



**А.М. ПОКРОВСКИЙ**  
 Канд. экон. наук, доцент  
 и докторант кафедры  
 математических  
 методов в экономике Рос-  
 сийского экономического  
 университета  
 им. Г.В. Плеханова, мастер  
 делового админист-  
 рирования по направлению  
 «Стратегический  
 менеджмент», помощник  
 члена Совета  
 Федерации. Сфера  
 научных интересов: риск-  
 менеджмент кредитных  
 организаций, управле-  
 ние инвестиционными  
 проектами в условиях  
 неопределенности и риска,  
 антикризисное управление  
 кредитными организациями  
 и инвестиционными  
 проектами. Проводит науч-  
 ные исследования в области  
 разработки методологии  
 анализа чувствительности  
 инновационных проектов  
 в отношении рисков  
 с использованием  
 многомерного подхода, осно-  
 ванного на имитационном  
 вычислительном  
 эксперименте  
 и последующем  
 нейросетевом  
 моделировании.

**С**татья посвящена многомерному подходу к важной составной части анализа рисков инновационных проектов – оценке чувствительности рисков при изменении определяющих их факторов. Предложена и на конкретном примере апробирована методика формирования эмпирической базы для моделирования чувствительности оценок рисков инновационных проектов в пределах, не нарушающих согласованность матрицы парных суждений. Показано, что при этом могут быть получены экономически значимые результаты, в числе которых оценка эластичности приоритетов направлений инвестиций по весам рисков различного вида и выявление наиболее чувствительных факторов риска.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

анализ рисков, инновационный проект, матрица парных суждений, многомерный подход, наиболее чувствительные факторы риска, оценка чувствительности, согласованность матрицы, эластичность приоритетов направлений инвестиций, эмпирическая база моделирования, эффективность проекта.

# Многомерный ПОДХОД к анализу чувствительности оценок рисков инновационных проектов

**Введение**

При проведении массовой реструктуризации предприятий крупного и среднего бизнеса, происходящей в России, большее значение придается решению проблем их развития в условиях высокой неопределенности, когда, помимо количественных финансовых и экономических факторов, надо учитывать и факторы, не оцениваемые количественно. Прежде всего, речь идет об оцен-

ке многочисленных факторов риска при реализации инвестиционных проектов. Имеющиеся методики риск-анализа основаны на учете качественных параметров или на производственной статистике, которая по вполне понятным причинам не всегда имеется.

Важной составной частью анализа рисков инвестиционных проектов является оценка чувствительности приоритетов (весов) рисков проектов при изменении определяющих их факторов (пе-

ременных) [2]. Она тем более актуальна при анализе рисков инновационных проектов, когда необходимо оценивать не только количественные, но и качественные факторы, например социальные и политические, которые в принципе не удастся выразить количественно. В связи с этим количественную оценку таких критериев инновационно-инвестиционных проектов, как ожидаемая доходность, ожидаемые затраты, интегральные критерии проектной эффективности (NPV, IRR, DPP, PI), следует дополнить критериями, оцениваемыми экспертно-аналитическими методами [3, 14, 13]. Задача, поставленная таким образом, заключается в создании концептуальной иерархической модели рисков проекта с последующей разработкой информационной модели; при этом пригодится экспертно-аналитическая технология Expert Decide, разработанная специалистами Орловского государственного технического университета и Орловской региональной академии государственной службы [5, 6].

В анализе чувствительности существует и другая проблема. В классическом анализе чувствительности рассматривается «последовательно-единичное влияние на конечный результат проекта (его эффективность) только одного варьируемого параметра (фактора, переменной), проверяемого на риск, при сохранении неизменными всех остальных параметров» [11]. Однако эта проблема легко разрешима. Еще в середине прошлого века были разработаны методы планирования вычислительных (имитационных) экспериментов, которые позволяют иначе сформулировать задачу анализа чувствительности приоритетов рисков проектов при изменении определяющих их факторов: от последовательно-единичного изменения каждой переменной перейти к одновременному изменению всех переменных, включаемых в анализ.

