

УДК 339.13.027

DOI: 10.26456/2219-1453/2022.1.159–168

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

С.В. Семенов¹, А.Е. Миловидов²

^{1,2}ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»,

Статья посвящена вопросам формализации процедуры по оценке ключевых положений инновационных проектов. Целью исследования является предложение подхода к оценке степени обоснованности (и других качественных характеристик) инновационных проектов. Использование математического аппарата теории полезности, аксиоматических методов, методов шкалирования и других позволяет осуществить количественное измерение информации, имеющей качественную природу. Авторами предлагается использовать аксиоматический подход к построению сложных утверждений проекта; ввести единицу измерения обоснованности инновационного проекта; метод получения исходных данных для единицы измерения на основе метода анализа иерархий Саати. Научная новизна полученных результатов заключается в разработке методики оценки информации инновационного проекта, имеющей качественный характер.

Ключевые слова: *методы измерения, аксиоматический метод, единица измерения обоснованности проекта, анализ иерархий, инновационная деятельность, инновационный проект, цифровая платформа.*

Описание инновационного проекта можно представить как некоторое предположение автора (гипотеза, бизнес-идея, бизнес-модель) о том, что некая инновационная идея (какое-либо изменение) может быть реализована и выгодно продана на рынке (внедрена в организации, на предприятии с эффектом). Это предположение (гипотеза) состоит из ряда утверждений (аналогично теоремам), которые требуется обосновать и доказать (инвестору, эксперту) [5].

Инновационный проект (ИП) считается хорошо обоснованным, если все сделанные утверждения в описании доказаны с использованием достоверных исходных данных, математически оценены (измерены), и проведена подготовка принятия положительного решения о поддержке проекта инвестором. Под поддержкой понимается готовность инвестора (представителя института развития) либо оказать грантовую (безвозмездную) финансовую поддержку проекта, либо обменять часть прав на объект интеллектуальной собственности на финансовые средства. Другие виды поддержки в данном контексте не рассматриваются.

Различие между инновационным и инвестиционным проектом принципиально заключается в следующем. Во-первых, в инвестиционном проекте требование наличия инновационной составляющей необязательно.

© Семенов С.В.,
Миловидов А.Е., 2022

Во-вторых, информация в инвестиционных проектах имеет, как правило, статистическую природу (факты из прошлого с экстраполяцией на будущее). В инновационных проектах (в силу определения) имеется значительная часть информации, относящейся к сфере предположения, то есть находящейся в условиях «неопределенности». Поэтому и математические методы обработки имеют свои особенности, даже в «традиционных» методах обоснования [6].

В математике инновационной деятельности (ИД) широко используются методы теории принятия решений с использованием методов теории полезности. И даже здесь приходится модифицировать известные методы с учетом специфики ИД.

В данной статье не делается попытка рассмотреть все возможные математические методы, которые «могли бы применяться» при обосновании ИП. Здесь рассматриваются методы, позволяющие решать некоторые наиболее важные задачи оценки обоснованности ИП:

1. Подготовка информационной базы ИД.
2. Формулирование «правильных» положений ИП (выбор и рациональное изложение положений).
3. Обоснование положений ИП (доказательство и логика выводов);
4. Оценку (измерение) положений проекта с точки зрения достижения целей проекта (приближение к описанию «идеального» проекта).

Первая задача включает в себя подготовку простых информационных единиц (ИЕ) для включения в информационную базу ИД. Простые ИЕ «извлекаются» из общепринятых (но детально не раскрытых) понятий инновационной деятельности. Простые понятия – это утверждения, статистические данные, факты, не допускающие многозначного толкования. Например, сложное понятие «инновационная инфраструктура» может быть иерархически детализирована до простых ИЕ, определяющих одно из свойств или элементарных действий сложного понятия.

Простые ИЕ на основе аксиоматических методов могут обрабатываться и формировать новые сложные ИЕ, но уже с учетом целей ИП. Сложные ИЕ также помещаются в информационную базу, но уже с атрибутами конкретного ИП (для возможного повторного использования в других ИП).

