

УДК 004.021

**Н.В. Федоров, О.Н. Игнатов**

## **МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОДУЦИРУЮЩИХ СЕТЕЙ**

*Рассмотрены методы анализа и управления рисками при выборе направления инвестиций. Представляется целесообразным наряду с привычными методами использовать нестандартные и менее формализованные средства анализа.*

*Ключевые слова: методы анализа и управления рисками, инвестиционные проекты, оценивание параметров моделей, нестандартные и менее формализованные средства анализа.*

---

**П**ри выборе направления инвестиций перед любым участником экономических отношений стоит задача определения не только выгодных отраслей, но и наименее рискованных. Для этого инвестор может использовать как распространенные методы оценки рисков, так и разрабатываемые модели прогноза экономического развития страны в целом. Представляется целесообразным наряду с привычными методами использовать нестандартные и менее формализованные средства анализа. При этом необходимо учитывать большое количество параметров: статистические данные по экономике и отраслям за длительный период; наличие и качество нормативно-правовой базы, регулирующей экономические отношения; положение иностранного капитала; макроэкономические показатели состояния регионов; ситуация в мировой экономике; внутри- и внешнеполитическая обстановка; социальный, этнический, религиозный состав общества и пр.

Вместе с тем следует отметить недостаточную разработанность вопроса об использовании неформализуе-

мых показателей для анализа и управления и рисками. Одна из причин этой ситуации заключается в недостатке информации о регионах, об их экономическом положении, нехватке систематизированной информации о социальных, демографических и прочих процессах. Поэтому одной из проблем, возникающей как на федеральном, и местном уровнях, так и у частных компаний, планирующих выходить на региональные рынки, является разработка собственных моделей и методов анализа и управления рисками.

### **Метод корректировки нормы дисконта**

Метод корректировки нормы дисконта с учетом риска (risk adjusted discount rate approach - RAD) — наиболее простой и вследствие этого наиболее применяемый на практике. Основная идея метода заключается в корректировке некоторой базовой нормы дисконта, которая считается безрисковой или минимально приемлемой (например, ставка доходности по государственным ценным бумагам, предельная или средняя стоимость капитала для фирмы). Корректировка

осуществляется путем прибавления величины требуемой премии за риск, после чего производится расчет критериев эффективности инвестиционного проекта - NPV, IRR, PI по вновь полученной таким образом норме. Решение принимается согласно правилу выбранного критерия.

Достоинства этого метода — в простоте расчетов, которые могут быть выполнены с использованием даже обыкновенного калькулятора, а также в понятности и доступности. Вместе с тем метод имеет существенные недостатки.

Метод корректировки нормы дисконта осуществляет приведение будущих потоков платежей к настоящему моменту времени (т.е. обыкновенное дисконтирование по более высокой норме), но не дает никакой информации о степени риска (возможных отклонениях результатов). При этом полученные результаты существенно зависят только от величины надбавки за риск.

Он также предполагает увеличение риска во времени с постоянным коэффициентом, что вряд ли может считаться корректным, так как для многих проектов характерно наличие рисков в начальные периоды с постепенным снижением их к концу реализации. Таким образом, прибыльные проекты, не предполагающие со временем существенного увеличения риска, могут быть оценены неверно и отклонены.

Данный метод не несет никакой информации о вероятностных распределениях будущих потоков платежей и не позволяет получить их оценку.

Наконец, обратная сторона простоты метода состоит в существенных ограничениях возможностей моделирования различных вариантов, которое сводится к анализу зависимости

критериев NPV(IRR,PI и др.) от изменений только одного показателя — нормы дисконта.

Несмотря на отмеченные недостатки, метод корректировки нормы дисконта широко применяется на практике.

#### **Метод достоверных эквивалентов**

Отличие от предыдущего метода в этом случае осуществляется корректировка не нормы дисконта, а ожидаемых значений потока платежей CF, путем введения специальных понижающих коэффициентов "а", для каждого периода реализации проекта. Теоретически значения коэффициентов "а", могут быть определены из соотношения:

$$a = \frac{CCF_t}{RCF_t}$$

где  $CCF_t$  - величина чистых поступлений от безрисковой операции в периоде  $t$  (например, периодический платеж по долгосрочной государственной облигации, ежегодная сумма процентов По банковскому депозиту и др.);  $RCF_t$  - ожидаемая (запланированная) величина чистых поступлений от реализации проекта в периоде  $t$ ;  $t$  — номер периода.

