



ВЫБОР ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ПАРЕТО – ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

УДК 338.138:519.8

КОВАЛЕНКО Игорь Иванович

д.т.н., профессор кафедры интеллектуальных информационных систем Черноморского государственного университета им. Петра Могилы

Научные интересы: методы анализа данных, прикладной системный анализ,
теория оптимальных решений, системы поддержки принятия решений.

e-mail: igor.kovalenko@nuos.edu.ua

ЧЕРНОВА Любава Сергеевна

аспирант кафедры «Управление проектами» Николаевский национальный университет имени адм. Макарова.

Научные интересы: изучение методов, моделей, механизмов диагностики угроз
в инновационных программах развития наукоемких производств.

e-mail: 19chls92@gmail.com

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Важным аспектом анализа инновационных проектов на предконтрактной стадии является вопрос о возможности их инвестирования. К инновационным проектам традиционно относятся те, которые обеспечивают получение новых технологий нового качества, преобразование средств производства, управления производственными процессами и др., что в конечном счете приводит к повышению конкурентоспособности. Высокая стоимость и потенциальная коммерческая ценность научных исследований требуют внимательного отношения не только к выбору научных приоритетов, но и к самому процессу реализации научных разработок, начиная со стадии генерации идей и заканчивая стадией рыночного сопровождения готового продукта [3].

В данной связи важная роль отводится рискообразующим факторам, которые в той или иной мере могут повлиять на решение по финансированию инновационных проектов. В современных публикаци-

ях, посвященных анализу инновационных рисков [1,3,4 и др.], рассматриваются вопросы их общей классификации без конкретного выделения тех из них, которые могут влиять на принятие решений о инвестициях в проекты. Кроме этого математические методы, используемые для решения многокритериальных задач выбора в условиях наличия рискообразующих факторов, как правило, не учитывают ситуации когда такие факторы могут быть независимы по предпочтениям.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализ публикаций последних лет показывает, что в настоящее время получили широкое распространение методы многокритериального принятия решений, основанные на теориях аналитических иерархий (МАИ) и аналитический сетей (МАС) Т.Саати [7]. Наряду с этим активно развивается методология, в основе которой лежит знаменитый принцип Эджворта-Парето, утверждающий, что наилучший

выбор всегда следует искать в пределах множества Парето. Среди значимых работ, посвященных развитию этого направления можно отметить работы [2, 5, 6] и целый ряд других. Вместе с тем отмечается, то что во многих многокритериальных задачах множество Парето оказывается довольно широким и конкретный выбор в его пределах не является очевидным [6].

В этой связи возникла проблема сужения множества Парето, связанная с выбором того или иного конкретного парето – оптимального варианта в качестве «наилучшего».

Различные подходы к решению указанной проблемы рассмотрены в указанных публикациях. Таким образом, отмеченное направление решения многокритериальных задач выбора решений представляется перспективным.

Цель статьи состоит в рассмотрении подхода по выбору и обоснованию комплекса рискообразующих факторов (критериев), наиболее ярко отображающих инновационный, финансовый и маркетинговый аспекты инновационных проектов, и парето – оптимального выбора тех из них, в которые могут быть вложены финансовые инвестиции.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

С учетом сформулированной цели статьи, выберем три критерия (f), и кратко рассмотрим их содержание:

- Инновационный уровень проекта (f_1) определяется степенью готовности инновационных разработок к выполнению проекта, научной новизной, оригинальностью идей и концепций, которые предлагаются; практической ценностью и социально-экономической значимостью, полученного продукта проекта. Кроме этого инновационный уровень проекта должен характеризоваться преимуществами по сравнению с

отечественными и зарубежными аналогами, наличием спроса на рынках сбыта.

- Внутренняя норма доходности проекта (f_2) используется в практике проектного анализа в качестве первого шага для анализа эффективности капиталовложений.

Данный критерий характеризуется так называемой «точкой-безубыточности» и называется еще «внутренней нормой рентабельности» или «внутренней нормой доходности» [1]. Этот показатель для проектов, принятых к финансированию, варьируется в зависимости от отрасли экономики, различных форм собственности и степени риска. Принятой нормой данного критерия, при которой рекомендуются инвестиции в проект, является величина 15-20 % [1].

- Интенсивность конкуренции (f_3) – это степень противодействия конкурентов в борьбе за потребителей и новые рыночные ниши, одна из важнейших характеристик активности конкурентной среды инновационных проектов. Этот показатель невозможно точно определить из-за сложности непосредственной оценки взаимодействия факторов конкурентной среды, тем не менее в работе [8], выделяются следующие факторы, влияющие на него: рентабельность рынка, тип рынка, его объем и характер распределения рыночных долей конкурентов, а также степень концентрации продукции на рынке. Эти факторы, в свою очередь, определяются объемом реализованной продукции заданного ассортимента, выраженным в денежных единицах, количеством предприятий, которые реализуют данную продукцию.