В рамках теории планирования имитационного эксперимента необходимо проводить изменения по оптимальному плану эксперимента [7, 8, 4]. В прошлом обработку эмпирических данных, полученных с применением подобных планов, проводили с помощью калькулятора, а не на ЭВМ, и исследователи стремились к использованию достаточно экономичных планов, например планов дробного факторного эксперимента  $2n-k$ , в которых каждый фактор варьирует на двух уровнях, но число вариантов плана меньше, чем в полном факторном эксперименте, в  $k$  раз,  $n$  – число выходных факторов. Однако применение этих планов ограничивается созданием линейных моделей. Возникла потребность в специально разработанных планах эксперимента, ориентированных на создание квадратичных моделей. Такие планы

экономичны, но большинство из них требует изменения переменных не на трех, а на пяти уровнях, что не всегда удобно; кроме того, при экспертно-аналитическом моделировании рисков возникают трудности с реализацией подобных планов.

По нашему мнению, совсем не обязательно прибегать к четко конкретным планам вычислительного эксперимента, поскольку наличие на рынке программных продуктов информационных технологий типа SPSS Base позволяет строить модели линейной множественной регрессии на основе любого набора эмпирических данных, а применение нейросетевых технологий вообще полностью решает данную проблему. В этих целях можно эффективно использовать пакет нейросетевых программ Neural Connection [15], с помощью которого могут быть описаны нелинейные зависимости практически любой сложности.

### Постановка задачи

Вернемся к постановке задачи анализа чувствительности приоритетов инновационно-инвестиционных проектов. Выше отмечено, насколько широка область их применения. Несмотря на потенциальную эффективность инновационных проектов экспертно-аналитического моделирования в риск-анализе, пока нельзя говорить о широком использовании экспертно-аналитического моделирования практиками, непосредственно занятыми реализацией инвестиционных проектов, и специалистами консалтинговых фирм. Данное явление обусловлено несколькими причинами, прежде всего креативностью решения конкретных проблем, к которым относится риск-анализ инвестиционных проектов промышленных предприятий. Существующие методики риск-анализа инвестиционных проектов на базе экспертно-аналитического моделирования фрагментарны и не охватывают все его стороны; в частности, не развиты методы анализа чувствительности инвестиционных проектов к изменению факторов риска.

В математическом плане здесь следует выделить две подзадачи:

- оценку изменений приоритетов направлений инвестирования, обусловленных вариацией оценок парных суждений об относительной значимости видов риска;
- оценку изменений приоритетов рисков тех или иных видов, обусловленных вариацией оценок парных суждений об относительной значимости направлений инвестирования.

Обе подзадачи – не одномерные и характеризуются не скалярной выходной переменной, а многомерным вектором приоритетов. Основная идея

экспертно-аналитического подхода к количественной оценке рисков инвестиционных проектов состоит в представлении слабоструктурированной проблемы в виде когнитивной иерархической модели, которая в простейшем случае имеет три уровня: фокус (цель), набор рисков разных видов,

- о социальный;
- о институционально-правовой;
- о экологический;
- о политический.
- альтернативные проекты:
  - о переход на менее затратные технологии;
  - о замена изношенного и морально устаревшего оборудования;
  - о выпуск продукции, новой для предприятия;
  - о обучение кадров.

Таблица 1

Матрица парных сравнений видов риска

Риск	Производственный	Инвестиционно-финансовый	Рыночный	Финансовый	Социальный
Производственный	1,000	1,000	0,200	1,000	4,000
Инвестиционно-финансовый	1,000	1,000	0,143	1,000	1,000
Рыночный	5,000	7,000	1,000	1,000	5,000
Финансовый	1,000	1,000	4,000	1,000	2,000
Социальный	0,250	1,000	0,200	0,500	1,000

альтернативные проекты. Если речь идет о рисках инвестиционных проектов промышленных предприятий, то это следующие уровни:

- фокус – оценка приоритетов риска альтернативных инвестиционных проектов;
- набор рисков инвестиционных проектов;
- альтернативные инвестиционные проекты.

