционной) является многогранным, системным, неоднозначным и актуальным для всех экономических систем хозяйствования, во все времена и для всех субъек-

тов оценки. В решении реальных вопросов оценки эффективности все еще преобладают математические теории, оперирующие с идеализированными, слабо связанными с действительностью проблемами. Новые средства и возможности для обработки качественных вербальных утверждений, обладающих высокой неопределенностью, – это теория нечетких множеств (ТНМ).

Нечеткость имеет место и в случаях, когда *числовые границы* понятия или события невозможно указать однозначно [2]. Для этого в ТНМ вводится понятие нечеткого числа (нечеткое множество специального вида). В ТНМ нечеткие числа вводятся как инструмент для численного представления нечетких, размытых величин. Методы нечеткой математики позволяют выполнять над нечеткими величинами все логические и арифметические операции (пересечение, объединение, инверсия, сложение, умножение, композиция) путем определенных действий над их функциями принадлежности [9]. Нечеткая информация (нечеткие входные данные или выходной результат) несет в себе больше информации, чем «традиционная» числовая система.

Лингвистической переменной (*linguistic variable*) называется переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания некоторого естественного или искусственного языка [14]. Понятие лингвистической переменной введено Л. Заде в работе [4]. Концепция применения ЛП обеспечивает приближенное описание сложных или неточных явлений, которые затруднительно или нельзя описать в обычных *количественных терминах*.

Основания применения ТНМ в решении вопросов системного анализа, оценки и моделирования [4, 5]:

1. ТНМ оперирует с системами, для которых не существует четкой границы между входящими и невходящими в данную систему элементами. Неопределенность в ТНМ зависит от исхода какого-либо события и не связана со случайностью. Неопределенность в традиционной математике связана с принадлежностью либо непринадлежностью к неразмытому множеству;

2. ТНМ опирается на степень истинности результата принадлежности к определенной категории, а не на степень вероятности того, что результат будет получен;

3. ТНМ допускает, что элемент может *одновременно* с положительной степенью истины принадлежать к какому-то множеству

и с другим значением положительной степени истины не принадлежать к этому множеству;

4. ТНМ допускает, что элемент может одновременно с положительной степенью истины принадлежать к двум и более нечетким множествам;

5. ТНМ оперирует понятиями, не связанными со статистическими четкими данными (выборками), а основывается на логических суждениях и умозаключениях. При этом подвергаются анализу качественная и (или) асимметричная информация, неопределенные (нечеткие) количественные данные;

6. Используемые инструментарию традиционной математики для современных условий деятельности линейны по параметрам (слишком упрощены в отношении используемых параметров и учета факторов), абстрагированы, неудобны для использования, иногда «закручены» в математическом смысле (непонятны для пользователей).

Математический аппарат оценки эффективности инвестиционных проектов. В данной методике оценки необходим разработанный и предложенный нами математический аппарат перевода значений параметров, заданных в виде нечеткого множества, в значения функции желательности (далее *механизм преобразования значений лингвистической переменной в значения функции желательности*). До сих пор модель обобщения в виде функции желательности Харрингтона применялась лишь для ограничений, заданных в виде четких множеств. Т.е. значение параметра до сих пор относилось либо к одному интервалу, либо к другому, но никак не к двум одновременно, что по теории нечетких множеств возможно, необходимо и более реально. В случае задания ограничения и (или) желательного уровня по параметрам, заданным в виде лингвистических переменных даже с наиболее простыми функциями принадлежности (см. формулы 4 – 7), получаются *две оценки*, относимые к разным значениям ЛП (термам, интервалам допустимости). И эти две оценки необходимо перевести в значение функции желательности так, чтобы действительно отразить смысл нечеткости в формализованной оценке эффективности ИП.

Данный механизм преобразования функций принадлежности нечеткого множества в значения функции желательности Харрингтона лучше представить графически в виде номограммы с пояснениями. На рисунке 1 представлены графики функций принадлежности,



представленные следующими формулами:

$$\mu_{\text{недопустимо}}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \leq 20 \\ -0,05u + 2, & \text{если } u \in (20;40) \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{\text{удовлетв}}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u = 40 \\ 0,05u - 1, & \text{если } u \in (20;40) \\ -0,05u + 3, & \text{если } u \in (40;60) \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{хорошо}}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u = 60 \\ 0,05u - 2, & \text{если } u \in (40;60) \\ -0,05u + 4, & \text{если } u \in (60;80) \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{отлично}}(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \geq 80 \\ 0,05u - 3, & \text{если } u \in (60;80) \end{cases} \quad (7)$$

Но на них наложены графически шкалы функции желательности Харрингтона интервалов: *недопустимо, удовлетворительно, хорошо, отлично* в соответствии с термами функции принадлежности нечеткого множества (недопустимо, удовлетворительно, хорошо, отлично). Это сделано таким образом, чтобы учесть свойства обеих функций (функции принадлежности нечеткого множества и функции желательности). Механизм перевода шкалы нечеткого множества в шкалу функции желательности предлагается построить следующим образом. Первоначально для «пиковых» и «переломных»¹ значений каждого терма ЛП необходимо определить значения функций желательности.

