

ВАКУЛИНА Галина Михайловна

Ассистент кафедры высшей и прикладной математики
Уральский государственный университет путей сообщения
620034, РФ, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66
Контактный телефон: (343) 221-24-04
e-mail: g_vakulina@mail.ru



ТИМОФЕЕВА Галина Адольфовна

Доктор физико-математических наук, профессор,
заведующая кафедрой высшей и прикладной математики

Уральский государственный университет путей сообщения
620034, РФ, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66
Контактный телефон: (343) 221-24-04
e-mail: gtimofeeva@math.usurt.ru

Динамическое программирование с использованием нечеткой логики в планировании инвестиционных проектов

Ключевые слова: инвестиционный проект; планирование; управление; нечеткая логика; динамическое программирование.

Управление инвестиционными проектами происходит, как правило, в условиях неполной информации и риска. Задача инвестора – выбрать оптимальное управляющее воздействие (размер инвестиции) с учетом поступившей информации о реализации предшествующих этапов проекта. В статье рассматривается применение метода динамического программирования для систем, описываемых в рамках теории нечетких множеств.

Инвестирование в условиях неполной информации является сложной задачей для инвестора, старающегося максимизировать свою прибыль и минимизировать риски. Существующие на данный момент методы оценки рисков [1–4] не всегда обладают достаточной точностью. Одним из недостатков большинства методов является отсутствие учета возможности регулировать параметры проекта в период его реализации. В зависимости от меняющихся внешних факторов в течение проектного времени можно управлять проектом путем ввода дополнительных инвестиций в благоприятном случае и вывода части основных средств из производства с целью более эффективного их использования при реализации пессимистичного сценария. Целесообразно разделить проект на несколько временных промежутков и в конце каждого из них принимать решение о дальнейших действиях (вводить новые активы, выводить активы из основной деятельности или продолжать запланированные действия) на основании определенных критериев успешности проекта.

Математическая постановка задачи

Рассмотрим финансовый поток инвестиционного проекта в общем виде. Прогноз финансового потока зависит от ряда случайных величин $X_t = (x_1, \dots, x_n)_t$, оцененных для каждого периода t . Такими величинами могут быть: расходы на уплату налога на прибыль, выручка от основной деятельности, доход от сдачи имущества в аренду и т. д.

Пусть проект разделен на m периодов инвестирования, $U_t = (u_1, \dots, u_p)_t$ – инвестиционные и другие управляющие решения, принятые в начале периода, $F_t(X_t, U_t)$ – функция, определяющая финансовый поток проекта в период t ($t = 1, \dots, m$). Целевой функцией является сумма

$$F = \sum_{i=1}^m F_i(U_i, X_i; F_{i-1}). \quad (1)$$

На каждом шаге необходимо выбрать набор соответствующих управлений $(u_1, \dots, u_p)_t$ для оптимизации результата проекта.

При этом необходимо ограничить риск неэффективности проекта, а именно, вероятность того, что чистая приведенная стоимость (NPV) проекта будет отрицательна, не должна превышать пороговое значение (например, 5%) [3]:

$$P\{NPV < 0\} < 0,05. \quad (2)$$

Задача инвестора состоит в выборе начальных инвестиций u_0 , начальных управляющих параметров проекта $U(1)$ и критерия выбора оптимальных управлений $U(t)$ на последующих шагах. Предполагается, что инвестор имеет ограниченное количество ресурсов A . Инвестору предстоит выбрать критерий оптимального управления, на основании которого принимается решение о следующем шаге. Пусть u_0 – объем инвестиций на начальном шаге проекта; u_1, \dots, u_m – инвестиции на первом и последующих шагах проекта.

Возникает ограничение

$$\sum_{i=0}^m u_i \leq A. \quad (3)$$

Принимая ограничения (2) и (3), необходимо максимизировать целевую функцию F , выраженную формулой (1), выбрав оптимальную стратегию управления капиталом A .

Анализируя условия задачи оптимального управления для конкретного проекта, инвестор получит ответы на вопросы: стоит ли инвестировать средства в проект, а если инвестировать, то какую стратегию выбрать для получения наилучшего результата. Отметим, что рассматривается случай, когда стратегия управления выбирается заранее, а выбор конкретных управляющих решений на каждом шаге зависит от результатов реализации проекта и экспертных оценок параметров следующего этапа.

