

DOI: 10.18721/JE.13606

УДК 330.43 : 338.14

ОЦЕНКА РИСКОВ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА, ОСНОВАННАЯ НА СИНТЕЗЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Пупенцова С.В., Поняева И.И.

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Происходящая повсеместно крупная реструктуризация бизнеса в современных условиях приводит к тому, что решение многих проблем компаний, вне зависимости от их размеров и сфер деятельности, протекает в условиях полного или частичного отсутствия информации. В таких условиях следует применять комбинированные методы оценки факторов объекта вложения инвестиций, инновационная составляющая которого предрасположена к рискованности. Отсутствие или неполнота информации предполагает нелинейный характер, что подразумевает использование математических инструментов для оценки степени влияния рисков инновационного проекта. В данной работе предложена идея синтеза методов нечетких множеств Л. Заде и метода иерархий Т. Саати, применение которых непосредственно и осуществляется в заданных условиях при заранее неустановленных данных и отсутствии информации и выражается в построении матриц парных суждений на базе экспертных оценок. В результате ранжирования рисков инновационного проекта по модернизации производственного процесса промышленного предприятия было определено и обосновано, что в число наиболее важных рисков, влияющих на ход реализации проекта, относятся производственные, рыночные и финансовые риски. Это означает, что на данные риски в аналогичных условиях первоначально следует обращать внимание при количественной оценке денежных потоков. В ходе исследования также было принято решение определить зависимость и степень влияния внешних и внутренних рисков инновационных проектов на итоговый выбор объекта инвестирования. В качестве примера рассмотрены три альтернативных вложения инвестиций в модернизацию производственного процесса промышленного предприятия. Методы экономико-математического моделирования позволили провести оценки эластичности приоритетов направления инвестиций по изменениям рисков проекта. Научная новизна исследования заключается в развитии качественных методов экспертной оценки рисков инновационно-инвестиционных проектов за счет синтеза методов Т. Саати и Л. Заде с применением анализа чувствительности, что имеет существенное значение для оценки и ранжирования влияния рисков. Описанный в работе синтез методов для оценки рисков инновационного проекта обладает общностью и может найти свое применение в анализе чувствительности рисков проектов как на промышленном предприятии, при проведении его реструктуризации и модернизации, так и в иных инновационных проектах смежных сфер экономики.

Ключевые слова: инновационный проект, риск, неопределенность, оценка рисков, оценка чувствительности, нечеткие множества, метод Саати, согласованность матрицы, матрицы парных суждений, эластичность

Ссылка при цитировании: Пупенцова С.В., Поняева И.И. Оценка рисков инновационного проекта, основанная на синтезе методов нечетких множеств и анализа иерархий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 6. С. 66–78. DOI: 10.18721/JE.13606

Эта статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

RISK ASSESSMENT OF INNOVATIVE PROJECT BASED ON THE SYNTHESIS OF FUZZY SET METHODS AND HIERARCHY ANALYSIS

S.V. Pupentsova, I.I. Ponyaeva

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

The large-scale business restructuring that is taking place everywhere in modern conditions leads to the fact that the solution of many problems of companies, regardless of their size and areas of activity, takes place in the conditions of complete or partial lack of information. In such circumstances, combined methods should be used to assess the factors of the investment object, the innovative component of which is predisposed to riskiness. The absence or incompleteness of information implies a non-linear nature, which implies the use of mathematical tools to assess the degree of impact of risks of an innovative project. In this paper, the idea of synthesis of fuzzy set methods and the method of hierarchies by T. Saati is proposed, the application of which is carried out directly under specified conditions with previously unknown data and lack of information and is expressed in the construction of matrices of paired judgments based on expert assessments. As a result of ranking the risks of an innovative project to modernize the production process of an industrial enterprise, it was determined and justified that the most "important" risks that affect the progress of the project include production, market and financial risks. This means that these risks in similar circumstances should be given priority when quantifying cash flows. In the course of the study, it was also decided to determine the dependence and degree of influence of external and internal risks of innovative projects on the final choice of investment object. As an example, three alternative investments in the modernization of the production process of an industrial enterprise were selected for consideration. Methods of economic and mathematical modeling allowed us to assess the elasticity of investment priorities based on changes in project risks. The scientific novelty of the research consists in the development of qualitative methods of expert risk assessment of innovative and investment projects, through the synthesis of the methods of T. Saati and L. Zade using sensitivity analysis, which is essential for assessing and ranking the impact of risks. The synthesis of methods for assessing the risks of an innovative project described in this paper has a commonality and can be used in analyzing the sensitivity of project risks both at an industrial enterprise, during its restructuring and modernization, and in other innovative projects in related areas of the economy.