Очевидно, что для термов «удовлетворительно» и «хорошо» наиболее подходят *срединные значения* (медианы) соответствующих интервалов шкалы желательности (см. таблицу 1), т.е. *срединные значения шкалы желательности на все 100% принадлежат соответствующему терму* (μ_x для них равно 1). Например, для значения ЛП РБ = 40 % и ЛП РБ = 60 % (см. рисунок 1) необходимо устанавливать с позиции логики следующие значения функции желательности соответственно: $d = \frac{0,37 + 0,63}{2} = 0,5$; $d = \frac{0,63 + 0,8}{2} = 0,715$. В числителе каждой дроби представлена сумма граничных значений ин-

тервалов «удовлетворительно» и «хорошо», «хорошо» и «отлично» шкалы желательности соответственно. Несколько иным образом обстоит дело с пограничными интервалами («недопустимо» и «отлично»). В интервале «недопустимо» для «переломного» значения универсального множества ЛП РБ = 20 % рекомендуется установить желательность, равную 0,37 ($d = 0,37$). Для всех значений горизонтального участка функции принадлежности терма «недопустимо» (т.е. для ЛП РБ < 20 %) необходимо установить желательность, равную 0 ($d = 0$), т.е. все значения ЛП РБ меньше 20 % недопустимы. В интервале «отлично» все значения ЛП РБ и 80 % в соответствии с указанной на рисунке 1 функцией принадлежности должны иметь желательность, равную 1 ($d = 1$).

Все желательности промежуточных значений ЛП РБ можно определить либо графически (менее точно), проводя перпендикулярную линию, проходящую через соответствующее значение до пересечения с полученной шкалой желательности (см. рисунок 1: значения 30 %, 47 %, 55 %), либо расчетным способом по следующей формуле:

$$d_x = d_{П1} \cdot \mu_{x1} + d_{П2} \cdot \mu_{x2}, \quad (8)$$

где d_x – желательность расчетного значения из универсального множества ЛП;

$d_{П1}, d_{П2}$ – желательности «порогового», «переломного» значения соответственно 1-го и 2-го термов, которым принадлежит (с определенным значением функции принадлежности) значение оцениваемого параметра X ;

μ_{x1}, μ_{x2} – значения функций принадлежности соответственно 1-го и 2-го термов для значения X .

Например, значение ЛП РБ = 30 % ($X=30\%$) с одинаковой степенью принадлежности ($\mu_{x1} = \mu_{x2} = 0,5$) относится к терму «недопустимо» ($d_{П1} = 0,37$) и к терму «удовлетворительно» ($d_{П2} = 0,5$). Тогда $d_{30} = 0,37 \cdot 0,5 + 0,5 \cdot 0,5 = 0,435$.

Для ясности продемонстрируем другой пример (см. рисунок 1). Значение ЛП РБ = 47 % ($X = 47\%$) относится к терму «удовлетворительно» ($d_{П1} = 0,5$) со степенью принадлежности $\mu_{x1} = 0,65$ и к терму «хорошо» ($d_{П2} = 0,715$) со степенью принадлежности $\mu_{x2} = 0,35$. Тогда желательность значения $X = 47\%$ определяется как $d_{47} = 0,5 \cdot 0,65 + 0,715 \cdot 0,35 = 0,575$. Аналогично и для других значений. Таким образом, соблюдается условие монотонности функции желательности (желательность последовательно расположенных значений ЛП монотонно растет)

¹ «Пиковое» и «переломное» значение – это значение универсального множества ЛП (ось абсцисс), имеющее функцию принадлежности, равную единице ($m_x=1$).