Наличие ряда критериев приводит к задаче многокритериального выбора решений (альтернатив, вариантов, планов, стратегий и т.п.), общая модель которого представляется в следующем виде [5]:

1. Наличие множества возможных (допустимых) решений

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\};$$



2. Наличие векторного критерия $f = (f_1, f_2, \dots, f_m)$, $m \geq 2$, определенного на множестве возможных решений X .

3. Отношение предпочтения $>_x$, заданное на множестве возможных решений X (например, $x_1 >_x x_2$).

В конечном итоге задача многокритериального выбора состоит в отыскании множества выбираемых решений $C(X)$, $C(X) \in X$, с учетом отношения предпочтения $>_x$ на основе заданного векторного критерия f , отражающего набор целей лица, принимающего решения (ЛПР). При этом, если ЛПР ведет себя «разумно», то выбираемые им решения $C(x)$ обязательно должны быть парето-оптимальными, т.е. выбранными из сформированного множества Парето $P_{(x)}$, $C_{(x)} \in P_{(x)}$. Такая процедура может быть представлена следующей схемой $X \Rightarrow P(X)_f \Rightarrow C(X)$.

В данной связи возникает задача построения множества Парето, представляющего собой множество недоминируемых решений. Для решения такой задачи можно воспользоваться алгоритмами, рассмотренными в работах [5,6]. Приведем их основное содержание. Пусть множество возможных решений X состоит из конечного числа элементов, т.е. $X = X_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Тогда первый шаг алгоритма заключается в последовательном сравнении первого решения X_1 со всеми остальными $X_2, \dots, X_n$. Это сравнение заключается в проверке справедливости соотношений $x_1 >_x x_i$ и $x_i >_x x_1$ при каждом $i=2, \dots, n$.

В случае истинности для некоторого i первого соотношения $x_1 >_x x_i$ доминируемое решение x_i удаляется из множества X_1 . При выполнении второго соотношения $x_i >_x x_1$ удалению подлежит решение X_1 . Если же ни одно из приведенных соотношений $x_1 >_x x_i$ и $x_i >_x x_1$ не являются истинными, ничего удалять не следует. В том случае, ко-

гда сравнения решения X_1 были проведены со всеми остальными решениями $x_2, \dots, x_n$, и ни для какого $i=2, \dots, n$ не оказалось выполненным соотношение $x_i >_x x_1$, первое решение следует запомнить как недоминируемое и удалить его из X_1 . Если после выполнения первого шага во множестве X_1 не осталось ни одного решения (т.е. все оказались удаленными), то алгоритм заканчивает работу. При этом в памяти будет храниться одно недоминируемое решение X_1 . В противном случае (т.е. когда не все решения оказались удаленными), необходимо перейти ко второму шагу алгоритма, который аналогичен первому. Сначала нужно пронумеровать элементы вновь полученного множества X_2 , а после этого провести последовательное сравнение первого решения множества X_2 со всеми остальными его элементами. Такое сравнение закончится либо удалением первого решения множества X_2 , либо такого удаления не произойдет.

Во втором случае это решение следует запомнить как недоминируемое, а затем удалить его из X_2 . Если после этого во множестве X_2 не останется ни одного решения, то вычисления заканчиваются. В противном случае нужно применить третий аналогичный шаг алгоритма и т.д. В конечном итоге будет сформировано множество всех недоминируемых решений.

Однако, как уже отмечалось выше, во многих многокритериальных задачах множество Парето оказывается довольно широким и конкретный выбор в его пределах является достаточно проблемным. По этой причине возникает следующая задача, связанная с сужением такого множества для выбора лучшего решения [2,5,6].

В рамках стратегии компенсации для сужения множества Парето используется подход выявления информации об относительной возможности критериев по-

средством прямого опроса ЛПР. В результате такого опроса выясняется отношение ЛПР, например, к ситуации, когда ради увеличения значения более важного i -го критерия на ω_i^* единиц ЛПР готово пожертвовать потерями в ω_j^* единиц по j -му

$$\theta_{ij} = \frac{\omega_i^*}{\omega_i^* + \omega_j^*}, (0 < \theta_{ij} < 1) \quad (1)$$

Далее необходимо менее важный j -й критерий в общем множестве критериев

$$f_j^* = \theta_{ij} * f_i + (1 - \theta_{ij}) * f_j \quad (2)$$

Таблица 1

Экспертные оценки проектов по каждому из критериев.