Keywords: innovative project, risk, uncertainty, risk assessment, sensitivity assessment, fuzzy sets, Saati method, matrix consistency, paired judgment matrices, elasticity

Citation: S.V. Pupentsova, I.I. Ponyaeva, Risk assessment of innovative project based on the synthesis of fuzzy set methods and hierarchy analysis, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 13 (6) (2020) 66–78. DOI: 10.18721/JE.13606

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Происходящая повсеместно крупная реструктуризация бизнеса в современных условиях приводит к тому, что решение многих проблем компаний, вне зависимости от их размеров и сфер деятельности, протекает в условиях полного или частичного отсутствия информации. Прибегать в таких случаях к выбору объекта инвестирования лишь по финансово-экономическим показателям не является разумным решением, так как оно не подразумевает рассмотрение тех факторов, которые количественно измерить нельзя [14]. Речь идет о многочисленных факторах рисков, которые присущи любому инновационному проекту, содержащему долю неопределенности, под которой мы будем понимать как частичное отсутствие информации об условиях реализации инновационного проекта, так и непредсказуемость результатов его проведения.

При риск-анализе инновационных проектов особое значение придается оценке чувствительности проектов при колебании факторов, особенно если их не измерить количественно, а лишь качественно (например, социальные и политические факторы). Согласно существующим иссле-

дованиям, риски, в том числе инновационного характера, оцениваются через комбинированные методы. Это подразумевает то, что к традиционным количественно оцениваемым критериям проекта (ожидаемый эффект, норма доходности и т.п.) добавляются экспертно-аналитические методы [3–8, 12–17]. В таком случае задача сводится к созданию концептуальной модели иерархии рисков с дальнейшей ее информационной обработкой.

Оценить риски инновационно-инвестиционных проектов можно с помощью разных методов, выбор которых зависит как от временного промежутка и существующей информации, так и от программно-аппаратного комплекса и стадии проекта. К примеру, для проектов, включающих незавершенную стадию исследовательских разработок, лучше подходят методы Дельфи, экспертных оценок, соблюдая нормы поправки на риск [9, 15]. Методы моделирования, сценариев и дерева решений используют, например, в случае направленности проекта на доведение продукции до конкурентного первенства [17, 20]. Согласно классификационным критериям, риски можно продифференцировать и распределить по конкретным группам для установления сценариев возникновения рисков и определения подходов управления ими. В результате становится очевидным, что для более точной оценки необходимо применять как качественную оценку рисков, так и количественную.

Существующие методики анализа рисков инновационно-инвестиционных проектов носят односторонний характер – они фрагментарны и не охватывают все его стороны [3–22]. Так, отсутствует единый метод анализа рисков, который бы содержал в себе полноту и целостный логически-аналитический алгоритм, недостаточно проанализирована методика оценки чувствительности проектов при колебании факторов риска.

Цель данного исследования – оценка рисков инновационно-инвестиционного проекта с помощью синтеза методов нечетких множеств и анализа иерархий, что расширяет алгоритм экспертных оценок анализом чувствительности.

