Методика оценки эффективности инновационных проектов

© 2016 Абузярова Мария Ивановна
кандидат экономических наук
Самарский государственный экономический университет
443090, г. Самара, ул. Советской Армии, д. 141
E-mail: rust1978@mail.ru

Рассматриваются особенности оценки инновационных проектов, так как в последнее десятилетие произошли существенные изменения в осмыслении процессов формирования инновационных проектов и рациональных решений в условиях риска. Стало очевидным, что методики оценки и ранжирования, предлагаемые для финансирования инновационных проектов в условиях множественности критериев, требуют своего пересмотра и приведения в соответствие с современным пониманием процессов.

Ключевые слова: инновации, финансирование инновационных проектов, многокритериальные методы отбора инновационных проектов.

Отбор инновационных проектов для финансирования осуществляется по нескольким критериям эффективности. Подобного рода задачи можно разбить на два класса:

- оптимизации распределения имеющихся ограниченных ресурсов;
- выбора наилучшего из проектов по многим критериям без учета ограничивающих по ресурсам условий.

Один из подходов к решению задач выбора наилучшего варианта по многим критериям получил название аналитического иерархического процесса. Данная методика разработана Т. Саати.

Суть метода состоит в построении матрицы чисел, представляющих собой попарные сравнительные оценки важности критериев относительно друг друга. Особенность данной методики состоит в оценке "важности" критериев по балльной системе. Но формируемая матрица допускает с большой вероятностью противоречивость выставляемых сравнительных оценок важности критериев. Наибольший недостаток методики состоит в том, что принимаются во внимание лишь субъективные оценки важности признаков относительно друг друга.

Следует констатировать, что в настоящее время в отечественной и зарубежной научной литературе ощущается недостаток методик, которые позволяли бы решать проблему многокритериального выбора с максимальным учетом всех как объективных, так и субъективных составляющих проблемы.

Нами предлагается методика, которая сочетает преимущества рассмотренных выше подходов к решению проблемы и позволяет в наибольшей мере снизить степень субъективизма в оценке вариантов выбора.

Проблема заключается в том, как с помощью объективных количественных методов анализа оценить веса критериев. Решение этой проблемы видится в использовании следующей процедуры расчетов:

1. Формируется матрица чисел, представляющих собой количественную характеристику результатов попарного сравнения "важности" критериев (по аналогии с упомянутой методикой Т. Саати).

Сравнение проводится по шкале от 1 до 9 (можно взять и другой интервал, скажем, от 1 до 100 - суть метода останется без изменений). Указанные числа обозначают количественную оценку того, насколько один метод важнее другого, на взгляд эксперта или лица, принимающего решение.

Обозначим данные числа через a_{ij}, где i и j - номера сравниваемых критериев. При этом $a_{ij} = 1$ означает, что критерии i и j одинаково важны; $a_{ij} = 9$ означает абсолютное превосходство критерия i над критерием j. Интерпретация значений a_{ij} приведена в таблице. Если же оказывается, что критерий i *менее* важен, чем критерий j, то для численного отражения соотношения следует использовать обратное значение соответствующего индекса из таблицы. Например, если критерий i *заметно менее* важен, чем критерий j, то $a_{ij} = \frac{1}{5}$. Оценка a_{ij} соотношения критериев j и i равна $\frac{1}{a_{ij}}$, т.е.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ij}}\ . \quad (1)$$

Интерпретация значений a_{ij} в матрице попарных сравнений

№ п/п	Значение a_{ij}	Интерпретация
1	1	Критерии i и j одинаково важны
2	3	Критерий i немного более важен, чем критерий j
3	5	Критерий i заметно более важен, чем критерий j
4	7	Критерий i существенно более важен, чем критерий j
5	9	Критерий i абсолютно превалирует над критерием j

Примечание. Разработано автором.

Сравнение каждого критерия с самим собой дает 1; иначе говоря, $a_{ii} = 1$.

