

УДК 004.4:519.816

Раевская Елена Александровна, аспирант
(КузГТУ, г. Кемерово)

Сарапулова Татьяна Викторовна, к.т.н., доцент
(КузГТУ, г. Кемерово)

Пимонов Александр Григорьевич, д.т.н., профессор
(КузГТУ, г. Кемерово; ИЭОПП СО РАН, г. Новосибирск)

Elena A. Raevskaya, post-graduate student

Tatyana V. Sarapulova, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

Alexander G. Pimonov, Doctor of Technical Sciences, Professor

(KuzSTU, Kemerovo; IEIE SB RAS, Novosibirsk)

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРТИЗЫ НАУЧНЫХ ПРОЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ И АППАРАТА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ¹

EXAMINATION OF SCIENTIFIC PROJECTS USING THE METHOD OF HIERARCHIES' ANALYSIS AND FUZZY LOGIC

В настоящее время при проведении отбора научно-инновационных проектов с целью их дальнейшей поддержки и финансирования, как правило, принято использовать методы экспертных оценок. Однако сложность состоит в том, что экспертам вручную необходимо определять перечень характеристик и критериев отбора, которые могут иметь различную природу (качественную или количественную), и при этом в целом должны быть достаточными для получения численной интегральной оценки и принятия решения о целесообразности внедрения проекта. Необходимо заметить, что набор характеристик и перечень критериев для сравнения имеющихся альтернатив могут быть любыми и должны определяться в каждом конкретном случае в зависимости от сферы проведения экспертизы. Варьироваться может и количество принимающих участие в оценке экспертов, мнения которых необходимо согласовывать. Однако при исследовании инновационных проектов, которые с трудом поддаются какому-либо численному анализу из-за большого количества факторов, способных повлиять на решение эксперта, качество принятого им решения во многом зависит от человеческих возможностей учесть весь ряд обстоятельств, а также оценить степень их влияния на изучаемую проблему. Кроме того, довольно часто принятые решения носят субъективный характер и не позволяют

¹ Публикация подготовлена в рамках поддержанного РГНФ научного проекта № 16-32-00062.

учесть все риски от возможной реализации инновационных проектов, оценить их коммерческую и бюджетную эффективность.

Анализ существующих методов управления инновациями показывает, что в настоящее время отсутствует единый подход к формированию состава информационной базы характеристик инновационных проектов, критериев оценки их коммерческого потенциала, к комплексной численной оценке инноваций. В начальной стадии создания находятся математические методы и алгоритмы комплексной оценки качественных и количественных параметров проектов и разработок. Традиционные приемы анализа состояния сложных объектов, основанные на простых методах математической статистики и идеях осреднения и обобщения, не позволяют учесть все необходимые факторы, так как для эффективного управления в современных условиях необходимо точно и строго оценивать специфичность каждого отдельного предприятия, причем делать это последовательно на всех этапах его деятельности. Таким образом, для снижения степени субъективности получаемых оценок необходим комплексный автоматизированный подход к проведению экспертизы инноваций, который позволял бы учитывать как количественные, так и качественные характеристики сравниваемых альтернатив; не зависел бы от конкретной сферы применения и решаемой задачи; позволял бы привлечь специалистов, обладающих компетенциями в различных областях знаний. В связи с этим целесообразно использовать не только численные методы обработки данных, но и осуществлять чисто качественную оценку ситуации на основе логических выводов, представляя полученные количественные значения переменных в качестве некоторых лингвистических параметров. К преимуществам использования такого подхода можно отнести возможность использования опыта эксперта. В данной статье рассматривается комплексный подход на основе метода анализа иерархий и аппарата нечеткой логики.