Векторы оценок по каждому проекту ($n=8$)	f_1	f_2	f_3
$y^{(1)}$	5	3	4
$y^{(2)}$	4	3	3
$y^{(3)}$	5	3	3
$y^{(4)}$	4	3	5
$y^{(5)}$	2	4	3
$y^{(6)}$	4	3	3

Затем следует найти множество Парето относительно нового векторного критерия. Все остальные «старые» критерии сохраняются.

Рассмотрим пример парето-оптимального выбора инновационных проектов с учетом выбранных критериев: f_1 – инновационный уровень проекта; f_2 – внутренняя норма доходности; f_3 – интенсивность конкуренции; $n = 6$ – вариантов выбираемых проектов; $m = 3$ – число критериев. Для экспертного оценивания всех критериев используем пятибалльную шкалу.

Обозначим множество из шести возможных векторов (оценок) соответствующих проектов через $Y = \{y^{(1)}, y^{(2)}, y^{(3)}, \dots, y^{(6)}\}$ и положим, что в результате экспертизы проектов были получены оценки, представленные в таблице 1. Положим $P(Y) = Y$ и в соответствии с описанным алгоритмом выполним сравнение указанных векторов.

критерию при условии сохранения значений по всем остальным критериям.

При этом вычисляется коэффициент относительной важности θ_{ij} , который выражает долю потери относительно суммы потери и прибавки i -го критерия по сравнению с j -м критерием [5]:

$\{f_1, f_2, \dots, f_m\}$ заменить новым, вычисленным по формуле [5]:

1. Сравниваем попарно $y^{(1)}, y^{(2)}; y^{(1)}, y^{(3)}; y^{(1)}, y^{(4)}; y^{(1)}, y^{(5)}; y^{(1)}, y^{(6)}$ на выполнение отношения $\geq$.

Имеем: $y_1^{(1)} > y_1^{(2)}; y_2^{(1)} = y_2^{(2)}; y_3^{(1)} < y_3^{(2)}; y_1^{(1)} = y_1^{(3)}; y_2^{(1)} = y_2^{(3)}; y_3^{(1)} > y_3^{(3)}; y_1^{(1)} > y_1^{(4)}; y_2^{(1)} = y_2^{(4)}; y_3^{(1)} < y_3^{(4)}; y_1^{(1)} > y_1^{(5)}; y_2^{(1)} < y_2^{(5)}; y_3^{(1)} > y_3^{(5)}; y_1^{(1)} > y_1^{(6)}; y_2^{(1)} = y_2^{(6)}; y_3^{(1)} < y_3^{(6)}$.

Отсюда видно, что пары $y_3^{(1)} > y_3^{(2)}; y_3^{(1)} < y_3^{(4)}; y_2^{(1)} < y_2^{(5)}$ не сравнимы по отношению $\geq$. Следовательно в целом вектор $y^{(1)}$ является недоминируемым и включается в $P(Y) = \{y^{(1)}\}$.

2. Выполняем сравнение вектора $y^{(2)}$ с векторами $y^{(3)}, y^{(4)}, y^{(5)}, y^{(6)}$.

Имеем: $y_1^{(2)} = y_1^{(3)}; y_2^{(2)} = y_2^{(3)}; y_3^{(2)} = y_3^{(3)}; y_1^{(2)} = y_1^{(4)}; y_2^{(2)} = y_2^{(4)}; y_3^{(2)} < y_3^{(4)}; y_1^{(2)} > y_1^{(5)}; y_2^{(2)} < y_2^{(5)}; y_3^{(2)} = y_3^{(5)}; y_1^{(2)} = y_1^{(6)}; y_2^{(2)} = y_2^{(6)}; y_3^{(2)} > y_3^{(6)}$.

Поскольку $y^{(3)} \geq y^{(2)}$, то последний удаляется, как доминируемый.

3. Сравниваем $y^{(3)}$ с $y^{(4)}, y^{(5)}, y^{(6)}$.

Имеем: $y_1^{(3)} > y_1^{(4)}; y_2^{(3)} = y_2^{(4)}; y_3^{(3)} < y_3^{(4)}; y_1^{(3)} > y_1^{(5)}; y_2^{(3)} < y_2^{(5)}; y_3^{(3)} = y_3^{(5)}; y_1^{(3)} > y_1^{(6)}; y_2^{(3)} = y_2^{(6)}; y_3^{(3)} < y_3^{(6)}$.

Здесь пары $y_3^{(3)} < y_3^{(4)}; y_2^{(3)} < y_2^{(5)}$ не сравнимы по $\geq$, следовательно $P(Y) = \{y^{(1)}, y^{(3)}\}$;

4. Выполняем сравнение вектора $y^{(4)}$ с $y^{(5)}, y^{(6)}$.