Таким образом, матрица коэффициентов попарных сравнений критериев (обозначим ее A) выглядит следующим образом:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ \dfrac{1}{a_{12}} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dfrac{1}{a_{1m}} & \dfrac{1}{a_{2m}} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix}. \qquad (2)$$

2. Используя приведенную матрицу сравнительных оценок, можно рассчитать веса каждого из критериев по следующей схеме:

• вычисляем сумму чисел по каждому столбцу матрицы A:

$$S_j = \sum_{i=1}^{m} a_{ij}, \quad i = \overline{1,m}; \qquad (3)$$

• числа a_{ij} из столбца j делим на соответствующую их сумму S_j, $i = \overline{1,m}$. В результате получаем нормализованную матрицу $A_{норм}$, состоящую из элементов

$$a_{ij}^{норм} = \frac{a_{ij}}{S_j}, \quad j = \overline{1,m}, \ i = \overline{1,m}, \qquad (4)$$

т.е.

$$A_{норм} = \begin{bmatrix} a_{11}^{норм} & a_{12}^{норм} & \dots & a_{1m}^{норм} \\ a_{21}^{норм} & a_{22}^{норм} & \dots & a_{2m}^{норм} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}^{норм} & a_{m2}^{норм} & \dots & a_{mm}^{норм} \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

При этом сумма чисел по столбцам нормализованной матрицы равна единице, т.е.

$$\sum_{i=1}^{m} a_{ij} = 1, \quad j = \overline{1,m}; \qquad (6)$$

• рассчитываем средние из числовых элементов по каждой строке нормализованной матрицы $A_{норм}$:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^{m} a_{ij}^{норм}}{m}, \quad i = \overline{1,m}. \qquad (7)$$

Полученные величины w_i, $i = \overline{1,m}$ представляют собой численные значения весов соответствующих критериев.

Обоснование такому заключению состоит в следующем:

• численное значение элемента $a_{11}^{норм}$ есть вес первого критерия, который он получает при сравнении с ним каждого из критериев;

• величина $a_{12}^{норм}$ есть вес первого критерия, который он получает при сравнении каждого критерия со вторым критерием;

• соответственно, $a_{1m}^{норм}$ представляет собой вес первого критерия, который ему присваивается при сравнении m-го критерия с каждым из критериев.

Следовательно, средняя из указанных весов есть искомый вес данного критерия в целом по совокупности сравнений.

3. Матрицам попарных сравнительных оценок (2) присуща некоторая доля противоречивости оценок.

В данной связи возникает необходимость предварительной проверки матрицы на противоречивость оценок. Для проверки этого в матрицах следует ввести новый количественный критерий, который назовем индексом несовместности оценок и обозначим *CI*. Процедура проверки состоит из следующих шагов:

• рассчитывается вектор Aw путем перемножения матрицы оценок A и вектора весов w_i:

$$Aw = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ \dfrac{1}{a_{12}} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dfrac{1}{a_{1m}} & \dfrac{1}{a_{2m}} & \dots & a_{mm} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_m \end{bmatrix}; \qquad (8)$$

• находим величину

$$\gamma = \frac{\frac{v_1}{w_1} + \frac{v_2}{w_2} + \ldots + \frac{v_m}{w_m}}{m}; \qquad (9)$$

• рассчитываем индекс несовместности

$$CI_{расч} = \frac{\gamma - m}{m-1}; \qquad (10)$$

• находим отношение расчетного индекса $CI_{расч}$ к его табличному значению $CI_{табл}$ при данном количестве критериев m:

$$R = \frac{CI_{расч}}{CI_{табл}}. \qquad (11)$$

Табличный индекс $CI_{табл}$ рассчитывается как *средняя* из индексов, вычисляемых следующим образом:

• с помощью генератора случайных чисел многократно формируется матрица A при условиях, что $a_{ii} = 1$ для всех i и $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$;

• на основе каждой сформированной случайным образом матрицы в соответствии с приведенной выше процедурой рассчитываются индексы несовместности CI, которые затем усредняются.

Отметим, что размер индекса зависит от количества m критериев в задаче: чем больше m, тем выше индекс.

Как видно из формулы для расчета индекса несовместности, при $R = 0$ несовместность отсутствует полностью. Это достигается при выполнении равенства $\gamma = m$. Чем больше R, тем выше несовместность.

Вероятность принять ошибочное решение на уровне 5 или 10 % вполне приемлема с практической точки зрения.

Таким образом, следуя рекомендациям теории статистики, принимаем, что при $R = \frac{CI_{расч}}{CI_{табл}} \pi\ 0{,}1$ несовместность попарных оценок важности критериев в матрице несущественна. И наоборот, при $R = \frac{CI_{расч}}{CI_{табл}} \geq 0{,}1$ имеют место серьезные противоречия в оценках, что может привести к ненадежным результатам.