Вторая задача относится к созданию «правильной» структуры описания ИП и решается путем следования определенным правилам и шаблонам при формировании этого описания.

Цель изложения в описании ИП – получить одобрение и поддержку проекта инвестором (экспертом). Инвестор, в общем случае, не является глубоким специалистом в области инновационного предложения (проекта). Конечными целями инвестора является получение прибыли на сделанные инвестиции. Поэтому его в меньшей степени интересуют технические детали инновационного продукта (товара, технологии, услуги

и т. п.) и в большей степени его интересуют вопросы принципиальной реализации, ожидаемой прибыли, возможных рисков и их преодоление.

Описание ИП (как гипотеза) формулируется как набор положений (теорем), основанных на некоторых простых, не противоречивых утверждениях (аксиомах).

При извлечении простой ИЕ из информационной базы производится оценка этой ИЕ (присвоение числа) с точки зрения соответствия сути этой ИЕ поставленной цели в ИП. Эта оценка характеризует степень близости к некоторому «идеальному» значению, когда реализация этой ИЕ давала бы неоспоримо стопроцентный результат. В дальнейшем числовая оценка будет уточняться, поэтому на этом этапе процесс оценки может быть достаточно грубым.

В сложных ИЕ будет присутствовать «накопленная» оценка всех входящих ИЕ. Материал (в виде простых и сложных ИЕ) должен быть структурирован в описании ИП (ранжирован по оценкам) по важности положений относительно заявленных целей проекта.

Построение изложения материала должно следовать заложенным шаблонам, позволяющим сформировать представление о сути проекта в предельно компактной форме, при этом понятной даже неспециалисту. Шаблоны должны задавать даже структуру предложений (по аналогии с Формулой изобретения).

Структура материала должна быть сворачиваемой и раскрываемой в зависимости от целей представления проекта (для разных заинтересованных сторон, для разных инвесторов, для разных этапов ЖЦ проекта). Здесь должны использоваться ссылки, приложения, скрытый текст и т. п.

Третья задача (оценка обоснованности ИП) сводится к доказательству положений и выводов ИП.

Инвестору (эксперту) должны быть понятны следующие аспекты:

- Почему именно эти ИЕ взяты за аксиомы при доказательстве положений ИП?
- Почему присвоены именно такие числовые оценки ИЕ?
- Почему именно эти логические конструкции применяются для доказательства положений ИП?
- Как на основе доказанных положений строится общее обоснование «хорошо упакованного» ИП?

Если ответы на эти вопросы не вызывают сомнений у эксперта, то и результат построения, доказательства и сами выводы также не должны вызывать сомнений.

Четвертая задача - оценка положений ИП с точки зрения достижения целей проекта (приближение к описанию «идеального» проекта).

В зависимости от вида и характера используемой информации в ИЕ для оценки (измерения) могут использоваться разные типы шкал.

Например, при оценке наличия фактов, доказательств, выводов и других ИЕ может использоваться номинальная шкала. При ранжировании фактов используется порядковая шкала оценки. При оценке полезности фактов (с точки зрения целей и назначения проекта) – интервальная шкала оценки.

Выбор математического подхода

Необходимо выбрать математический подход между методами теории множеств и методами интуиционистской математики.

На первый взгляд представляется привлекательным использование методов **интуиционизма**, рассматривающего математические суждения с позиций «интуитивной убедительности». Казалось бы, при доказательстве теорем и гипотез в ИД именно «интуитивная убедительность» является хорошим инструментом для убеждения инвестора. Но при более детальном изучении «проблем доказательств» оказывается, что существует две проблемы. Во-первых, мы имеем дело не с прошлыми статистическими фактами, данными, сведениями, а с будущими, предполагаемыми, что не позволяет сформулировать единственно существующий вариант реализации факта. Во-вторых, аксиоматическая теория строится на «состязательном принципе» доказательства «истины». Одна сторона – утверждает, другая сторона «опровергает» (не соглашается). «Игра сторон» продолжается до тех пор, пока обе стороны не придут к взаимоприемлемому компромиссу аргументов. Если методы интуиционистской математики основываются на «Законе исключённого третьего», то есть отсутствие возможности компромисса между двумя альтернативами, то методы **теории множеств** становятся более предпочтительными, так как они позволяют получить компромисс за счет методов измерения альтернатив в метрическом нормированном пространстве.