Метод выбора оптимального решения

Обозначим $(x_1, \dots, x_k)_i$ набор переменных величин, определяющих выручку, зависящую от объема оборотных основных средств проекта на шаге i . Переменные $(x_{k+1}, \dots, x_m)_i$ – величины, определяющие выручку, зависящую от объема внеоборотных основных средств предприятия. Наборы случайных величин $(x_{m+1}, \dots, x_r)_i$ и $(x_{r+1}, \dots, x_z)_i$ выражают переменные и постоянные расходы проекта. Состояние проекта оценивается исходя из нескольких факторов: величины денежного потока на предшествующем этапе F_{i-1} , динамики спроса, количества конкурентов и т. п.

Для моделирования, проектирования и анализа подобных задач получили распространение экспертные системы [1; 2; 4], оперирующие экспертными оценками, основанными на опыте и знаниях эксперта (или группы экспертов). Основным математическим аппаратом формализации представления и обработки экспертных оценок и высказываний является теория нечетких множеств [4]. Применение аппарата нечеткого множества – это математическая формализация нечетких (экспертных) оценок в виде лингвистически поименованных функций для построения моделей обработки этих оценок как композиции указанных функций, имеющих простую лингвистическую интерпретацию. В результате конечный пользователь получает возможность оперировать естественными предметно-ориентированными лингвистическими терминами,

представляемыми на уровне компьютерных вычислений в виде чисел. Такой подход дает приближенные, но в то же время качественные способы описания поведения сложных и плохо определенных организационно-технических систем. Теоретические основания данного подхода вполне точны и строги в математическом смысле и не являются сами по себе источником неопределенности. В каждом конкретном случае степень точности решения может быть согласована с требованиями задачи.

Алгоритм формирования стратегии управления состоит из следующих этапов:

1) анализ представленного проекта, определение источника неопределенности: нахождение показателей, которые невозможно спрогнозировать со 100%-ной вероятностью из-за недостатка информации;

2) составление списка рисков, выявление наиболее критичных, поиск параметров проекта, изменение которых вызовет реализацию риска;

3) определение параметров, которые будут приниматься за нечеткие числа;

4) формулировка целевой функции и ограничений на i -м этапе;

5) сбор, анализ и переработка экспертных оценок параметров целевой функции;

6) определение функции принадлежности для нечетких чисел на i -м этапе с учетом данных о значениях, принятых параметрами на этапе $i-1$, и решений, принятых на этапе $i-1$, функции принадлежности для целевой функции в конце i -го этапа;

7) построение оптимальной стратегии управления для всех возможных сочетаний значений параметров на i -м этапе;

8) повторение шагов 4–7 алгоритма для следующего периода для каждого варианта развития событий с учетом выбранного управления;

9) окончание алгоритма, когда $i = m$ (m – конечный этап инвестиционного проекта).

Задача сводится к определению возможных сценариев развития проекта, расчету функций принадлежности параметров и оценке состояний проекта на каждом этапе.

Оценим функцию принадлежности каждого параметра на этапах планирования проекта и дадим оценку параметрам на каждом этапе. Для каждого параметра зададим набор термов, с помощью которых их можно охарактеризовать, и интервальные числовые значения, соответствующие данным термам. Например, для параметра, соответствующего наполненности рынка, используем пять возможных оценочных суждений: «очень низкая», «низкая», «средняя», «высокая», «очень высокая», что соответствует определенным интервалам. Используя арифметические операции над нечеткими числами, мы можем представить $F(t)$ в виде нечеткого числа с определенными характеристиками [4].

Применение алгоритма к выбору оптимального инвестиционного проекта

Допустим, имеется инвестиционный проект по созданию нового консалтингового сервиса с помощью сети Интернет. Горизонт планирования для проекта – два года. Время реализации проекта разделено на три периода:

1) предпусковой период, в течение которого проводится подготовка инфраструктуры, создание программного обеспечения, проработка и наладка бизнес-процессов, тестирование сервиса и т. д.;

2) привлечение и обслуживание тестовых клиентов, развертывание рекламной кампании;

3) усиленное привлечение и обслуживание новых клиентов, пик рекламной кампании, доработка программного обеспечения и исправление ошибок.