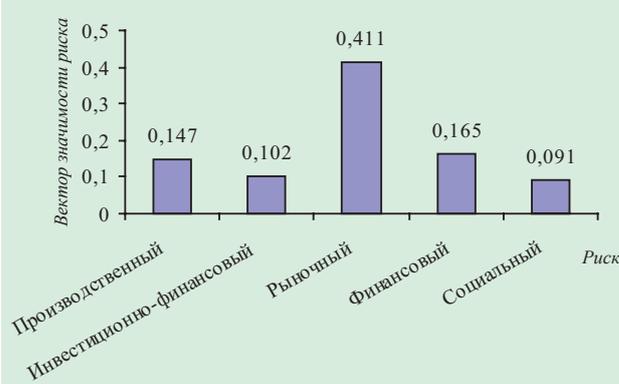
Рассмотрим конкретный пример риск-анализа проектов промышленного предприятия по модернизации производственного процесса [10]. В основу когнитивной иерархической модели риск-анализа положена ее трехуровневая структура:

- цель – риск-анализ проектов промышленного предприятия по модернизации производственного процесса;

согласно которой:

- **производственный риск** – риск невыполнения планируемых объемов работ и/или увеличения затрат, недостатки производственного планирования и, как следствие, увеличение текущих расходов предприятия;
- **инвестиционно-финансовый риск** – риск возможного обесценивания инвестиционно-финансового портфеля, состоящего из собственных ценных бумаг и приобретенных;
- **рыночный риск** – риск, связанный с возможным колебанием рыночных процентных ставок собственной национальной единицы и зарубежных курсов валют;
- **финансовый риск** – риск, связанный с осуществлением операций с финансовыми активами;
- **институционально-правовой риск** – риск, возникающий в связи с возможной несогласованностью целей и задач проекта, а также процесса его реализации с особенностями институционально-правовой среды, в которой реализуется проект;
- **социальный риск** – риск, связанный с социальными последствиями реализации инвестиционного проекта и, соответственно, социальной неподготовленностью проекта и возможностью отторжения этих изменений социальной средой;
- **экологический риск** – риск, обусловленный экологическими последствиями реализации проекта, то есть возможностью нанесения ущерба природной среде в результате выполнения проекта.

Рис. 1. Базовое сопоставление значимости рисков инвестиций в модернизацию производственных процессов на промышленном предприятии



- виды проектных рисков:
  - о производственный;
  - о инвестиционный;
  - о рыночный;
  - о финансовый;

С учетом характера инновационно-инвестиционных проектов промышленного предприятия по модернизации производственного процесса институционально-правовой, экологический и политический риски можно исключить из ана-

лиза. Следовательно, в первой подзадаче есть пять видов риска, рассматриваемых как входные переменные и три выходных переменные (четвертое направление «обучение кадров» также можно исключить из анализа ввиду низкого его приоритета), а во второй подзадаче – три направления инвестиций в качестве входных переменных и пять выходных переменных – видов риска. Первая подзадача – основная, вторая – дополнительная. Решение указанных подзадач требует создания эмпирической базы для моделирования чувствительности рисков, и здесь будет полезным обратиться к имитационному эксперименту. Очевидно, что для его реализации нет необходимости привлекать экспертов – достаточно изменить их оценки в ту или иную сторону.

### Алгоритм создания эмпирической базы для моделирования

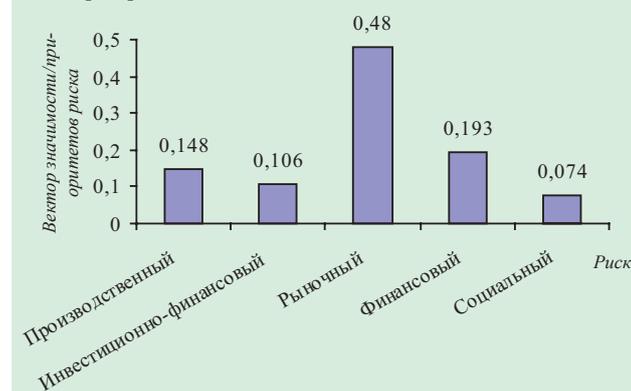
Рассмотрим алгоритм создания эмпирической базы для моделирования на примере трехуровневой иерархии, на среднем уровне которой есть пять видов рисков (производственный, инвестиционно-финансовый, рыночный, финансовый и социальный), а на нижнем уровне – альтернативные направления инвестиций. Ради упрощения задачи ограничимся анализом матрицы парных сравнений видов рисков инвестиций в модернизацию производственных процессов лишь одного из экспертов (табл. 1).

