

Рис. 4. Влияние подачи s на V_0 при точении стали 40X резцом Р6М5 ($t = 0,25$ мм; $r = 0,5$ мм; $S_b = 1015$ Н/мм²): \circ — расчетные; \bullet — экспериментальные

Эта программа позволяет при расчетах оптимальной скорости резания учесть свойства обрабатываемого материала, показателя упрочнения инструмента, параметры режимов резания и геометрию режущего инструмента.

Экспериментальная проверка показала хорошую сходимость опытных и расчетных значений V_0 (рис. 2–4).

Как видно из представленных графиков, расхождения расчетных и экспериментальных значений оптимальной скорости резания незначительны, что подтверждает адекватность построенной модели и применимость формул (3) и (6) для практических расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров, А. Д. Применение математического планирования экспериментов при исследовании основных параметров процесса резания металлов: учеб. пособие / А. Д. Макаров, В. М. Кривошей, Ю. В. Никитин. Уфа: УАИ, 1976. 116 с.
2. Ташлицкий, Н. И. Методы приближенного определения скоростей течения жаропрочных сталей и сплавов / Н. И. Ташлицкий. Вестник машиностроения. 1956. № 10. С. 13–16.

3. Кишуров, В. М. Влияние упрочняющей γ -фазы и высокотемпературной прочности никелевых сплавов на основные показатели механической обработки: дис. ... канд. техн. наук / В. М. Кишуров. Уфа, 1973. 159 с.

ОБ АВТОРАХ



Ипполитов Владимир Николаевич, нач. инстр. производства ОАО МК «Витязь». Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1987). Готовит дис. в обл. повышения износостойкости режущего инструмента.



Кишуров Владимир Михайлович, зав. каф. теор. и технол. механообработки филиала УГАТУ в г. Ишимбае. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1966). Канд. техн. наук по технол. двигателей ЛА (МАИ, 1973). Иссл. в обл. обрабатываемости материалов лезвийным инструментом.



Мугафаров Марат Фавильевич, ст. преп. каф. физики и матем. там же. Дипл. мат.-информат. (СГПИ, 1999). Канд. физ.-мат. наук по диф. уравнениям. Иссл. краевых задач для диф. уравнений.

УДК 336

Н. И. ЮСУПОВА, Л. Ф. РОЗАНОВА, З. В. МАКСИМЕНКО

МЕТОДЫ АНАЛИЗА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Рассматриваются методы оценки эффективности реальных инвестиционных проектов в условиях неопределенности, обусловленной неясностью исходных данных, для поддержки принятия решений о распределении инвестиций. *Инвестиционный проект; неопределенность; эффективность инвестиций*

Экономика любой страны не может существовать без инвестиций в реальный сектор экономики, которые позволяют поддерживать уровень

национального производства на высоком уровне, оздоравливать существующие предприятия в раз-

Результаты, представленные в данной статье, получены при проведении исследований в рамках НТП Минобразования России, проект № 1256 «Модели системного анализа и реформирования межбюджетных отношений муниципальных и региональных образований» и НИР ИФ-ТК-14-04-03/6 «Исследование проблем развития, управления, контроля и моделирования в сложных системах».

личных отраслях экономики и обеспечивать их эффективное и прибыльное функционирование.

Однако одинаково сложно получить как государственное финансирование конкретного инвестиционного проекта, так и кредит в банке или у частных инвесторов — отечественных или иностранных. Это обуславливается повышенным риском, связанным с возвратом вложенных средств. Особенно остро эта проблема встает в современной российской экономике.

Возможность реализации инвестиционных проектов в России сдерживается рядом факторов. Решающими из них являются несогласованность действий участников инвестиционного процесса, неумение правильно оценить инвестиционную ситуацию, а также неготовность организаций-инициаторов предоставить соответствующие обоснования, свидетельствующие о надежности и эффективности конкретных проектов. Необходимо учитывать, что даже при высокой норме прибыли инвесторы очень тщательно оценивают риски различных видов, которым может быть подвержен проект, а также гарантии своевременного возврата вложенных финансовых ресурсов. Таким образом, особенно актуально стоит задача объективной оценки эффективности и рискованности инвестиционных вложений и принятия обоснованных решений по распределению инвестиций.