Формулируем множество понятий ИД

Теория множеств – раздел математики, в котором изучаются общие свойства множеств – совокупностей элементов произвольной природы, обладающих каким-либо общим свойством [2]. Помимо прочих свойств, важным для нашей задачи является возможность измерения элементов множества [3].

Множество понятий ИД – это совокупность информационных объектов, которые могут быть использованы в решении задач ИД (формирование ИП, оценка ИП, управление ИД и т.п.).

Элементами множества ИД являются смысловые единицы (тексты, числа, изображения), с разной по сложности смысловой нагрузкой.

Например, утверждения: «здоровье граждан – наивысшая ценность государства», «чистый воздух – очень важно для граждан» и т.п. Элементами множества могут быть фрагменты официальных документов, несущих в себе однозначные утверждения.

Элементами множества ИД могут быть как простые, так и сложные смысловые единицы. После операций над элементами множества, могут появляться новые смысловые единицы, которые в свою очередь также будут элементами этого множества.

Простыми элементами множества ИД являются смысловые единицы (факты, простые утверждения), деление которых на более мелкие части нецелесообразно.

Обозначим множество понятий ИД – T . Простые элементы множества – t_i . Сложные элементы множества – t_i^j . Элементы с нулевой степенью полезности для задач ИП – t_0 .

$$t_0, t_i, t_i^j \in T.$$

Формулируем метрическое пространство

Метрическим пространством называется непустое множество, в котором между любой парой элементов, обладающих определенными свойствами, определено расстояние, называемое метрикой [1].

Необходимость определения метрического пространства для множества понятий ИД обусловлена возможностью измерения степени достижения целей решаемой инновационной задачи. Например, степень обоснованности ИП, степень инновационности проекта, эффективность управления ИД и т.п.

Здесь интересны две возможные метрики:

ρ_1 – расстояние между t_i и t_0 (степень полезности относительно нулевой полезности);

ρ_2 – расстояние между двумя произвольными элементами множества (степень превышения полезности одного над другим).

Здесь возникает проблема с формулированием (фиксацией) «расстояния» между элементами множества. В зависимости от целей задачи (проекта, исследования) расстояние между элементами может (и должно) меняться.

Эта сложность, с одной стороны, обосновывает целесообразность применения средств ВТ (в частности, использование цифровой платформы, ЦП). С другой стороны, обосновывает необходимость использования методов самообучающихся нейронных сетей.

Смысл метрики на множестве понятий заключается в степени соответствия данного элемента (смысловой единицы) решаемой задаче (например, повышение обоснованности инновационного проекта).

Числовое значение сложного элемента тем выше, чем лучше элемент соответствует, например, цели проекта.

Суть оценки (измерения) элементов множества понятий ИД

Суть оценки заключается в установлении степени приближения количественного значения рассматриваемой ИЕ (свойства) к некоторому идеальному (в наилучшем исполнении) варианту. В каждой процедуре оценки присутствует несколько шагов: выбор шкалы оценки, построение шкалы, непосредственная оценка, преобразование и интерпретация результатов оценки или измерения, в зависимости от типа использованной шкалы.

Предполагается, что для любого факта (элемента множества) можно сформулировать несколько градаций степени соответствия поставленной цели (в рамках решаемой задачи). Например, в случае сформулированной цели «успешная пропаганда вакцинации» может быть использована следующая градация вариантов (элементов множества): «отсутствует – ниже среднего – средняя – выше среднего – высокая». Подбирая факты (элементы множества) для решения поставленной задачи, можно соотносить их с возможностью решения поставленной задачи. Тогда факт «необходимость вакцинации в условиях пандемии» будет иметь высокую оценку по выбранной шкале. А факт «мойте руки перед едой» будет иметь оценку «ниже среднего», так как плохо соотносится с эффективным решением поставленной задачи.