В качестве задач исследования выступают:

- идентификация рисков инновационно-инвестиционного проекта и построение когнитивной модели риск-анализа на примере выбора варианта инвестиций промышленного предприятия в модернизацию производственного процесса;
- ранжирование рисков и оценка направлений инвестиций промышленного предприятия в модернизацию производственного процесса с помощью построения многомерного нормированного вектора экспертных оценок;
- анализ чувствительности нормированного вектора к субъективным оценкам экспертов при ранжировании рисков и оценке их влияния на выбор инвестиций.

Объектом настоящего исследования являются промышленные предприятия, осуществляющие инновационно-инвестиционную деятельность; **предметом исследования** – система управления рисками промышленного предприятия в процессе инновационно-инвестиционной деятельности.

Методы исследования – метод синтеза, экспертные методы нечетких множеств Л. Заде и анализа иерархий Т. Саати, метод анализа чувствительности в оценке рисков. Экспертный и экономический подходы в данном случае позволят выстроить количественную оценку рисков через когнитивную иерархическую модель.

Методика исследования

Проведя анализ существующих методов оценки риска в условиях неопределенности, для задач данного исследования выбор был остановлен на синтезе метода Т. Саати и нечетких множеств Л. Заде.

Метод анализа иерархий Саати базируется на суждении экспертов, на основании которых строится система попарных оценок критериев. Это выражает суть метода – иерархическое пред-



ставление задачи и выражении весов рассматриваемых альтернатив. При объединении мнений экспертов получается интегральный глобальный показатель – решение поставленной цели. Данный метод можно использовать в генерации с другим методом для решения слабоформализованных задач [5, 12].

Теория нечеткой логики Л. Заде, в основном, применяется в условиях полной и частичной неопределенности информации, так как содержит теорию нечетких множеств, где функция принадлежности элемента принимает значение $[0;1]$. Данный подход позволяет создавать экспертные системы и базы знаний, хранящие нечеткую информацию. Главное преимущество подхода в том, что при принятии решений наравне с количественными факторами учитываются и качественные, не обладающие точной числовой оценкой. В результате получается хоть и приближенный, однако эффективный метод описания поведения сложных и слабоформализованных систем. Его отличительная черта – гибкость степени точности решения к предъявляемым требованиям и предоставленной информации [16, 22].

Анализ рисков инновационно-инвестиционного проекта, основанный на синтезе представленных выше методов, начинается с этапа идентификации рисков [10]. Эксперты выбирают виды рисков, разбивая их на внешние и внутренние группы. Рассмотрим пример идентификации рисков инновационного проекта промышленного предприятия по модернизации производственного процесса. К внешним рискам отнесены политические, экологические, рыночные, социальные, инвестиционно-финансовые и институционально-правовые [8]. В группу внутренних рисков промышленного предприятия включены производственные, финансовые и риски управления проектом [18]. Под упомянутыми рисками мы будем понимать следующие явления:

- политический риск – риск возникновения ситуаций прекращения, препятствия и ограничения проектной деятельности действиями властей в результате изменения политической ситуации в стране;
- экологический риск – риск возникновения в ходе реализации проекта ситуаций, приводящих к ухудшению условий окружающей среды, ее загрязнению, созданию условий радиационной обстановки, экологической катастрофы и т.п.;
- рыночный риск – риск возможного колебания процентных ставок по национальной и иностранным валютам [4];
- социальный риск – социальная неподготовленность объекта инвестирования, что может спровоцировать напряженность в обществе, забастовки и т.п., и в результате эффект отторжения этих изменений [11];
- инвестиционно-финансовый риск – риск возможного обесценивания инвестиционного портфеля ценных бумаг (собственных и привлеченных), а также потери [3];
- институционально-правовой риск – риск негативного внешнего воздействия институциональной среды, государственных регулирующих и надзорных органов;
- производственный риск – риск возникновения сбоев в процессе производства (к примеру, в результате неудачного производственного планирования) вплоть до полной его остановки, что влечет повышение уровня брака, увеличение текущих издержек предприятия и т.д. [1];
- финансовый риск – риск от проведения операций с финансовыми активами (обслуживание задолженности по предоставленным средствам в кредит или иным займам), в результате чего снижается финансовая устойчивость предприятия или падает доходность [21];
- риск сферы управления проектом – риск возникновения ошибок на разных стадиях проектной деятельности (от прединвестиционной до ликвидационной) в результате низкого уровня менеджмента предприятия или недостаточно высокого уровня квалификации управленческого персонала, что может послужить причиной сбоев в производстве или сбыте продукции, приобретении, пуске и наладке оборудования и т.п. [19].