Исследованием различных аспектов проблемы оценки эффективности инвестиционных проектов в разное время занимались как зарубежные, так и отечественные исследователи¹.

В данной статье для анализа инвестиционных проектов в условиях неопределенности, обусловленной неточными исходными данными, предлагается использовать подход, основанный на принципах нечеткой математики. Выбор нечеткого подхода обусловлен его достоинствами, такими как: возможность оперировать входными данными, заданными нечетко, возможность учета полного спектра сценариев инвестиционного процесса, возможность проведения качественных оценок входных данных и результатов и др.

1. ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Анализ литературы [1, 2, 5] позволил выделить основные типы инвестиционных задач:

1) Задачу оценки абсолютной эффективности инвестиционных проектов, состоящую в том, чтобы оценить эффективность проекта и, если она будет оценена положительно, отобрать его для реализации.

2) Задачу оценки сравнительной эффективности инвестиционных проектов, состоящую в выборе наилучших проектов в инвестиционном портфеле.

3) Задачу формирования оптимальной инвестиционной программы на базе имеющегося инвестиционного портфеля при наличии определенных ограничений по выбору.

Существующий спектр подходов к оценке эффективности инвестиционных проектов оставляет нерешенными многие задачи. Это и проблема учета всех возможных сценариев развития инвестиционного процесса, и проведение оценки по точечным показателям, в то время как на практике невозможно точно спрогнозировать денежные потоки.

Анализ методов оценки эффективности инвестиционных проектов, применяемых в мировой практике инвестиционного анализа, показал, что немногие из них рассчитаны на работу с нечеткими исходными данными, а основной проблемой применения существующих нечетких моделей является формализация исходной информации.

2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Исходные данные об инвестиционных проектах предлагается формализовывать с помощью следующих нечетких величин:

- параметров проекта и инвестиционной программы (составляющие денежного потока: цена, выручка от реализации, налоги и др., количественные и качественные характеристики проекта, важность критериев, NPV инвестиционной программы), представляемых нечеткими числами с треугольной функцией принадлежности $\underline{A} = [a_{\min}, \bar{a}, a_{\max}]$;

- предпочтений ЛПР (требуемые значения критериев эффективности, бюджет денежных средств для финансирования инвестиционной программы), представляемых в виде нечетких множеств с кусочно-линейными z - или s -подобными функциями принадлежности: $\underline{A} = [\bar{a}, a_{\max}]$, $\underline{A} = [a_{\min}, \bar{a}]$.

Предложенный способ позволяет сформулировать задачу анализа инвестиционных проектов в терминах аппарата нечетких множеств.

2.1. Метод оценки абсолютной эффективности инвестиционных проектов

Все показатели денежного потока задаются экспертом в виде нечетких треугольных чисел. Денежный поток в i -м периоде реализации проекта — треугольное число CF_i — определяется как сумма его нечетких составляющих. Требуемые ЛПР уровни критериев NPV, IRR, DPBP или PI задаются в виде нечетких множеств с кусочно-линейными z - или s -подобными функциями принадлежности.

При нечетких исходных данных соотношение для NPV имеет следующий вид:

$$NPV = \sum_{i=0}^N \frac{CF_i}{(1+r)^i}, \quad (1)$$

¹Дж. Данциг, У. Гетце, Д. Херц, П. Л. Виленский, В. К. Лившиц, С. А. Смоляк [1], Р. В. Фаттахов, А. О. Недосекин [6] и др.

где r — ставка дисконтирования.

Степень эффективности проекта P_E по критерию NPV оценивается степенью сходства рассчитанного NPV проекта с заданным критерием эффективности $\underline{G} = (G_{\min}, \bar{G})$ — желаемым уровнем NPV. Сопоставляя функции принадлежности NPV и \underline{G} , определяем зону эффективных инвестиций. P_E вычисляется как отношение площади зоны эффективных инвестиций к площади треугольника $(NPV_{\min}, \bar{NPV}, NPV_{\max})$. Например, при $\bar{NPV} > \bar{G}$, $NPV_{\min} < G_{\min} < NPV_{\max}$ функции принадлежности NPV и критерияльного значения \underline{G} представлены на рис. 1.