Тогда достоверный эквивалент ожидаемого платежа может быть определен как:

$$CCF_t = a \cdot RCF_t, a_t > 1.$$

Таким образом осуществляется приведение ожидаемых (запланированных) поступлений к величинам платежей, получение которых практически не вызывает сомнений и значения которых могут быть определены абсолютно точно (достоверно).

Однако в реальной практике для определения значений коэффициентов чаще всего прибегают к методу экспертных оценок. В этом случае коэффициенты отражают степень уве-

ренности специалистов-экспертов в том, что поступление ожидаемого платежа осуществится, или, другими словами — в достоверности его величины.

После того как значения коэффициентов тем или иным путем определены, рассчитывают критерий NPV (IRR, P1) для откорректированного потока платежей по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{a_t * CF_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Предпочтение отдается проекту, скорректированный поток платежей которого обеспечивает получение большей величины NPV. Используемые при этом множители "а" получили названия коэффициентов достоверности или определенности.

Недостатками этого метода следует признать:

- сложность расчета коэффициентов достоверности, адекватных риску на каждом этапе проекта;
- невозможность провести анализ вероятностных распределений ключевых параметров.

#### **Анализ чувствительности**

Анализ чувствительности показателей широко используется в практике финансового менеджмента. В общем случае он сводится к исследованию зависимости некоторого результирующего показателя от вариации значений показателей, участвующих в его определении. Другими словами, этот метод позволяет получить ответы на вопросы вида: что будет с результирующей величиной, если изменится значение некоторой исходной величины? Отсюда его второе название - анализ "что будет, если" ("what if" analysis).

Как правило, проведение подобного анализа предполагает выполнение следующих шагов.

1. Задается взаимосвязь между исходными и результирующим показателями в виде математического уравнения или неравенства.

2. Определяются наиболее вероятные значения для исходных показателей и возможные диапазоны их изменений.

3. Путем изменения значений исходных показателей исследуется их влияние на конечный результат.

Проект с меньшей чувствительностью NPV считается менее рискованным.

Обычная процедура анализа чувствительности предполагает изменение одного исходного показателя, в то время как значения остальных считаются постоянными величинами.

Данный метод является хорошей иллюстрацией влияния отдельных исходных факторов на конечный результат проекта.

Главным недостатком данного метода является предпосылка о том, что изменение одного фактора рассматривается изолированно, тогда как на практике все экономические факторы в той или иной степени коррелированы.

По этой причине применение данного метода на практике как самостоятельного инструмента анализа риска, весьма ограничено, если вообще возможно.

#### **Метод сценариев**

В отличие от трех предыдущих методов сценариев позволяет совместить исследование чувствительности результирующего показателя с анализом вероятностных оценок его отклонений. В общем случае процедура использования данного метода в процессе анализа инвестиционных рисков включает выполнение следующих шагов.

1. Определяют несколько вариантов изменений ключевых исходных показателей (например, пессимисти-

ческий, наиболее вероятный и оптимистический).

2. Каждому варианту изменений приписывают его вероятностную оценку.

3. Для каждого варианта рассчитывают вероятное значение критерия NPV (либо IRR, PI), а также оценки его отклонений от среднего значения.

4. Проводится анализ вероятностных распределений полученных результатов.

Проект с наименьшими стандартным отклонением ( $s$ ) и коэффициентом вариации ( $CV$ ) считается менее рисковым.

В целом метод позволяет получать достаточно наглядную картину для различных вариантов реализации проектов, а также предоставляет информацию о чувствительности и возможных отклонениях, а применение программных средств типа Excel позволяет значительно повысить эффективность подобного анализа путем практически неограниченного увеличения числа сценариев и введения дополнительных переменных.

#### **Анализ вероятностных распределений потоков платежей**

В целом применение этого метода анализа рисков позволяет получить полезную информацию об ожидаемых значениях NPV и чистых поступлений, а также провести анализ их вероятностных распределений.

Вместе с тем использование этого метода предполагает, что вероятности для всех вариантов денежных поступлений известны либо могут быть точно определены. В действительности в некоторых случаях распределение вероятностей может быть задано с высокой степенью достоверности на основе анализа прошлого опыта при наличии больших объемов фактических данных. Однако чаще всего такие данные недоступны, поэтому рас-

пределения задаются исходя из предположений экспертов и несут в себе большую долю субъективизма.