Поясним принцип формирования матрицы парных сравнений. Эксперт сравнивает значимость каждой пары видов риска по девятибалльной шкале отношений Т. Саати [12]. Так, эксперт полагает, что рыночный риск существенно значимее производственного риска. Этому суждению отвечает число «5», а противоположному сравнению (производственного риска относительно рыночного) – обратное число 1/5, то есть 0,200 (эта операция производится в автоматическом режиме). Таким образом, матрица, приведенная в табл. 1, является результатом  $5 \times 5 \times 4/2 = 10$  парных сравнений, выполненных экспертом. (Подчеркнем, что эксперт проводит сравнение не по числовой шкале, а по шкале с уровнями «равная значимость», «слабая значимость», «существенная значимость», «абсолютная значимость», чему соответствуют числа 1, 3, 5, 7 и 9. Числа 2, 4, 6 и 8 – результат промежуточных суждений эксперта.)

Приведенной матрице парных сравнений видов риска отвечает базовый

вектор их значимости, полученный в результате первичной обработки данных опроса эксперта в экспертно-аналитической системе Expert Decide (рис. 1). Избыточность данных в матрице позволяет не только оценить вектор весов видов риска, но и рассчитать показатель согласован-

Рис. 2. Измененный вектор значимости рисков инвестиций в модернизацию производственных процессов на промышленном предприятии



ности парных суждений эксперта по матрице. В данном случае согласованность оказалась удовлетворительной, и это позволяет перейти к созданию базы для моделирования, что производится уже без участия эксперта, в автоматическом режиме.

Алгоритм создания базы состоит в следующем: оценки парных сравнений варьируются в пределах  $\pm 1$  деления девятибалльной шкалы отношений Т. Саати. Так, для оценки влияния на результат повышения веса рыночного риска дадим оценку не «5» (существенная значимость рыночного риска в сравнении с производственным риском), а «6» – среднее между существенной и очень сильной значимостью. Тогда вместо

Таблица 2  
Вектор значимости видов риска и приоритетов направлений инвестиций при изменении веса рыночного риска

Параметр	Вариант имитации		
	Базовый	Увеличение веса риска	Уменьшение веса риска
<b>Риск:</b>			
производственный	0,147	0,148	0,163
инвестиционно-финансовый	0,102	0,106	0,112
рыночный	0,411	0,480	0,451
финансовый	0,165	0,193	0,197
социальный	0,091	0,074	0,076
<b>Направление инвестиций:</b>			
замена оборудования	0,301	0,299	0,304
введение экономических технологий	0,178	0,175	0,181
выпуск новой продукции	0,521	0,527	0,515

базового вектора приоритетов весов видов риска получаем измененный вектор (рис. 2). Как видно, сильнее всего изменился вес рыночного риска: он вырос с 0,411 до 0,480, остальные значения изменились не столь сильно.

Аналогично для оценки влияния на результат снижения значимости рыночного риска дадим оценку не «5», а «4» – среднее между существенной значимостью и некоторым ее преобладанием. И в этом случае вместо базового вектора получаем измененный вектор, соответственно, изменятся и векторы приоритетов направлений инвестиций (табл. 2).

По данным табл. 2 можно, например, оценить эластичность приоритета направления инвестиций «Замена оборудования» по изменению значимости рыночного риска: при увеличении последнего на величину:  $0,163 - 0,148 = 0,015$  приоритет данного направления инвестиций уменьшается на величину, определяемую как  $0,299 - 0,304 = -0,005$ . Это результат, интерпретируемый уже в экономических категориях.