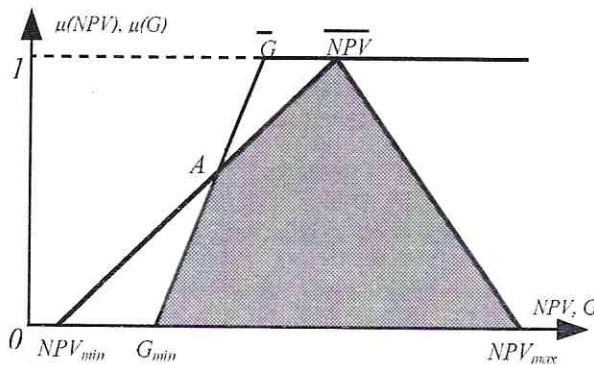


Рис. 1. Функции принадлежности NPV и \underline{G}

На рис. 1 выделена зона эффективных инвестиций, ограниченная прямыми (\bar{G}, G_{\min}) , (\bar{NPV}, NPV_{\min}) , (\bar{NPV}, NPV_{\max}) . Тогда P_E вычисляется по формуле

$$P_E = \frac{S_{G_{\min} A \bar{NPV} NPV_{\max}}}{S_{NPV_{\min} \bar{NPV} NPV_{\max}}} \quad (2)$$

Оценка абсолютной эффективности проекта на основе критериев IRR, PI, DPBP осуществляется аналогично оценке эффективности с использованием критерия NPV по приведенной выше схеме.

Степень эффективности проекта P_E принимает значения от 0 до 1. ЛПР, исходя из своих предпочтений, может классифицировать значения P_E или, выделив для себя отрезок неприемлемых значений эффективности, или, воспользовавшись лингвистической переменной «ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА».

2.2. Метод оценки сравнительной эффективности инвестиционных проектов

Некоторое i -е свойство проекта a_j , $a_j \in A$, $j = \overline{1, m}$ характеризуется величиной i -го критерия C_i , $i = \overline{1, n}$. Тогда каждый проект характеризуется вектором критериев C .

$$C = C^v \cup C^q,$$

где C^v — множество количественных критериев оценки проектов, C^q — множество качественных

критериев оценки проектов. $C = C^+ \cup C^-$, где C^+ — множество критериев оценки проектов, значения которых чем больше, тем лучше, C^- — множество критериев оценки проектов, значения которых чем меньше, тем лучше.

Задача сравнительной эффективности проектов сводится к тому, чтобы из множества проектов A выбрать такой, который обладает наилучшим значением вектора C .

$R_{ij} = (R_{ij \min}, \bar{R}_{ij}, R_{ij \max})$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ — определяемое экспертом нечеткое число с треугольной функцией принадлежности, представляющее оценку j -й альтернативы по i -му критерию. Задание оценок альтернатив по частным критериям возможно с использованием лингвистической переменной $S = \langle \text{УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНОСТЬ} \rangle$.

Поскольку количественные критерии имеют различную физическую размерность, для проведения дальнейших расчетов R_{ij} нормализуются так, чтобы $R_{ij \min}, \bar{R}_{ij}, R_{ij \max}$ ($i : C_i \in C^v$) принимали значения из интервала $[0, 1]$.

$\alpha_i = (\alpha_{i \min}, \bar{\alpha}_i, \alpha_{i \max})$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$ — определяемое экспертом нечеткое число с треугольной функцией принадлежности, представляющее относительную важность i -го критерия. Задание относительной важности критериев возможно с использованием лингвистической переменной $W \langle \text{ВАЖНОСТЬ} \rangle$.

Альтернатива \hat{a} называется оптимальным решением, и при этом значения всех частных критериев достигают в ней минимума (максимума), если множество недоминируемых альтернатив состоит из единственной альтернативы \hat{a} . Однако такая ситуация на практике встречается лишь в идеальном случае, а в реальных задачах требуется компромиссное решение.

Оценка сравнительной эффективности инвестиционных проектов проводится в 2 этапа [3].

1 этап. Выделение области недоминируемых альтернатив с использованием разработанного алгоритма сравнения нечетких треугольных чисел, основанного на попарных сравнениях. Если множество недоминируемых альтернатив состоит из единственной альтернативы, то она и является искомым оптимальным решением задачи.

2 этап. Вычисление результирующего показателя.