Учитывая специфику выбранного инновационно-инвестиционного проекта для промышленного предприятия, из рассмотренных видов риска в анализ не будут включены:

- политические – по умолчанию предполагается, что в стране стабильная политическая ситуация, на положение предприятия в ходе реализации проекта она не окажет влияния;
- экологические – инновационный проект не связан с загрязнением окружающей среды;
- институционально-правовые – инвестиции в инновационные проекты не предполагают разработки новых технологий (оборудования), требующих патентов или лицензий.

Результаты исследования

Первым этапом анализа является построение иерархии рисков проекта. В основу когнитивной модели риск-анализа [2] будут включены четыре уровня, где на первом уровне располагается фокус-цель, на втором уровне размещены группы рисков, на третьем – шесть видов рисков, а на последнем – альтернативные вложения инвестиций [1] (рис. 1).

На втором этапе анализа определим вес (интенсивность) рисков. Для измерения интенсивности необходимо построить матрицу, где предпочтения элементов строки над элементами столбца является элементом матрицы с интервалами $[0;1]$. Базовый шаблон матрицы парных сравнений содержит множество сравниваемых элементов C_n и веса этих элементов V_n .

В целях упрощения хода расчетов решено использовать матрицы парных сравнений экспертов. В данной работе учитывались экспертные мнения рабочей группы проекта по модернизации производства предприятия. В группу вошли менеджер проекта, специалисты производственного и финансовых департаментов предприятия и специалист по риск-менеджменту. Для ранжирования рисков рабочая группа использовала девятибалльную шкалу относительной важности, предложенную Т. Саати [12].

Расчет по строке матрицы среднего геометрического значения и нормирование его по сумме позволит получить нормированный вес группы рисков. Так, внутренние риски имеют умеренное превосходство над внешними рисками. Поэтому эксперт поставил вес $V_{12} = 2$. Матрица будет обратносимметричной, следовательно, автоматически вес внешних рисков относительно внутренних равен $V_{21} = 1/2$. По диагонали матрицы всегда будет стоять 1. Далее риски третьего уровня сравниваются попарно в подгруппах аналогично группе рисков второго уровня (табл. 1).

Для проверки согласованности оценок эксперта рассчитывается собственное число матрицы как произведение суммы по столбцу риска $\sum_{i=1}^n V_{ij}$ на нормированный вес W_j по формуле

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n W_j \sum_{i=1}^n V_{ij}. \quad (1)$$

Для матрицы, приведенной в табл. 1 по внутренним рискам, собственное число равно:

$$\lambda_{\max} = 1,7 \times 0,582 + 3,33 \times 0,309 + 9 \times 0,109 = 3,004.$$

На основании собственного числа матрицы рассчитаем индекс согласованности по формуле:

$$IS = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (2)$$

где n – ранг матрицы. При делении индекса согласованности на соответствующее число случайной согласованности (для матрицы третьего ранга равное 0,58 [6]) получим отношение согласо-