В рамках исследования, проводимого при финансовой поддержке РГНФ по научному проекту № 16-32-00062, был определен состав и структура информационной базы характеристик и критериев оценки инновационных проектов, собрана статистическая информация для ее наполнения, получено свидетельство о государственной регистрации базы данных [1] «База данных для поддержки принятия решений на основе методов системного анализа» №2016621203, а также свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [2] «Информационная система для поддержки принятия решений на основе методов системного анализа». В качестве статистических данных для наполнения тестовой информационной базы послужили критерии оценки проектов, используемые экспертами на следующих научных мероприятиях: «Городская научно-практическая конференция школьников «Интеллектуал» (2012-2015 гг., г. Кемерово), конкурс Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере – «УМНИК» (2015 г., г. Кемерово), «РФФИ. Региональный конкурс СИ-

БИРЬ» (РФФИ – Кузбасс) (2015 г., г. Кемерово). Результаты исследования показали, что в большинстве случаев для проведения предварительного отбора проектов экспертными организациями и при проведении научно-инновационных конкурсов используются следующие пять групп показателей в различном их сочетании.

1) *Научно-технический уровень разработки.* Данная группа показателей включает оценку коммерческого потенциала разработки, патентную защищенность, актуальность идеи, осведомленность авторов проекта о текущем состоянии проблемы в данной сфере деятельности.

2) *Экономическая эффективность проекта.* Эта группа показателей включает возможность коммерциализации результатов деятельности, наличие бизнес-плана реализации проекта, соответствие объема заявленных инвестиций задачам проекта, время достижения точки безубыточности, прогнозируемый среднегодовой размер прибыли, величину чистой текущей стоимости, внутреннюю норму доходности, срок окупаемости, наличие софинансирования, наличие рисков реализации, наличие потенциального заказчика.

3) *Производственные критерии.* Данная группа показателей включает потребность в оборудовании и сырье, потребность в персонале, соответствие проекта имеющимся на предприятии основным средствам, наличие экспериментального образца, степень проработки проектной документации, возможность апробации результатов работы.

4) *Социальная значимость.* Эта группа показателей включает соответствие проекта приоритетным направлениям развития экономики РФ, создание новых рабочих мест, использование труда социальных категорий граждан, повышение качества труда, развитие социальной инфраструктуры, повышение уровня безопасности труда, соответствие экологическим стандартам и нормам безопасности.

5) *Авторский коллектив.* Данная группа показателей включает инициативность автора, оценку возможностей руководителя проекта и его команды в полном объеме реализовать поставленные задачи в обозначенный срок, научный задел каждого из членов команды по проблеме.

В настоящее время разрабатывается методика проведения сопоставительной экспертизы альтернативных инновационных проектов, которая базируется на использовании метода анализа иерархий [3] и элементов нечеткой логики [4, 5] для оценки инновационных проектов. Методика основана на получении численной комплексной оценки коммерческого потенциала результатов научно-инновационной деятельности путем определения лингвистической переменной и ее значений для каждого из вышеперечисленных критериев сравнения, участвующих в оценке альтернатив.

Предлагаемая методика с использованием метода анализа иерархий и аппарата нечеткой логики состоит из четырех этапов.

Этап 1. На первом этапе необходимо провести предварительную экспертизу проектов. Целью предварительной экспертизы является отсеивание бесперспективных проектов по отборочным критериям, для того чтобы на следующем, оценочном этапе, экспертам не приходилось оценивать бесперспективные инновации. Таким образом, на второй этап не поступают явно бесперспективные инновационные проекты.

Этап 2. Применение метода анализа иерархий (МАИ) Т. Саати для декомпозиции многокритериальной, сложной задачи оценки эффективности инноваций на более простые составляющие части и проведение попарного сравнения критериев [5]. Зачастую созданные модели принятия решений работают не так, как предполагалось, что объясняется тем, что не учитываются некоторые существенные факторы. Для того чтобы разрабатываемая модель стала реалистичной, она должна включать в себя и позволять измерять все важные количественные и качественные факторы. Именно это и является основной задачей метода анализа иерархий, при котором также допускаются различия во мнениях и конфликты, как это бывает в реальном мире. Отличительной особенностью метода является возможность тщательно проанализировать проблему, т. к. на первоначальном этапе она подвергается декомпозиции и выстраивается в виде иерархии. Метод заключается в декомпозиции проблемы на более простые составляющие части и поэтапном установлении приоритетов оцениваемых компонент с использованием метода парных сравнений, который основан на оценке каждой альтернативы, ее важности для решения задач вышестоящего уровня. Метод анализа иерархий предполагает выполнение 11 этапов:

- 1) определение перечня экспертов, участвующих в процедуре оценивания альтернатив и принятии решений;
- 2) декомпозиция проблемы в иерархию задач;
- 3) выделение критериев оценки решения задач;
- 4) построение матриц парных сравнений критериев (производится задание приоритетов каждого показателя по мнению каждого из экспертов);
- 5) построение матриц парных сравнений альтернатив с учетом заданного уровня значимости критериев для каждого лица, принимающего решение;
- 6) вычисление приоритетов;
- 7) синтез приоритетов;
- 8) проверка согласованности;
- 9) расчет глобального вектора приоритетов по всем уровням иерархии;
- 10) поочередный выбор каждого из экспертов для проведения экспертизы в данном проекте;
- 11) расчет итогового вектора приоритетов с учетом мнения всех экспертов, принимавших участие в проведении оценки.

Этап 3. Рассмотрение критериев как нечетких множеств, которые заданы на универсальных множествах вариантов с помощью функции принадлежности в виде треугольных или трапециевидных нечетких чисел.

Этап 4. Ранжирование вариантов на основе пересечения нечетких множеств-критериев, которые отвечают известной в теории принятия решений схеме Беллмана – Заде. При оценивании показателей эксперты задают нижние – пессимистические оценки и верхние – оптимистические оценки. Дальнейшую обработку нечетко сформулированных мнений экспертов предлагается осуществлять путем дефазификации полученных нечетких частных оценок и дальнейшей их обработки в дефазифицированном виде.

Таким образом, задача принятия решений по данной методике сводится к следующему.

Имеется $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество научных проектов, которые подлежат многокритериальному анализу;

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ – множество количественных и качественных критериев, с помощью которых оцениваются альтернативы;

$B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ – компетентность оценок k экспертов, проводящих экспертизу.

Задача состоит в том, чтобы упорядочить элементы множества V по критериям из множества C с учетом компетентности B оценок экспертов.

Например, в роли качественных критериев сравнения альтернатив будем использовать такие, как: актуальность идеи (K_1); возможность коммерциализации (K_2); стадия проработанности проекта (K_3); ожидаемый платежеспособный спрос на продукцию, основанную на использовании проекта (K_4); оценка авторского коллектива (K_5); научная новизна (K_6).

В соответствии с вышеприведенным перечнем критериев можно выделить лингвистические переменные X_{ij} , где i – номер альтернативы; j – номер критерия. Определим диапазон для всех лингвистических переменных как $U_i = [0; 1]$ при $i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$.

Множества значений лингвистических переменных (термножества) по каждому из критериев сформулируем следующим образом:
 $T(X_{i1}) =$ *идея не является актуальной + существует вероятность актуализации предлагаемой идеи в будущем + идея актуальна, но сфера применения узкая + идея является крайне актуальной для современного общества;*

$T(X_{i2}) =$ *нет перспектив коммерческой реализации продукта + анализ рынка проведен поверхностно, перспективы недостаточно обоснованы или вызывают большие сомнения + анализ рынка проведен детально, однако обоснование перспектив коммерческой реализации вызывает сомнения + анализ рынка проведен детально, обоснование перспектив коммерческой реализации не вызывает*

сомнений; обоснование рисков проекта и мер по их уменьшению не вызывают сомнения;

$T(X_{i3}) =$ не проработан + мало проработан + средне проработан + достаточно проработан + полностью проработан;

$T(X_{i4}) =$ крайне низкий + низкий + средний + высокий + крайне высокий;

$T(X_{i5}) =$ большой опыт авторов проекта, имеется научный задел по проекту + имеется научный задел по проекту, однако отсутствует опыт у авторов + есть опыт проведения исследований у авторов, но нет научного задела по проекту + отсутствует какой-либо научный опыт у авторов проекта и научный задел;

$T(X_{i6}) =$ идея не является новой + проект имеет некоторые уникальные особенности, создающие неочевидные технологические или эксплуатационные преимущества + существенная часть разработки является новой + предлагаемая идея является абсолютной новой.