Процесс формирования шкал «на лету» выходит за рамки данной статьи. Следует лишь отметить, что с помощью средств ИТ (в частности ЦП) эта процедура не является сложной и трудоемкой. Например, набор типовых шкал может быть заранее заготовлен, процесс задания метрик может производиться в момент выбора элемента множества (например, визуальным слайдером), все расчеты могут производиться скрыто, в фоновом режиме. При условии, что в любой момент вся процедура и расчеты могут быть открыты пользователю. По умолчанию каждый сложный элемент получает среднее оценочное значение. С одной стороны, это может быть связано с тем, что реальная оценка может быть затруднена (недостаточно информации). С другой стороны, без дополнительной информации нет оснований присваивать высокие или низкие оценочные значения элементу. Но сам факт попадания этого элемента в данное множество уже является в некоторой степени «оценкой» полезности этого элемента в области решения подобного круга задач.

Формулируем норму метрического пространства

Введение нормы для множества понятий (Т) необходимо для возможности сравнения ИЕ с разными единицами измерения. Для этого все количественные оценки ИЕ нормируются на интервал от 0 до 1. Обозначим для элемента t_i его количественную оценку – α_i . В случае

интервальной шкалы обозначим максимальное значение оценки α_{\max} . Минимальное значение $-\alpha_{\min}$. Нормированные значения оценок элементов α_i^* , принадлежащие интервалу $[0,1]$.

$$\alpha_i^* = \frac{\alpha_{\max} - \alpha_i}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min}}$$

Формулируем единицу измерения обоснованности ИП

Инновация – это любое изменение, обладающее тремя свойствами: новизна, реализуемость, выгодность. Поэтому именно эта совокупность свойств и характеризует обоснованность инновационного проекта для поддержки его инвестором.

Логично предположить, что именно эти переменные (свойства), их числовые оценки и должны лежать в основе единицы измерения обоснованности инновационного проекта. Обозначим множество информационных единиц, характеризующих новизну инновационного проекта – N . Соответственно, множества информационных единиц, характеризующих реализуемость и выгодность инновационного проекта, обозначим: $R \cup V$. Элементами этих множеств соответственно будут: – n_i, r_i, v_i .

$$T = N \cup R \cup V$$

Элементы этих множеств могут быть также простыми и сложными. Сложные элементы образуются за счет объединения (или других логических операций) простых элементов, и могут иметь уже числовую накопленную оценку, относительно цели инновационного проекта (индексирование сложных элементов здесь не приводится).

Введем понятие единицы измерения степени обоснованности ИП (I). Такой единицей будет:

$$I = \iiint_T f(n_i, r_i, v_i) \, dn_i dr_i dv_i$$

I – это тройной интеграл по переменным: новизна, реализуемость, выгодность.

Каким образом можно получить функциональные зависимости $f(n_i, r_i, v_i)$?

Вначале получаем набор точек, как результат измерения элементов (простых или сложных) относительно решаемой задачи (поставленных целей). Процедура измерения – это количественная оценка информации, имеющей качественный характер. Для этого хорошо подходит методика анализа иерархий [4]. Парно сравнивая свойства объекта оценивания, количественно оцениваем степень превосходства одного свойства над другим, относительно поставленной цели. Таким образом, составляем числовую матрицу сравнения свойств. Решая матрицу, получаем собственный вектор матрицы попарных сравнений. Значения собственного

вектора матрицы сравнения и есть набор точек измерения оцениваемой ИЕ.

По этим точкам восстанавливаем функциональную зависимость каждой из трех переменных. Имея эти зависимости, можно вычислять тройной интеграл.

Разумеется, что при измерении (оценке) элементов множества по трем критериям вполне может быть случай, когда по одному или двум векторам нет значений (например, при оценке новизны нет данных по реализуемости и выгоды). Тогда тройной интеграл вырождается в двойной или вообще «обычный» интеграл.