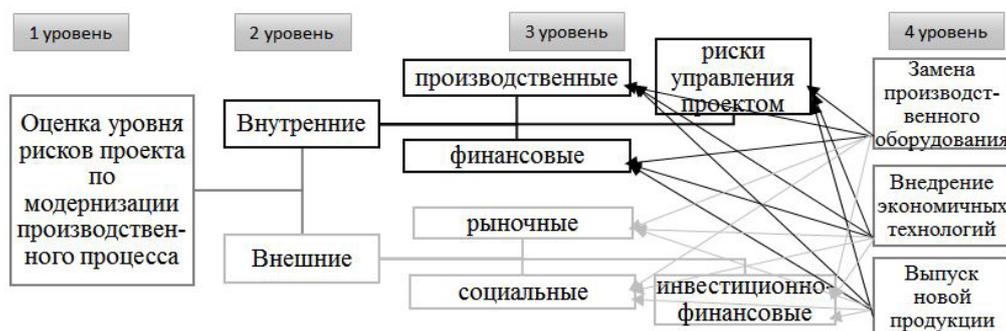


Рис. 1. Иерархия для анализа рисков проекта по модернизации производства промышленного предприятия
 Fig. 1. Hierarchy for risk analysis of an industrial enterprise production modernization project

Таблица 1. Ранжирование рисков 2 уровня иерархии
Table 1. Risk ranking 2 levels of the hierarchy

Варианты	Обозначение варианта	V_1	V_2	Среднее геометрическое	Нормированные веса критериев, W_j	
Внутренние	V_1	1	2	1,414	66,7% = 1,41/2,12	
Внешние	V_2	1/2	1	0,707	33,3% = 0,71/2,12	
Сумма по столбцам, $\sum_{i=1}^n V_{ij}$		1,50	3,00	2,121	100%	
Классификация по группам рисков						
<i>Внутренние риски</i>		V_3	V_4	V_5		
Производственные	V_3	1	2	5	2,154	58,2%
Финансовые	V_4	1/2	1	3	1,145	30,9%
Риск сферы управления проектом	V_5	1/5	1/3	1	0,405	10,9%
Сумма по столбцам, $\sum_{i=1}^n V_{ij}$		1,7	3,33	9,0	3,705	1,000
<i>Внешние риски</i>		V_6	V_7	V_8		
Рыночные	V_6	1	4	6	2,884	70,1%
Инвестиционно-финансовые	V_7	1/4	1	2	0,794	19,3%
Социальные	V_8	1/6	1/2	1	0,437	10,6%
Сумма по столбцам, $\sum_{i=1}^n V_{ij}$		1,42	5,50	9,00	4,115	1,000

ванности на уровне 0,003. Отношение согласованности должно быть меньше 10%, в противном случае оценки эксперта нуждаются в проверке. В результате расчетов отношение согласованности (ОС) проведенных оценок не превышает нормативных показателей (10%) – это значит, что результаты опроса эксперта могут быть использованы в дальнейших расчетах.

Далее можно определить коэффициенты важности рисков через установление влияния факторов третьего уровня на первый [4]. Для этого полученные собственные вектора третьего уровня выразили в виде матрицы (слева) и перемножили с вектором влияния второго уровня на первый (справа). Необходимо условие всех вычислений – соблюдение процедур нормирования коэффициентов, т.е. приведение их к безразмерным величинам (расчеты представлены в формуле 3).

$$\begin{pmatrix} 0.582 & 0 \\ 0.309 & 0 \\ 0.109 & 0 \\ 0 & 0.701 \\ 0 & 0.193 \\ 0 & 0.106 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0.667 \\ 0.333 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.388 \\ 0.206 \\ 0.073 \\ 0.234 \\ 0.064 \\ 0.035 \end{pmatrix} \quad (3)$$

В результате были получены весовые коэффициенты рисков третьего уровня и построена итоговая диаграмма количественной оценки (весов) рисков проекта по модернизации производственного процесса (рис. 2).

По рис. 2 видно, что к числу весомых значений относятся рыночные (колебание процентных ставок национальных валют), производственные (невыполнение запланированных объемов работ/недостатки планирования) и финансовые риски (осуществлением операций с финансовыми активами).

На третьем этапе анализа производится расчет парных оценок рисков проекта с учетом альтернативных вложений инвестиций, т.е. в анализ включается четвертый уровень иерархии рис. 1. Для определения коэффициентов влияния представленных рисков на выбор инвестиционного проекта были составлены и проанализированы еще шесть парных матриц уровня влияния 3 и 4 с учетом процедуры нормирования. В табл. 2 приведен свод нормированных векторов полученных матриц. Все матрицы выверены по индексу и отношению согласованности.