Так как величины базовых приоритетов составляют 0,411 и 0,301 соответственно, получаем:

$$E(w_z/w_p) = [(w_{z1} - w_{z2})/w_{z,\delta}] / [(w_{p1} - w_{p2})/w_{p,\delta}] = \\ = [(0,163 - 0,148)/0,411] / [(0,299 - 0,304)/0,301] = -0,22,$$

где  $w_z$  – приоритет направления «Замена оборудования»;  $w_p$  – приоритет рыночного риска;  $w_{z1}, w_{z2}$  – приоритеты направления «Замена оборудования» в вариантах 1 и 2 соответственно;  $w_{z,\delta}$  – приоритет направления «Замена оборудования» в базовом варианте;  $w_{p1}, w_{p2}$  – приоритеты рыночного риска в вариантах 1 и 2 соответственно;  $w_{p,\delta}$  – вес рыночного риска в базовом варианте. При увеличении значимости рыночного риска на 1,00% приоритет направления инвестиций «Замена оборудования» уменьшается на 0,22%.

## Перспективы применения нейросетевых технологий

Уже из приведенного примера видно, что «управлять» величинами изменения значимости тех или иных элементов иерархии достаточно проблематично вследствие ее принципиальной нелинейности. В связи с этим предлагается иной подход. В нем используется случайность выбора вариантов сочетаний уровней переменных и реализуется идея нейросетевого моделирования. Как известно, преимущество нейросетевых технологий заключается в том, что при достаточном объеме исходных

данных с их помощью можно получить нелинейные модели практически любой сложности [9].

В работе [1] обосновано, что из многообразия нейросетевых программ, реализующих процедуры моделирования с помощью нейронных сетей, выгодно выделяется система Neural Connection, отличающаяся сочетанием прозрачности интерфейса с развитыми функциональными характеристиками. Из инструментальных средств этой системы наибольший интерес представляют два вида нейросетей – многослойный перцептрон (Multi-Layer Perceptron, MLP) и радиальная базисная функция (Radial Basis Function, RBF). Сеть первой структуры может моделировать нелинейную функцию практически любой сложности в зависимости от количества слоев и числа элементов в каждом слое. Сети RBF быстрее обучаются, но их недостаток в том, что при большом числе факторов входа возникают определенные трудности в создании достаточно точной модели.

Однако существует и ограничение на использование столь эффективных средств моделирования – необходимость располагать достаточно большим объемом обучающей выборки, представляющей собой набор входных факторов и известного результата (выходной величины). При формировании обучающей выборки необходимо соблюдать следующее правило: размер соответствующей ей электронной таблицы должен составлять не менее  $10(m + n)$  строк, где  $m$  – число входных факторов,  $n$  – число выходных факторов. Кроме того, в соответствии с принятой при нейросетевом моделировании практикой сети предоставляется для обучения 80% от всего объема выборки, 10% резервируется для проверки правильности настройки модели и 10% – для тестирования.

Оценим необходимый объем выборки для рассматриваемого примера. В нем имеется пять входных и три выходные переменные, следовательно, исходная эмпирическая база для нейросетевого моделирования должна содержать около 80 строк. Сначала можно рассмотреть модель для первого направления инвестиций, затем для второго и третьего, и тогда достаточно располагать 60 строками. Учитывая, что размерность матрицы парных сравнений  $5 \times 5$ , результаты сравнений одного эксперта обеспечивают 21 вариант (20 вариантов с измененными оценками + базовый вариант), при наличии информации от трех-четырех экспертов (с учетом возможных повторов) мы получим необходимый объем выборки. Это максимальная оценка, но, как показано в работе [1], практически успешное решение сформулированной выше подзадачи было достигнуто даже при объеме полной выборки  $N = 21$ , который оказался достаточным

для ее разделения на обучающую (17 вариантов), тестовую и контрольную (по два варианта) подвыборки.