Через два года после начала проекта он должен окупиться и начать приносить прибыль.

Планируемые затраты разделяются на несколько категорий:

- расходы на создание программного обеспечения;
- расходы на разработку интерфейса;
- расходы на рекламу;

- заработная плата разработчиков, маркетологов, клиентских менеджеров, администрации;
- постоянные расходы на аренду помещений.

Доходы проекта – это абонентская плата клиентов за ежемесячное обслуживание. По разработанному тарифам есть две схемы платежей:

- 1) обслуживание за S_s рублей в месяц «Стандарт» (доступ к программному обеспечению, 3 ч консультаций в месяц);
- 2) обслуживание за S_p ($S_p > S_s$) рублей в месяц «Премиум» (доступ к программному обеспечению и неограниченное количество консультаций).

Составим перечень рисков проекта:

- 1) количество клиентов будет меньше прогнозируемого;
- 2) клиенты будут больше пользоваться дешевыми тарифными планами, чем дорогими;
- 3) клиенты на тарифном плане «Премиум» будут использовать слишком большое число консультаций.

Предположим, что заработная плата отдельно взятого сотрудника проекта остается неизменной в течение всего проекта; налоговые ставки постоянны.

Исходя из существующих рисков, определим основные оцениваемые параметры проекта для каждого периода инвестирования: количество клиентов на каждом тарифном плане, количество ошибок и доработок, а также количество часов консультаций при использовании тарифного плана «Премиум». Зависимые от этих параметров финансовые показатели: доход проекта на каждом этапе инвестирования и расходы на клиентских менеджеров, расходы на разработчиков, бизнес-консультантов, тестирование, внесение исправлений.

Условно-постоянные (налоговые выплаты) и постоянные (заработная плата администрации, оплата и содержание арендованных площадей, оргтехника и канцелярские товары и т. д.) расходы будем считать детерминированными и обозначим их a (р./год).

Оплата труда штатных консультантов зависит от их количества и равна 500 тыс. р. в год на одного штатного сотрудника, считая налоговые выплаты. Необходимо учитывать, что штатный консультант может оказывать консультации не более 2000 ч в год. Предварительно планируется нанять $N(0)$ штатных консультантов. Если количество запрашиваемых пользователями часов превышает стандартные мощности предприятия, то придется нанимать сотрудников для сверхурочной работы со ставкой 2 тыс. р./ч. Первичная разработка программного обеспечения, интерфейса, расходы на разработку и запуск рекламной концепции оцениваются в фиксированную сумму $A(0)$.

Для оценки инвестиционного проекта определим параметры, которые будут характеризоваться с точки зрения нечетких множеств. Наиболее рискованные величины: количество клиентов на каждом тарифном плане Q_p и Q_s ; среднее количество ежедневно запрашиваемых консультаций k .

Возможности управления проектом: повышение или понижение стоимости тарифных планов на очередной период $S_p(t)$ и $S_s(t)$; изменение количества штатных работников $N(t)$ – увольнение сотрудников (сокращение затрат) или увеличение количества сотрудников (дополнительные инвестиции).

Запишем функции прибыли в зависимости от параметров Q_s , Q_p для первого периода:

$$F_d(1) = 12 Q_s(1) S_s(1) + 12 Q_p(1) S_p(1). \quad (4)$$

где $Q_p(1)$, $Q_s(1)$ – количество клиентов на тарифных планах «Премиум» и «Стандарт» соответственно.

Переменные расходы (разработка программного обеспечения, интерфейсов, рекламы, консультантов) записываются в виде суммы

$$F_{pr}(1) = -1500 - 500n - 2(12Q_p \times k + 48 \times Q_s - 2000)_+, \quad (5)$$

где n – количество консультантов в штате; k – среднее число консультаций, запрашиваемых пользователями тарифного плана «Премиум». Последняя часть формулы включается только в том случае, если приходится нанимать консультантов дополнительно, т. е. если $(12Q_p \times k + 48 \times Q_s - 2000) > 0$.