Имеем: $y_1^{(4)} > y_1^{(5)}; y_2^{(4)} < y_2^{(5)}; y_3^{(4)} > y_3^{(5)};$
 $y_1^{(4)} = y_1^{(6)}; y_2^{(4)} < y_2^{(6)}; y_3^{(4)} > y_3^{(6)};$

Здесь при сравнении $y^{(4)}$ и $y^{(6)}$ выполняется отношение $y^{(4)} > y^{(6)}$, следовательно $y^{(6)}$ является доминируемым и удаляется из рассмотрения.

5. Сравним $y^{(5)}$ и $y^{(6)}$. Поскольку $y^{(6)}$ был удален, как доминируемый, то остается вектор $y^{(5)}$, который не с чем сравнивать. Следовательно, итоговое множество Парето имеет вид: $P(Y) = \{y^{(1)}, y^{(3)}, y^{(5)}\}$ (таблица 2).

В соответствии с этим, именно из первого, третьего и пятого проектов следует выполнить окончательный выбор. Однако для этого необходимо располагать информацией о предпочтениях ЛПР относительно выбранных критериев f_1, f_2, f_3 . Пусть например, ЛПР готов ради увеличения показателя критерия f_2 (внутренняя норма доходности) поступиться значением критерия f_1 (инновационный уровень проекта) на величину $\omega_1^* = \omega_2^* = 0.5$ балла. Тогда коэффициент относительно важности $\theta_{12} = \frac{\omega_2^*}{\omega_1^* + \omega_2^*} = \frac{0.5}{1} = 0.5$. С учетом этого новые значения оценок по критерию f_2 будут следующие: $f_2^{(1)} = 0.5 * 5 + (1 - 0.5) * 3 = 4; f_2^{(2)} =$

$4; f_2^{(3)} = 0.5 * 2 + (1 - 0.5) * 4 = 3$ (таблица 3). Исходя из значений этой таблицы можно записать следующие отношения: $y_1^{(1)} = y_1^{(3)}; y_1^{(1)} > y_1^{(5)}; y_2^{(1)} = y_2^{(2)}; y_2^{(1)} = y_2^{(5)}; y_3^{(1)} > y_3^{(2)}; y_3^{(1)} > y_3^{(5)}$. Во всех трех случаях $y^{(1)}$ является доминирующим, и при этом выполняется условие транзитивности. Следовательно, единственным и лучшим решением будет выбор 1-го проекта.

Таблица 2

Множество Парето

	f_1	f_2	f_3
$y^{(1)}$	5	3	4
$y^{(3)}$	5	3	3
$y^{(5)}$	2	4	3

Таблица 3

Новые значения f_2

	f_1	f_2	f_3
$y^{(1)}$	5	4	4
$y^{(2)}$	5	4	3
$y^{(3)}$	2	3	3

ВЫВОДЫ

В основе рассмотренного в работе подхода к анализу инновационных проектов лежат следующие два аспекта: выделение из множества рискообразующих факторов, трех наиболее значимых; использование данных факторов в качестве критериев оценки инновационных проектов и последующего парето-оптимального выбора лучшего из них. Данный подход может быть использован как один из «инструментов» качественного анализа инновационных проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Volkov I.M., Gracheva M.V. Proektnyj analiz. - M.: JUNITI, 1998. - 423 s.
2. Zakharov A.O. Suzhenie mnozhestva Pareto na osnove vzaimozavisimoy informacii zamknutogo tipa // Iskustvennyj intellekt i prinjatie reshenij, 2011. - № 1. - s.67-74.
3. Kamenskaja N.JU. Voprosy klassifikacii riskov naukoemkikh proizvodstv pri osushhestvlenii innovacionnoj dejatel'nosti // Visnik KHMel'nic'kogo nacional'noho universitetu, 2011. - № 2. - t.3. - s. 237-240.
4. Mel'nikov A.D. Finansovyje innovacii i problemy upravlenija riskom // Upravlenie riskom. - 1997. - № 4. - s. 34-41.
5. Nogin V.D. Prinjatie reshenij pri mnogikh kriterijakh. - SPb.: Izd-vo «JUT AS», 2007. - 104 s.
6. Nogin V.D. Prinjatie reshenij v mnogokriterial'noj srede: kolichestvennyj podkhod. - M.: FIZMATLIT, 2004. - 176 s.
7. Saati T. Prinjatie reshenij pri zavisimostjakh i obratnykh svjazzakh. - M.: Izd-vo LKI, 2008. - 360 s.
8. Selevich T.S. Metody ocenki intensivnosti konkurencii. - Ekaterinburg: Izd-vo UGTU - UNI, 2007. - 336 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Шерстюк В.Г.

Херсонский национальный технический университет