#### **Деревья решений**

Деревья решений (decision tree) обычно используются для анализа рисков проектов, имеющих обозримое или разумное число вариантов развития. Они особо полезны в ситуациях, когда решения, принимаемые в момент времени  $t = n$ , сильно зависят от решений, принятых ранее, и в свою очередь определяют сценарии дальнейшего развития событий.

Дерево решений имеет вид нагруженного графа, вершины его представляют ключевые состояния, в которых возникает необходимость выбора, а дуги (ветви дерева) - различные события (решения, последствия, операции), которые могут иметь место в ситуации, определяемой вершиной. Каждой дуге (ветви) дерева могут быть приписаны числовые характеристики (нагрузки), например, величина платежа и вероятность его осуществления. В общем случае использование данного метода предполагает выполнение следующих шагов.

1. Для каждого момента времени  $t$  определяют проблему и все возможные варианты дальнейших событий.

2. Откладывают на дереве соответствующую проблеме вершину и исходящие из нее дуги.

3. Каждой исходящей дуге приписывают ее денежную и вероятностную оценки.

4. Исходя из значений всех вершин и дуг рассчитывают вероятное значение критерия NPV (либо IRR, PI).

5. Проводят анализ вероятностных распределений полученных результатов.

Ограничением практического использования данного метода является исходная предпосылка о том, что

проект должен иметь обозримое или разумное число вариантов развития. Метод особенно полезен в ситуациях, когда решения, принимаемые в каждый момент времени, сильно зависят от решений, принятых ранее, и в свою очередь определяют сценарии дальнейшего развития событий.

**Метод имитационного моделирования инвестиционных проектов на основе динамических продуцирующих сетей**

Распространенные финансовые показатели, на основе которых принимается решение о целесообразности реализации проекта, построены на основе точечных оценок по наиболее правдоподобным данным. Получаемая оценка также является точечной и не дает адекватной информации об инвестиционном риске проекта. Переход от точечных оценок к распределениям вероятностей неопределенных переменных и использование метода имитационного моделирования позволяет получить более полную информацию о риске.

Имитационное моделирование (Simulation) является одним из мощнейших методов анализа экономической системы.

При анализе рисков инвестиционных проектов обычно используют в качестве базы для экспериментов прогнозные данные об объемах продаж, затратах, ценах и т.п.

В настоящее время появляются новые концепции моделирования. Суть концепции сводится к максимальному и комплексному использованию территориальных, материальных, интеллектуальных и трудовых ресурсов с привлечением иностранных и отечественных инвестиций. В основном, реализация различных инвестиционных проектов направлена на регионы. Однако схема их реализации является общей, так как в ее

основе и лежит строго научный подход, базирующийся на моделировании процессов с помощью динамических продуцирующих сетей.

Использование динамических продуцирующих сетей в качестве средства моделирования и анализа протекания процесса функционирования объекта проектирования на всех уровнях его декомпозиции объясняется следующими причинами:

- динамическая продуцирующая сеть описывает протекание процесса по входу и выходу каждой его стадии;
- иерархическая структура сети соответствует иерархической структуре задачи функционирования объекта проектирования;
- тип маркера сети отображает принадлежность характеристики тому или иному объекту и ее текущее значение;
- анализ существенных свойств процесса функционирования объекта проектирования сводится к анализу соответствующих свойств сети, а редуцированная сеть сохраняет характеристики исходной. (Редуцированная сеть – это сеть, аналогичная исходной, в которой не могут возникнуть тупики и конфликтные ситуации.)

Анализ сложных систем на базе ДПС можно выполнять посредством имитационного моделирования этих систем, представленных моделями ДПС. При этом задают входные потоки заявок и определяют соответствующую реакцию системы. Выходные параметры рассчитывают путем обработки накопленного при моделировании статистического материала.

Свойства ДПС можно определить, исследуя возможные последовательности срабатываний переходов и множество достижимых в сети разметок.

Возможен и другой подход к использованию ДПС для анализа объектов, исследуемых на системном уровне

не. Он не связан с имитацией процессов и основан на исследовании таких свойств ДПС, как ограниченность, безопасность, достижимость и живость. Этих свойств достаточно для анализа продукционной системы.

*Достижимость* характеризуется возможностью достижения маркировки  $M_j$  из состояния сети, характеризуемого маркировкой  $M_k$ . В основе исследования свойств ДПС лежит анализ достижимости;

*Ограниченность* (или  $K$ -ограниченность) имеет место, если число меток в любой позиции сети не может превысить значения  $K$ . Возможность неограниченного роста числа маркеров свидетельствует об опасности неограниченного роста длин очередей. *Безопасность* — частный случай ограниченности, а именно это  $1$  – ограниченность (сеть безопасна, если в метки вершин входят только «0» и «1»);

*Живость* ДПС определяется возможностью срабатывания любого перехода при функционировании моделируемого объекта;

*Правильность* (если сеть безопасная и живая, то она правильная);

*Пассивность* переходов (переход  $t_i$  пассивен, если он не запустим ни в одной маркировке, достижимой из начальной).