Более продуктивным нам представляется иной подход: поскольку, как правило, в группу входит от 5 до 9 экспертов («магическое» число Миллера  $7 \pm 2$ , рекомендуемое в [12]), для большей устойчивости результатов следует увеличить выборку путем имитации парных суждений по результатам опроса не одного, а нескольких экспертов. Такой подход был реализован нами при решении задачи анализа чувствительности оценок рисков инновационных проектов в сфере создания новых информационных технологий и показал свою эффективность. Так, в математическом плане было показано, что сгенерированная с помощью предложенной методики эмпирическая база значимости рисков отвечает требованиям многомерного статистического анализа: переменные являются количественными, измерены по шкале отношений, а их распределение не противоречит нормальному закону.

Получены и экономически значимые результаты – выполнена оценка значений средней (хордовой) эластичности приоритетов направлений

инвестиций по значимости рисков различного вида, определены их рейтинги. Обосновано, что в число наиболее чувствительных факторов риска входят: производственный риск – рейтинг 1 в направлении «Выпуск новой продукции» и рейтинг 2 в двух других направлениях инвестиций; социальный риск – рейтинг 2 в направлениях «Выпуск новой продукции» и «Переход на менее затратные технологии»; финансовый риск – рейтинг 3 в направлении «Выпуск новой продукции» и рейтинг 1 в двух других направлениях инвестиций. Следовательно, именно на эти виды рисков следует обращать внимание в первую очередь при количественной оценке денежных потоков.

В данной статье мы не обсуждаем результаты нейросетевого моделирования чувствительности оценок рисков инновационных проектов, этот вопрос будет рассмотрен в отдельной публикации. Описанная методика обладает общностью и рекомендуется к использованию в анализе чувствительности рисков не только проектов реструктуризации промышленных предприятий, но и любых других инвестиционных проектов в различных сферах экономики.

1. Батин Б. А. Анализ чувствительности оценок рисков инвестиционных проектов промышленного предприятия методами эконометрического моделирования // Вестник НИИ развития профессионального образования. Сер. «Экономика и управление». М.: ИИЦ НИИРПО. 2008. Вып. 2. С. 101–114.
2. Волков И. М., Грачева М. В. Проектный анализ: Продвинутый курс: Учеб. пос. М.: Инфра-М, 2004. 495 с.
3. Иванов В. А., Шуметов В. Г., Милых Ф. Г. и др. Теория и практика принятия решений в экономике и управлении экспертными методами. М.: МГУДТ, 2003. 186 с.
4. Клейнен Дж. Статистические методы в имитационном моделировании. Вып. 1. М.: Статистика, 1978. 221 с.
5. Кузнецов А. И. Expert Decide для Windows 95, Windows 98 и Windows NT. Версия 2.0. Руководство пользователя/Под ред. В. Г. Шуметова. Орел: ОРАГС, 2000. 24 с.
6. Кузнецов А. И., Шуметов В. Г. Алгоритмы и процедуры системы поддержки принятия управленческих решений Expert Decide 2.0 // Компьютерные технологии в учебном процессе и научных исследованиях: Сб. докл. науч.-метод. семинара ОрелГАУ. Орел: ОрелГАУ, 2000. С. 110–119.
7. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
8. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
9. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks. М.: Горячая линия – Телеком, 2001.
10. Покровский А. М. Методологические аспекты моделирования и управления инновационными проектами в условиях неопределенности и риска // Вестник Московского экономического института. 2009. Вып. 2. С. 10–28.
11. Риск-менеджмент инвестиционного проекта: Учебник/Под ред. М. В. Грачевой и А. Б. Секерина. М.: Юнити-Дана, 2009. 544 с.
12. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.
13. Шуметов В. Г. Управление инновационным процессом в хозяйственной системе на основе современных информационных технологий/Под общ. ред. А. Ю. Егорова. М.: Палеотип, 2004. 286 с.
14. Шуметов В. Г., Секерин А. Б., Гудов В. А. Инновационный менеджмент на основе экспертных знаний. Орел: ОРАГС, 2003. 366 с.
15. Neural Connection 2.0 Application Guide. Chicago: SPPS Inc. and Recognition Systems Inc., 1997. 97 p.