Итоговый вес направления инвестиций рассчитывается как средневзвешенное значение. В качестве веса выбрано расчетное значение значимости рисков, полученное на втором шаге анализа и представленное на рис. 2. Для упрощения интерпретации результатов анализа построим итоговую диаграмму сравнительного анализа рисков проекта по модернизации производственного процесса (рис. 3).

Далее, на четвертом этапе анализа, проведем анализ чувствительности полученных итоговых нормированных весов направлений инвестиций и рисков проекта к расставленным экспертом

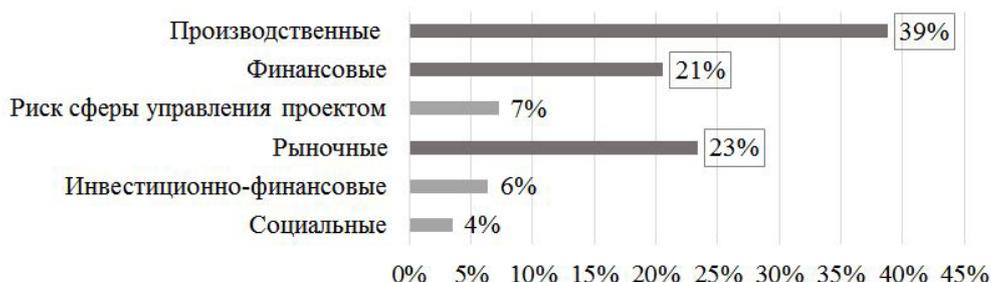


Рис. 2. Расчетные значения значимости рисков инвестиций в модернизацию производственных процессов

Fig. 2. Calculated values of the significance of investment risks in the modernization of production processes



Рис. 3. Результаты оценки вариантов инвестиций от влияния рисков проектов
 Fig. 3. Results of assessment of investment options from the impact of project risks

Таблица 2. Свод нормированных весов направлений инвестиций по каждому риску
Table 2. Set of normalized weights of investment directions for each risk

Риски / Направления инвестиций	Производ- ственные	Финансовые	Риск сферы управления проектом	Рыночные	Инвестиционно- финансовые	Социальные	Итоговый вес
Расчетные значения значимости рисков	39%	21%	7%	23%	6%	4%	100%
Замена производственного оборудования	79,3%	59,5%	8,2%	12,2%	13,1%	6,7%	48%
Внедрение экономичных технологий	13,1%	27,6%	31,5%	23,0%	79,3%	27,2%	25%
Выпуск нового продукта	7,6%	12,8%	60,3%	64,8%	7,6%	66,1%	28%

оценкам. В табл. 3 представлены расчеты, которые наглядным образом отражают чувствительность рисков инвестиционного проекта. Так, если бы эксперт изначально оценил значимость производственного риска в сравнении с рисками сферы управления проектом не на «5», а на «6», то был бы получен результат второго столбца табл. 3. При таком условии наибольшее изменение показал вес производственного риска (до 0,4). Или, к примеру, оценка эксперта оказалась бы не «5», а «4», итоговый вес снизился бы до 0,37 (табл. 3, столбец 3).

В зависимости от изменения веса производственного риска происходит соответствующее изменение и вектора приоритетов вложения инвестиций. По данным табл. 3 можно оценить эластичность приоритетов направления инвестиций [7] по изменению риска (для расчета был выбран вес производственного риска). В формуле (4) представлены расчеты эластичности по трем альтернативным вложениям.