Суммарная целевая функция $F(1)$ для первого этапа инвестирования будет иметь вид:

$$F(1) = 12 Q_s (1) S_s(1) + 12 Q_p (1) S_p(1) - A(0) - 500n - 2(12 Q_p \times k + 48 \times Q_s - 2000)_+ \quad (6)$$

Для реализации первого этапа следует выбрать следующие параметры: стоимость тарифных планов на начальном этапе и количество штатных сотрудников.

Определим термы, которыми будем оценивать нечеткие параметры на каждом этапе. Для параметров, связанных с количеством клиентов на разных тарифных планах, и для количества консультаций возьмем множества лингвистических переменных [много; средне; мало] (см. таблицу).

Соответствие термов лингвистическим переменным

| Обозначение | Лингвистическая переменная | Термы |
|-------------|---|---------------------|
| Q_s | Количество клиентов «Стандарт» | Много; средне; мало |
| Q_p | Количество клиентов «Премиум» | Много; средне; мало |
| k | Количество консультаций на тарифном плане «Премиум» | Много; средне; мало |

Для завершения перехода к описанию в терминах нечеткой логики построим функцию принадлежности для каждой лингвистической переменной на основе экспертной информации. Используем метод построения функций принадлежности, основанный на статистической обработке мнений группы экспертов. Каждый эксперт заполняет опросный лист, в котором указывает свое мнение о наличии у элементов x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) свойств нечеткого множества l_j ($j = 1, 2, \dots, m$). Введем следующие обозначения: K – число экспертов; $b_{j,i}^k$ – мнение k -го эксперта о наличии у элемента x_i свойств нечеткого множества l_j .

Будем считать, что экспертные оценки бинарные, т. е. $b_{j,i}^k \in \{0, 1\}$, где 1(0) указывает на наличие (отсутствие) у элемента x_i свойств нечеткого множества l_j . По результатам опроса экспертов функции принадлежности нечеткому множеству $l_j, j = 1, 2, \dots, m$, рассчитываются следующим образом:

$$\mu_j(u_i) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b_{j,i}^k, \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

Обработка данных экспертного опроса проводится на основе статистических методов с целью определения достоверности и согласованности оценок. Если в результате такого анализа будет установлено, что мнения экспертов имеют слишком большой разброс, необходимо провести коррекцию их позиции и повторить опрос.

В течение срока реализации проекта может встретиться любая комбинация состояний нечетких величин, которым должно соответствовать управленческое решение. Поэтому следующим шагом должно стать построение базы управляющих решений для каждой комбинации.

Так, если количество клиентов на малооплачиваемых тарифах существенно больше, чем на высокооплачиваемых, необходимо поднять тариф «Стандарт». Если количество запрашиваемых консультаций больше, чем планировалось, необходимо поднять тариф «Премиум», и т. д. Если результативность проекта плохая, проще его закрыть на начальной стадии.

Будем понимать под повышением или понижением тарифа изменение его на 10%; под привлечением или увольнением сотрудников – изменение их численности на 30

или на 60%; под закрытием проекта – полную ликвидацию и перевод средств во вклад под ставку рефинансирования до планового окончания проекта; под неизменностью – прежние величины тарифов и количества сотрудников.

После реализации этапа определяются функции принадлежности нечетких параметров для следующего шага с учетом применения различных стратегий.

Таким образом, с помощью нечетко-множественного моделирования отсекаются самые рискованные варианты и определяются оптимальные решения для тех ситуаций, где целевая функция отклоняется от ожидаемого значения. При этом максимизируется общая целевая функция и снижается риск банкротства проекта.

Источники

1. Дубинин Е. Анализ рисков инвестиционного проекта // Финансовый директор. 2003. № 11.
2. Буценко Е. В. Анализ и обработка исходных данных для прогнозирования результатов инвестиционного проектирования // Изв. Урал. гос. экон. ун-та. 2009. № 4 (26).
3. Вакулина Г. М. Вероятностные модели в оценке инвестиционных проектов // Вестн. УрГУПС. 2011. № 1(9).
4. Вакулина Г. М. Нечетко-множественный подход в анализе рисков инвестиционных проектов // Экономика и менеджмент систем управления. 2012. № 43 (6).