Любая система управления должна представляться правильной сетью. Если в ДПС, представляющей некоторую продукционную систему, имеются пассивные переходы, то это может означать пассивность соответствующих им продукционных правил.

В основе динамических продукционных сетей лежит продуцирующая модель представления знаний и теория сетей Петри. Продукционная модель представляет собой набор разделенных на секции и подсекции продукционных правил. В общем виде она представляется как кортеж:

$PR = \langle C, W \Rightarrow S, N, F, A \rangle$ ,

где  $N$  - номер или имя правила;  $S$  - сфера применения данного правила;  $F$  - предусловие применения (условие активизации), содержащее информацию об истинности и приоритетности данного  $C$  - ядро;  $W$  - постусловие.  $\Rightarrow$  правила;  $A$

Каждое правило может иметь свой номер или имя, которые используются в случае изменения порядка следования правил, а также относятся к определенной сфере применения (секции правил)  $S$ .

Разделение правил на секции происходит, например, по признаку принадлежности какому-либо определенному этапу функционирования проектируемой системы. Разделение набора правил на секции позволяет структурировать знания и, соответственно, упрощать процесс выборки активизируемых правил. Внутри каждой секции возможно наличие подсекций. Алгоритмы работы нескольких секций могут выполняться одновременно.

В состав правил могут входить условия активизации  $F$ , которые представляют собой либо переменную, либо логическое выражение (предикат). Когда  $F$  принимает значение «истина», ядро продукции может быть активизировано. Если  $F$  «ложно», то ядро не активизируется.

Постусловие  $W$  описывает, какие изменения следует внести в продукционную систему, и актуализируется только после того, как ядро продукции реализовалось.

ДПС состоит из двух компонент: сеть (структурный уровень) и декларации сети (декларативный уровень). Декларации сети служат для описания каждого компонента сети в отдельности и их взаимосвязи друг с другом. В декларациях описывается каждый компонент сети (переходы, позиции, маркеры и дуги).

На структурном уровне ДПС представляют собой ориентированный граф, в котором имеются вершины двух типов: вершины одного типа называются местами, а вершины другого типа - переходами. Места ДПС интерпретируются как условия, а переходы соответствуют событиям, происходящим в системе.

В графическом представлении сетей переходы изображаются "барьерами", а места - кружками. Входами перехода являются предусловия соответствующего события, выходами — его постусловия. Возникновение события соответствует запуску перехода. Выполнение условия представляется наличием маркера в позиции, соответствующей условию. Запуск перехода удаляет разрешающие маркеры, представляющие выполнение предусловий, и создает маркеры, представляющие выполнение постусловий. Последовательность событий образует моделируемый процесс.

Возникновение событий (иначе говоря, осуществление некоторых действий) определяется состоянием системы. Состояние системы представляется некоторым множеством условий. В любом случае условие либо выполняется (истинно), либо не выполняется (ложно).

Динамика поведения моделируемой системы находит свое отражение в функционировании (работе) ДПС. Неформально работу сети можно представить как совокупность срабатываний переходов. Переход может сработать, если выполнены все условия реализации соответствующего события. Выполнение условия в ДПС отображается разметкой соответствующего места, то есть размещением в нем одного или нескольких маркеров в соответствии с емкостью условия. Срабатывание перехода - действие, изменяющее разметку его вход-

ных и выходных мест следующим образом: из каждого входного места маркер изымается, а в каждое входное место - добавляется. Тем самым реализация события изменяет состояние непосредственно связанных с ним условий: предусловия возникновения события перестают существовать, зато возникают постусловия совершения события. В общем виде, правило срабатывания перехода звучит так: при срабатывании перехода  $t$  он изымает из каждого своего входного места такое количество маркеров, какое соответствует весу дуги, связывающей этот переход с указанным местом, и добавляет в каждое свое выходное место число маркеров, равное весу связывающих их дуг. Причём перераспределение различных типов маркеров в результате запуска того или иного перехода зависит от функции этого перехода, указанной в декларациях сети. Выполнение ДПС (и, соответственно, поведение моделируемой системы) рассматривается как последовательность дискретных событий. Порядок возникновения событий - один из многих возможных. Если в какой-либо момент времени разрешено несколько переходов, то следующим запускаемым переходом может быть любой из них. Это свойство ДПС отражает то, что в реальной ситуации порядок возникновения событий, связанных с параллельными процессами, неоднозначен. В действительности же возможно несколько допустимых последовательностей возникновения событий.