1) Аддитивный показатель. Вершина и границы нечеткого числа \underline{R}_j , представляющего взвешенную оценку j -й альтернативы, вычисляются следующим образом:

$$\begin{aligned} R_{j \min} &= \sum_{i=1}^n \alpha_{i \min} R_{ij \min}, \\ \bar{R}_j &= \sum_{i=1}^n \bar{\alpha}_i \bar{R}_{ij}, \\ R_{j \max} &= \sum_{i=1}^n \alpha_{i \max} R_{ij \max}. \end{aligned} \quad (3)$$

2) Мультипликативный показатель

$$R_{j \min} = \prod_{i=1}^n R_{ij}^{\alpha_{i \max}},$$

$$\bar{R}_j = \prod_{i=1}^n \bar{R}_{ij}, \quad (4)$$

$$R_{j \max} = \prod_{i=1}^n R_{ij}^{\alpha_{i \min}}.$$

3) Максиминный показатель

Правило выбора наилучшей альтернативы имеет следующий вид:

$$\bar{R}_j = \max_{j=1, m-b} \min_{i=1, n} R_{ij}, \quad (5)$$

где b — количество альтернатив, исключенных на этапе 1.

С учетом важности критериев

$$\bar{R}_j = \max_{j=1, m-b} \min_{i=1, n} R_{ij}^{\alpha_i}. \quad (6)$$

Упорядочивание альтернатив с использованием полученных взвешенных оценок позволяет выбрать наиболее эффективные проекты из рассматриваемого портфеля.

2.3. Метод формирования оптимальной инвестиционной программы

Введем следующие обозначения:

$A = \{a_j\}$, $j = \overline{1, n}$ — множество проектов, входящих в инвестиционный портфель;

$\underline{IC}_j = (IC_{j \min}, \bar{IC}_j, IC_{j \max})$, $j = \overline{1, n}$ — нечеткое число с треугольной функцией принадлежности, представляющее объем начальных инвестиций для реализации j -го проекта;

$\underline{I} = (\bar{I}, I_{\max})$ — имеющийся в распоряжении инвестора бюджет денежных средств для финансирования инвестиционной программы, описываемый нечетким множеством с z -подобной функцией принадлежности;

$\underline{NPV}_j = (NPV_{j \min}, \bar{NPV}_j, NPV_{j \max})$ — нечеткое число с треугольной функцией принадлежности, представляющее значение чистого дисконтированного дохода (NPV) j -го проекта;

$x_j \in \{0, 1\}$, $j = \overline{1, n}$ — булева переменная, значение которой определяет, будет ли проект включен в оптимальную инвестиционную программу: $x_j = 1$, — если j -й проект будет включен в инвестиционную программу, $x_j = 0$ — в противном случае;

P — вероятность того, что объем денежных средств, необходимых для финансирования инвестиционной программы, не превысит установленного бюджета;

$P_{\text{рек}}$ — заданное ЛПР число в интервале $[0, 1]$, представляющее требуемое значение P .

Тогда формированию оптимальной инвестиционной программы будет отвечать такой набор

величин x_j , который будет решением следующей задачи нечеткого математического программирования:

$$\sum_{j=1}^n \underline{NPV}_j x_j \rightarrow \max \quad (7)$$

при ограничениях:

• по объему начальных инвестиционных ресурсов:

$$\sum_{j=1}^n \underline{IC}_j x_j \subseteq \underline{I}; \quad (8)$$

• по достаточности средств:

$$P \geq P_{\text{рек}}; \quad (9)$$

•

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (10)$$

Степень достаточности средств для финансирования инвестиционной программы P оценивается степенью сходства нечетких чисел $\underline{I} = (\bar{I}, I_{\max})$ и $\underline{ICS} = \sum_{j=1}^n \underline{IC}_j$, $\forall j : x_j \neq 0$.

Формирование инвестиционной программы осуществляется с использованием алгоритмов «первый подходящий с упорядочиванием по NPV» (ППУ_{NPV}) и «первый подходящий с упорядочиванием по PI» (ППУ_{PI}). Так как данные алгоритмы являются эвристическими, нельзя гарантировать их полной эффективности. Предлагается применять оба алгоритма и в качестве решения задачи принимать лучшее из полученных [4].