В общем случае, хорошим является проект, в котором все векторы стремятся к своему предельному максимальному значению (к единице). Таким образом, из элементарных кубов обоснованности проекта можно перейти к оценке всего проекта в целом.

В случае, если свойств измеряемого объекта мало, или мало градаций оценки, можно использовать (на первом этапе) математический аппарат таблицы решений.

Выводы

1. Обоснованность инновационного проекта может быть подтверждена математическими методами.
2. Использование аксиоматического метода становится возможным при наличии подготовленной информационной базы простых и сложных информационных единиц, правил логического обоснования и построения сложных понятий на основе простых утверждений и фактов.
3. Убедительность и обоснованность положений инновационного проекта достигается за счет возможности оценки и измерения положений проекта относительно целей и назначения проекта.
4. Для количественной оценки обоснованности инновационного проекта в статье предлагается ввести единицу измерения, основанную на количественной мере характеристик проекта (новизны, реализуемости и выгоды) и вычислении тройного интеграла по этим характеристикам.
5. Для получения функциональной зависимости переменных предлагается использовать метод анализа иерархий Саати, дающий собственный вектор матрицы сравнений.

Список литературы

1. Васильев Н. Метрические пространства. Квант. 1990. №1.
2. Куратовский К., Мостовский А. Теория множеств / пер. с англ. М.И. Кратко; под ред. А.Д. Тайманова. М.: Мир, 1970. 416 с.
3. Пфанцагль И. Теория измерений. М.: Издательство «Мир», 1976. 248 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Радио и связь, 1993. 320 с.

5. Семенов С.В. Методологические вопросы организации и автоматизации инновационной деятельности предприятия. Инновационные научные исследования: теория, методология, тенденции развития / Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции (23 февраля 2021 г. Уфа) / Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2021. 143 с.
6. Семенов С.В., Шапель Д.А. Подходы к автоматизации инновационной деятельности. Информационные технологии. Проблемы и решения. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2020. 4(13). 140 с.

Об авторах:

СЕМЕНОВ Сергей Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры функционального анализа и геометрии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверская область, г. Тверь, ул. Желябова, д.33, Semenov.58@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2754-0504, SPIN-код: 5640-5926.

МИЛОВИДОВ Алексей Евгеньевич – старший преподаватель кафедры функционального анализа и геометрии, ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», 170100, Тверская область, г. Тверь, ул. Желябова, д.33, Milovidov.AE@tversu.ru, ORCID: 0000-0002-4288-1622, SPIN-код: 4312-7181.

MATHEMATICAL METHODS FOR EVALUATING INNOVATIVE PROJECTS

S.V. Semenov¹, A. E. Milovidov²

FGBOU VO “Tver State University”, Tver

For the successful formation of innovative projects, a quantitative justification of the key provisions of the project is necessary. For this purpose, the methods of utility theory, axiomatic methods, scaling methods and others are used. This makes it possible to quantify information of a qualitative nature. The article suggests using an axiomatic approach to the construction of complex project statements. It is proposed to introduce a unit of measurement of the validity of an innovative project. The method of obtaining the initial data for the unit of measurement based on the method of analysis of the hierarchies of Saati is proposed.

Keywords: *Measurement methods, axiomatic method, unit of measurement of project validity, hierarchy analysis, innovation activity, innovation project, digital platform.*

About the authors:

SEMENOV Sergej Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the of the Department of Functional Analysis and Geomtry, FGBOU VO “Tver State University”, 170100, Tverregion, Tver, Zhelyabovastr, 33, e-mail: Semenov_58@mail.ru, ORCID:0000-0002-2754-0504, SPIN-code:5640-5926.

MILOVIDOV Aleksej Evgen'evich – Senior Lecturer of the Department of Functional Analysis and Geometry, FGBOU VO “Tver State University”, 170100, Tverregion, Tver, Zhelyabova str., 33, e-mail: Milovidov.AE@tversu.ru, ORCID: 0000-0002-4288-1622, SPIN-code:4312-7181.