Таким образом, основная формула ранжирования и выбора наилучшего варианта инвестиций:

$$D_j = \sum_{i=1}^{m} \alpha_{ij} \frac{1}{w_i}, \quad j = \overline{1,n}, \qquad (12)$$

где α_{ij} - нормированное расстояние между значением признака i и его эталонным значением по варианту j;

m - количество критериев;

n - количество вариантов выбора;

$\frac{1}{w_i}$ - величина, обратная весу i-го критерия;

величина α_{ij} рассчитывается по формуле (10) и берется по своему абсолютному значению (модулю); из полученных величин D_i, $i = \overline{1,m}$, выбирается наименьшая.

Чаще всего основная задача инвестиционных фондов состоит в создании портфеля, который при заданном уровне отдачи характеризуется минимальным уровнем риска.

Согласно теории управления портфелями, если доходы по рискованным инвестициям являются случайными переменными, то доходы по портфелю представляют собой взвешенную по стоимости среднюю доходов по отдельным инвестициям.

Данное положение можно представить как

$$R_p = \sum_{i=1}^{n} W_i r_i, \qquad (13)$$

где W_i - вес i-го актива;

r_i - размер дохода по i-му активу.

Однако стандартное отклонение портфеля не равно взвешенной по стоимости средней из стандартных отклонений отдельных активов. Так, необходимо принять во внимание ковариацию каждой пары активов.

В общем виде дисперсия (квадрат стандартного отклонения) портфеля рассчитывается как

$$z = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} cov_{ij} W_i W_j. \qquad (14)$$

где z - дисперсия портфеля;

cov_{ij} - ковариация доходов от деятельностей i и j.

Отметим, что ковариация значений любой пары показателей X и Y вычисляется с использованием одной из следующих формул:

1) $$cov_{XY} = \frac{\sum_{k=1}^{K}\left(X_k - \overline{X}\right)\left(Y_k - \overline{Y}\right)}{K-1}, \qquad (15)$$

где k - индекс наблюдения;

K - количество наблюдений;

X_k и Y_k - соответственно, значения показателей X и Y в k-е наблюдение;

$\overline{X}$ и $\overline{Y}$ - средние значения соответствующих показателей;

2) $$cov_{XY} = \sum_{s=1}^{S} \left(X_s - \overline{X}\right)\left(Y_s - \overline{Y}\right) p_s\left(X_s, Y_s\right), \quad (16)$$

где s - индекс состояния;

S - количество состояний;

$p(X_s, Y_s)$ - вероятность состояния s, в котором рассматриваемые показатели принимают, соответственно, значения X_s и Y_s .

Для удобства расчетов дисперсию портфеля запишем с помощью векторов весов и матрицы ковариаций активов:

$$z = \left[W_1 W_2 ... W_n\right] \begin{bmatrix} cov_{11} & cov_{12} & ... & cov_{1n} \\ cov_{21} & cov_{22} & ... & cov_{2n} \\ ... & ... & ... & ... \\ cov_{n1} & cov_{n2} & ... & cov_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ ... \\ W_n \end{bmatrix}. \quad (17)$$

Задача оптимизации портфеля состоит в определении доли каждой из инвестиций в портфеле так, чтобы получить эффективный портфель. Для этого ставится задача минимизировать дисперсию портфеля:

$$z = W^T \Omega W \quad (18)$$

при

$$\sum_{i=1}^{n} W_i = 1 \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^{n} W_i E(r_i) \geq R, \quad (20)$$

где $E(r_i)$ - математическое ожидание дохода (средний доход) по i-й инвестиции;

W - вектор весов активов;

W^T - транспонированный вектор весов активов;

Ω - матрица ковариаций активов;

R - нижний допустимый уровень дохода в целом по портфелю.

В практических задачах могут присутствовать ограничения, касающиеся минимальных и максимальных долей каждой из инвестиций или определенной группы инвестиций.

Обычно задача (18) - (20) решается для различных допустимых уровней дохода R. Задавая разные уровни R и решая задачу, исследователь формирует серию оптимальных вариантов портфеля. Из полученных вариантов отбирают наиболее приемлемый вариант портфеля.

Особенности формирования инвестиционного портфеля требуют усовершенствования методики оптимизации портфеля.

Задачу формирования инвестиционного портфеля представим в следующем виде:

• максимизировать гарантированный эквивалент ожидаемой полезности портфеля

$$CE = \left[E(U)\right]^{-1} \to \max \quad (21)$$

при условиях:

1) по общему объему возможных инвестиций

$$\sum_{j=1}^{n} W_j X_j \leq V; \quad (22)$$

2) инвестиции в j-й актив могут быть либо произведены в полном объеме, либо не произведены вовсе, т.е.

$$X_j \text{ - бинарные, } j = \overline{1,n}. \quad (23)$$

Условие бинарности означает, что переменная X_j принимает значение ноль, если инвестиции в соответствующий проект не производятся, или единицу, если имеется рациональный смысл вкладывать средства в проект.