Далее предполагается прохождение следующих этапов проведения экспертизы:

- нечеткие переменные каждого терм-множества используются как качественные оценки альтернатив по одному из критериев;

- для получения оценок рассматриваемых альтернатив применяется метод экспертных оценок и проводится опрос экспертной группы;

- рассчитываются функции совместимости лингвистических переменных, которые представляют собой нечеткие подмножества $U_i = [0; 1]$, следующего вида, например, для критерия K_4 (ожидаемый платежеспособный спрос на продукцию, основанную на использовании проекта):

$$M(\text{не проработан}) = \int_0^{0,25} (1 - 4u)/u \quad (1)$$

$$M(\text{мало проработан}) = \int_0^{0,25} (4u)/u + \int_{0,25}^{0,5} (-4u + 2)/u \quad (2)$$

$$M(\text{средне проработан}) = \int_{0,25}^{0,5} (4u - 1)/u + \int_{0,5}^{0,75} (-4u + 4)/u \quad (3)$$

$$M(\text{достаточно проработан}) = \int_{0,5}^{0,75} (4u - 2)/u + \int_{0,75}^1 (-4u + 4)/u \quad (4)$$

$$M(\text{полностью проработан}) = \int_{0,75}^1 (4u - 3)/u \quad (5)$$

- используя усредненные оценки альтернатив по каждому из критериев, формируется матрица средних оценок;

○ ввиду того, что критерии имеют различную степень важности относительно достижения целей проекта, определяются их коэффициенты относительной важности с помощью метода анализа иерархий; с помощью этого же метода высчитываются собственные числа матрицы и рассчитываются коэффициенты относительной важности критериев;

○ производится модификация нечеткого множества оценок критериев, данных экспертами, посредством возведения в степень, соответствующую коэффициенту относительной важности каждого из критериев;

○ вычисляется необходимое для выбора предпочтительной альтернативы множество D , исходя из критерия Сэвиджа (\max (\min)). Для этого выбирается максимальное значение показателя из минимальных по каждой альтернативе. Полученной таким образом альтернативе отдается предпочтение при выборе научного проекта для реализации.

Таким образом, процедура принятия решений принимает четкий формализованный вид, исключая возможную субъективность при учете мнений различных экспертов.

Список литературы

1. Раевская, Е. А. База данных для поддержки принятия решений на основе методов системного анализа / Е. А. Раевская, А. Г. Пимонов, Т. В. Сарапулова // Свидетельство об официальной регистрации базы данных №2016621203; заяв. 04.07.2016; зарегистрировано в Реестре баз данных 01.09.2016.
2. Раевская, Е. А. Информационная система для поддержки принятия решений на основе методов системного анализа / Е. А. Раевская, А. Г. Пимонов // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2016619383; заяв. 04.07.2016; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 18.08.2016.
3. Раевская, Е. А. Программный инструментарий поддержки принятия решений на основе методов системного анализа / Е. А. Раевская, А. Г. Пимонов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – №5. – С. 154-159.
4. Раевская, Е. А. Поддержка принятия решений при управлении инновациями на угольных предприятиях / Е. А. Раевская, А. Г. Пимонов // Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле: Материалы всероссийской научно-практической конференции. Междуреченск, 25 февраля 2016 г. – Междуреченск, 2016. – С. 260-265.
5. Пимонов, А. Г. Процедура комплексной оценки инновационных проектов, основанная на алгоритмах нечеткой логики / А. Г. Пимонов, Е. А. Раевская, Т. В. Сарапулова // Россия молодая: Сборник лучших статей VIII Всероссийской, 61 научно-практической конференции молодых ученых, 19-22 апреля 2016 г. – Кемерово: КузГТУ, 2016. – С. 386-390.