Другая важная особенность этих сетей - их асинхронная природа. ДПС предоставляют средства установления частичного порядка возникновения событий. Важным свойством ДПС как инструмента моделирования является способность представлять параллелизм и конфликтные ситуа-

Виды оценок	метод корректировки нормы дисконта	метод достоверных эквивалентов	анализ чувствительности и критериев эффективности	метод сценариев	анализ вероятностных распределений потоков платежей	деревья решений	имитационное моделирование
Минимизация рисков	-	+	-	+	-	+	+
Высокая Рентабельность	-	+	-	+	-	+	+
Стабильность	-	-	-	-	-	-	+
Простота расчетов	+	-	+	+	+	+	+
Краткосрочность окупаемости	+	-	-	-	+	-	+
Дешевизна проекта	+	-	+	+	+	+	+

ции. Параллелизм двух событий представляется двумя разрешенными переходами, множества входных позиций которых не пересекаются, конфликт – переходами с общей входной позицией.

ДПС – это способ моделирования динамических систем. Теория ДПС дает возможность моделировать любые системы, используя элементы математических упомянутых методов, анализ которых помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы и их коррекции. Математически строгое описание модели позволяет проводить анализ с помощью современной вычислительной техники, в том числе, с массово-параллельной архитектурой.

Имитационная модель инвестиционного процесса на основе динамических продуцирующих сетей – это инструмент, позволяющий субъекту – человеку, аналитику, руководителю – и объекту управления точнее достигать целевых результатов, получать более сложную, но совершенную систему, способную на детальном и комплексном уровнях адекватно реагировать на изменения условий функционирования объектов управления.

Таким образом, ДПС – это способ моделирования динамических систем. Теория ДПС дает возможность моделировать любые системы, используя элементы математических упомянутых методов, анализ которых помогает получить важную информацию о структуре и динамическом поведении моделируемой системы и их коррекции. Математически строгое описание модели позволяет проводить анализ с помощью современной вычислительной техники, в том числе, с массово-параллельной архитектурой.

Именно имитационная модель на основе динамических продуцирующих сетей сократит потери неплатежей, повысит рентабельность и производительность труда, усилит инвестиционную привлекательность, устойчивость и стабильность экономической системы, позволит решить многие социальные проблемы. Профессионально организованная информационно-аналитическая работа по обоснованию путей развития, расчета инвестиционных ресурсов позволит оперативно ориентироваться в происходящих событиях, устранять дисбалансы и диспропорции; своевременно выявлять достоверные источники информации; вырабатывать объективные

данные; распределять информацию для решения частных и общих задач; видеть влияние внешних и внутренних факторов на действия участников инвестиционной и другой деятельности и многое другое, что способствует более быстрому и точному решению поставленных задач, достижению намеченных целей. Из вышесказанного следует, что информационно-аналитическая система объединяет:

системное рассмотрение предметной области исследований; системную информационно-аналитическую работу сотрудников; имитационную, структурно-динамическую, балансовую, многомерную, многофакторную модель предметной области; систему человеко-машинного алгоритма действий. В общем представлении методы можно свести в следующую таблицу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошечкин С.А. Методы количественного анализа риска инвестиционных проектов / Финансовый менеджмент. - 2006. - №12. - С. 10-13
2. Дж.Питерсон " Теория сетей Петри и моделирование систем " Мир. 1984г
3. Особенности моделирования структурно-сложных нелинейных систем управления " 2001 С.Е. Душин, А.В. Красов. **ИИАБ**

#### Коротко об авторах

Федоров Н.В. – кандидат технических наук, доцент, Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, e-mail: [FNV1@mail.msiu.ru](mailto:FNV1@mail.msiu.ru)  
Игнатов О.Н. – аспирант МГИУ, ,e-mail olegne@inbox.ru).



### ДИССЕРТАЦИИ

#### ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
<b>МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ</b>			
КЕЛЬШ Хайнц Рюдигер	Обоснование силовых и режимных параметров копания и средств адаптации карьерных гидравлических экскаваторов к условиям Якутии	05.05.06	к.т.н.