Предложенные алгоритмы характеризуются простотой реализации, но не гарантируют оптимального решения. В рамках эксперимента, проведенного на модельных данных, результаты, полученные с помощью алгоритмов ППУ_{NPV} и ППУ_{PI}, сравнивались с оптимальными (полученными полным перебором вариантов). В качестве относительной ошибки была взята средняя величина отклонения NPV инвестиционной программы, полученного с помощью предложенных алгоритмов, от NPV, полученного полным перебором.

Эксперименты показали, что результаты совместного применения рассматриваемых алгоритмов совпадают с оптимальными в 72–85% случаев, а в остальных случаях максимальная относительная ошибка по NPV не превышает 4% (рис. 2).



Рис. 2. Результаты проверки эффективности алгоритмов ППУ_{NPV} и ППУ_{PI}: \blacklozenge — максимальная относительная ошибка

Это позволяет сделать вывод об эффективности применения предложенного метода к решению поставленной задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный метод оценки абсолютной эффективности реальных инвестиционных проектов позволяет проводить обоснованный анализ отдельных проектов в условиях нечетких исходных данных с учетом всего спектра возможных сценариев инвестиционного процесса. Метод оценки сравнительной эффективности реальных инвестиционных проектов позволяет осуществлять в условиях нечетких исходных данных выбор лучших проектов из предложенного портфеля на основе множества критериев эффективности с учетом их важности для ЛПР.

Разработанный метод формирования оптимальной инвестиционной программы позволяет в условиях нечетких исходных данных о параметрах инвестиционных проектов и бюджете денежных средств сформировать оптимальную или близкую к оптимальной инвестиционную программу, которая характеризуется значением критерия эффективности и степенью того, насколько программа укладывается в имеющийся бюджет.

Предложенные в данной статье методы оценки эффективности инвестиционных проектов положены в основу концепции построения информационной системы поддержки принятия решений о распределении инвестиций, позволяющей повысить качество инвестиционных решений, принимаемых в процессе управления распределением инвестиций в условиях нечетких исходных данных [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виленский, П. Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: Теория и практика / П. Л. Виленский, В. К. Лившиц, Е. Р. Орлова, С. А. Смоляк. М.: Дело, 2002. 888 с.
2. Ковалев, В. В. Методы оценки инвестиционных проектов / В. В. Ковалев. М.: Финансы и статистика, 2000. 144 с.

3. Максименко, З. В. Оценка сравнительной эффективности инвестиционных проектов / З. В. Максименко // Принятие решений в условиях неопределенности: межвуз. науч. сб. Уфа: УГАТУ, 2004. С. 249–254.
4. Максименко, З. В. Формирование оптимальной инвестиционной программы в ИСПИР / З. В. Максименко // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2004): тр. 6-го Междунар. симп. Будапешт, Венгрия, 2004. Т. 2. С. 261–265. (Статья на англ. яз.)
5. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (2-я ред.). М.: Экономика, 2000. 421 с.
6. Недосекин, А. О. Анализ риска инвестиций с применением нечетких множеств / А. О. Недосекин, К. И. Воронов. <http://www.cfip.ru>. 8 сентября 2000.
7. Розанова, Л. Ф. Задача формирования портфеля реальных инвестиционных проектов в терминах линейного целочисленного программирования / Л. Ф. Розанова, Р. Д. Шагалиев, З. В. Максименко // Математическое моделирование экономических систем и процессов: матер. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2000. С. 111–113.
8. Максименко, З. В. Модели и алгоритмы для управления распределением инвестиций в условиях нечетких исходных данных / З. В. Максименко. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2004. 159 с.

ОБ АВТОРАХ



Юсупова Нафиса Исламовна, проф., зав. кафедрой выч. математики и кибернетики, декан ФИРТ УГАТУ. Дипл. радиофизик (Воронежск. гос. ун-т, 1975). Д-р техн. наук в обл. упр-я техн. системами (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. ситуационного управления, информатики.



Розанова Лариса Федоровна, доц. той же каф. Дипл. инж.-экон. (УАИ, 1977). Канд. техн. наук по АСУ (УАИ, 1992). Иссл. в обл. мат. моделирования и оптимизации инвест. деятельности.



Максименко Зоя Викторовна, асп. каф. вычислит. математики и кибернетики УГАТУ. Дипл. экономист-математик (УГАТУ, 2000). Готовит диссертацию по анализу проектных рисков.