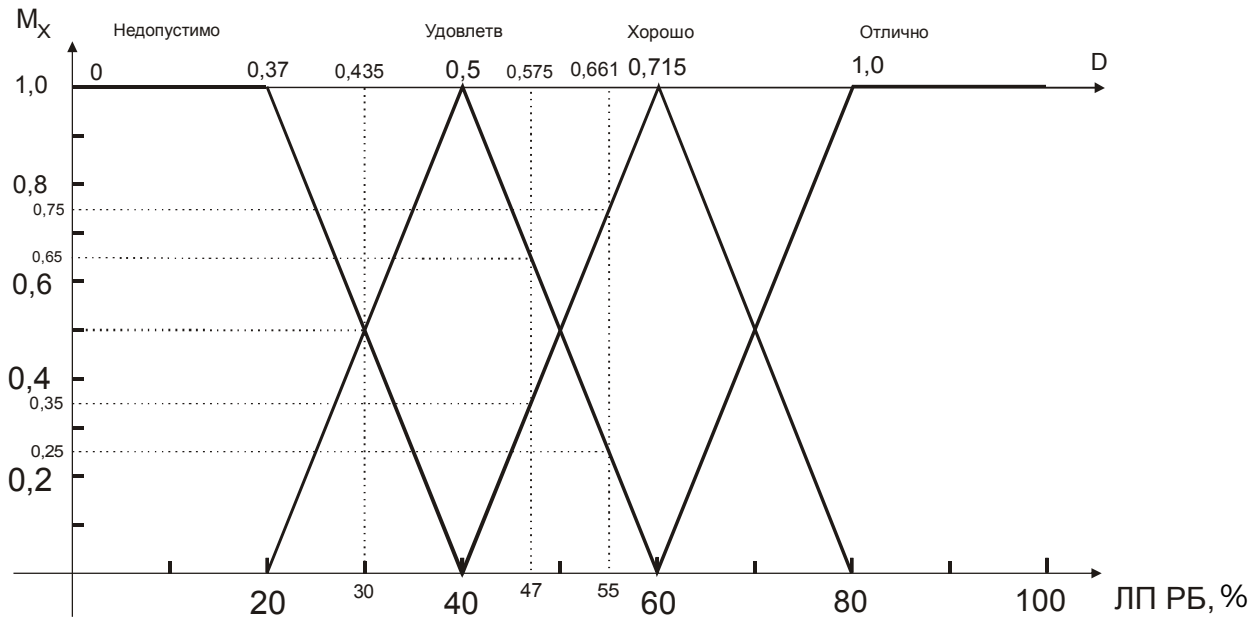


Рис. 1. Графический механизм перевода значений лингвистической переменной ресурсная безопасность (ЛП «Ресурсная безопасность») в значение функции желательности

и соблюдается свойство *разностепенной* принадлежности значений желательности и значений ЛП одновременно двум термам, заданным в виде нечеткого множества.

Формула (8) разработана на основе принципа дефазификации нечеткого множества (перевод нечеткого множества в четкое число), но использовали при этом значения шкалы желательности, а не значения универсального множества ЛП. В работе [10] предлагается методика оценки эффективности инвестиционных проектов (на условном примере инвестиционного проекта модернизации плавильного участка литейного завода). Разработанный математический аппарат в принципе отличается от *существующего механизма перевода значений параметров, заданных в виде четких множеств, в значения шкалы желательности и позволяет учитывать неоднозначность и нечеткость в задании ограничений по параметрам, заданным в виде лингвистических переменных.*

Литература

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Вопросы анализа и процедуры принятия решений: Сб. переводов / Под ред. Шахнова И. Ф. – М.: Мир, 1976. – С. 172 – 215.

3. Выбор оптимального состава многокомпонентного литейного медного сплава с заданными свойствами / Ф. С. Новик, А. К. Николаев, И. Ф. Пружинин и др. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия, 1974, № 1. – С. 90.

4. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию проблемных решений. – М.: Мир, 1976. – 161 с.

5. Мардамшин И. Г. Разработка методов оценки трудового потенциала промышленного предприятия (на примере ОАО «КАМАЗ»): Дис. ... канд. экон. наук – Набережные Челны: ИНЭКА, 2006. – 188 с.

6. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 198 с.

7. Новик Ф. С. Математические методы планирования экспериментов в металлургии, раздел: Выбор параметров оптимизации и факторов. – М.: Изд. МИСиС, 1979. – 96 с.

8. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение: София: Техника, 1980. – 304 с., илл.

9. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

10. Пуряев А. С. Теория и методология оценки эффективности инвестиционных проектов в машиностроении / А. С. Пуряев; ГОУ ВПО «Камская госуд. инж-экон. акад.». – Набережные Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-экон. акад, 2007. – 180 с.

11. Функция желательности Е. С. Харрингтона при решении компромиссных задач. Методические указания для студ. очного и заочного обучения специальности 0608 / Составитель А. С. Пуряев – г. Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 1999. – 25 с.

12. Штаркман Б. П., Карташова Т. М., Монич И. М., Разинская И. Н. Применение функции желательности для комплексной оценки качества суспензионного полиметилметакрилата. // Пластмассы. – 1969. – №1. – С. 61 – 63.

13. Штаркман Б. П., Карташова Т. М., Середа Э.А., Балакирская В. Л. Оптимизация рецептуры и режима желатинизации пластизолов. // Пластмассы. – 1969. – № 2. – С.10 – 12.

14. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]: – 25.05.2004. – Режим доступа: <http://tutornet.ru>. – Заглавие с экрана.