Для получения численного решения задачи введем вспомогательные ограничения по учету риска:

3) финансовые результаты по исходам

$$\sum_{j=1}^{n} r_j^s W_j X_j = Y^s, \ s \in S; \quad (24)$$

4) оценка полезности портфеля по исходам

$$U^s = U\left(Y^s\right), \ s \in S; \quad (25)$$

5) ожидаемая полезность

$$E(U) = \sum_{s \in S} p^s U^s. \quad (26)$$

Обозначения в модели (21) - (26): W_j - объем требуемых вложений в j-й проект; V - максимальный возможный суммарный объем вложений; r_j^s - доходность (рентабельность) проекта j при исходе s; Y^s - доход от портфеля при исходе s; U^s - полезность портфеля при исходе s; p^s - вероятность исхода s; S - множество возможных исходов.

При отсутствии исчерпывающей информации о предпочтениях менеджера относительно рисковых альтернатив рекомендуем принять $r_r(w) = 1$. Особая форма степенной функции

$$U = \frac{1}{1-r} w^{(1-r)} \quad (27)$$

имеет существенные преимущества при моделировании по причине своей простоты. Здесь $r = r_r(w)$ представляет собой постоянный относительный коэффициент неприятия риска.

При $r_r(w)=1$ степенная функция превращается в логарифмическую функцию.

Но мы не можем использовать приведенные функции полезности, поскольку аргументом в них служит стоимость состояния (богатства) w. Для этого воспользуемся соотношением:

$$r_r(Y)=(Y/w)r_r(w), \quad (28)$$

где Y - приращение стоимости (в нашем случае - ожидаемая прибыль в целом по портфелю);

w - стоимость активов портфеля (сумма инвестиций по портфелю).

Для определения размера ожидаемого дохода рекомендуем поступить следующим образом.

Задачу преобразуем для случая нейтрального отношения менеджера к риску.

Получаем постановку вида:

максимизировать ожидаемую прибыль от инвестиционного портфеля

$$Y=\sum_{s\in S} p^s Y^s \to \max \quad (29)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} W_j X_j = w, \quad (30)$$

$$w \le V, \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^{n} r_j^s W_j X_j = Y^s,\ s\in S, \quad (32)$$

$$X_j \text{ - бинарные},\ j=\overline{1,n}, \quad (33)$$

где w - общая стоимость активов портфеля; смысл других обозначений остается прежним.

Решив задачу (29) - (33) и подставив полученное значение Y в соотношение (28), найдем коэффициент относительного неприятия риска по отношению к прибыли:

$$r_r(Y)=\frac{Y}{w}. \quad (34)$$

Рассчитанный таким образом коэффициент относительного неприятия риска по отношению к прибыли $r_r(Y)$ имеет приближенный характер.

При использовании выражения (27) в качестве функции полезности расчет коэффициента относительного неприятия риска по прибыли приводит ограничение (25) в задаче (21) - (26) к конкретному виду

$$U^s=\frac{1}{1-\frac{Y}{w}}Y^{s\left(1-\frac{Y}{w}\right)}. \quad (35)$$

Соответствующие конкретные виды в задаче приобретают также выражения (21) и (26).

Таким образом, предложенная схема комплектования инвестиционного портфеля в условиях риска может быть применена с небольшими видоизменениями при решении практически любой задачи формирования и управления инвестиционным портфелем.

1. *Гречишкина М.В., Ивахник Д.Е.* Выбор оптимального варианта инвестиций (оптимизационный подход) // Финансовый менеджмент. 2003. № 3.

2. *Шапкин А.С.* Экономические и финансовые риски. Оценка, управление, портфель инвестиций. Москва, 2006.

3. *Уотшем Т.Дж., Паррамоу К.* Количественные методы в финансах. Москва, 1999.

4. *Никитская Е.Ф.* Системный подход к формированию и развитию инновационного потенциала // Молодой ученый. 2014. № 6 (2).

5. *Палей Т.Ф.* Инновационный менеджмент. Изд. 2-е. Казань, 2011.

6. *Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н.* Математические методы в экономике. Москва, 1999.

Поступила в редакцию 06.12.2015 г.