Таблица 3. Анализ чувствительности полученных итоговых нормированных весов проекта к оценкам
Table 3. Analysis of the sensitivity of the resulting normalized project weights to estimates

Параметр	Моделирование условий рисков		
	Базовые значения при начальных условиях	Значение вектора при увеличении значения эксперта (с 5 до 6)	Значение вектора при уменьшении значения эксперта (с 5 до 4)
Производственные	0,3877	0,4000	0,3723
Финансовые	0,2066	0,2000	0,2131
Риск сферы управления проектами	0,0730	0,0667	0,0813
Рыночные	0,2337	0,2337	0,2337
Инвестиционно-финансовые	0,0643	0,0643	0,0643
Социальные	0,0354	0,0354	0,0354
Вложения инвестиций			
Замена производственного оборудования	0,4753	0,4810	0,4680
Внедрение экономических технологий	0,2450	0,2430	0,2476
Выпуск нового продукта	0,2796	0,2760	0,2844

$$E_1 = \frac{\frac{0.081 - 0.067}{0.4753}}{\frac{0.388}{0.4810 - 0.4680}} = 1.38;$$

$$E_2 = \frac{\frac{0.081 - 0.067}{0.2450}}{\frac{0.388}{0.2430 - 0.2476}} = -2.02; \tag{4}$$

$$E_3 = \frac{\frac{0.081 - 0.067}{0.2796}}{\frac{0.388}{0.2760 - 0.2844}} = -1.26.$$

Проведенный на четвертом этапе анализ чувствительности позволил сделать вывод, что увеличение значимости производственного риска на 1% вызовет повышение уровня первого приоритета направления инвестиций (замена оборудования) на 1,38%, снижение второго (внедрение экономических технологий) и третьего (выпуск нового продукта) приоритетов на 2,02% и 1,26%, соответственно.

Выводы

По своей сущности инновационность позволяет изучать реальность как недетерминированную систему, которой неподвластны традиционные правила управления. Поэтому инновации нельзя свести к направленному предписанию – ее можно только лишь спрогнозировать с учетом тенденций рынка.

В результате проведенного исследования была произведена оценка рисков инновационно-инвестиционного проекта с помощью синтеза методов нечетких множеств и анализа иерархий и получены следующие выводы:

- синтез методов, базирующийся на элементах теории нечетких множеств Л. Заде и методе иерархий Саати, позволяет использовать более функциональную и информативную форму представления мнения экспертов;
- математические средства отражения нечеткости исходной информации повышают точность результатов;
- математический подход к исследованию позволяет создать базу значимости рисков, которая соответствует основам многомерного анализа – в результате переменные были определены количественно и распределены по нормальному закону;
- в число наиболее важных рисков, влияющих на ход реализации проекта по модернизации производственного процесса промышленного предприятия, входят производственные, рыночные и финансовые риски; на данные риски в аналогичных условиях следует обращать первостепенное внимание при количественной оценке денежных потоков;
- анализ чувствительности выбора объектов инвестирования в результате колебания весовых категорий рисков разного вида позволяет проследить тенденцию к снижению или увеличению показателей, интерпретируемых непосредственно в экономических категориях.

Научная новизна исследования заключается в развитии качественных методов экспертной оценки рисков инновационно-инвестиционных проектов за счет синтеза методов Т. Саати и Л. Заде с применением анализа чувствительности, что имеет существенное значение для оценки и ранжирования влияния рисков.

Описанный в работе синтез методов для оценки рисков инновационного проекта обладает общностью и может найти свое применение при анализе чувствительности рисков проектов как на промышленном предприятии, при проведении его реструктуризации и модернизации, так и в иных инновационных проектах смежных сфер экономики. Применение его на практике позволит принимать обоснованные управленческие решения в отношении альтернатив вложения инвестиций в зависимости от текущих внешних условий в стране и внутреннего состояния предприятия.

Направление дальнейших исследований видится в нейросетевом моделировании чувствительности рисков инновационного проекта, обновленном на случайности выбора вариантов сочетаний уровней переменных. При больших исходных данных нейросетевое моделирование дает возможность получения нелинейных моделей практически любой сложности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Боев А.Г.** Система стратегического управления преобразованиями промышленного предприятия // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. № 1. С. 101–113. DOI: 10.18721/JE.13109
2. **Голиченко О.Г., Самоволева С.А.** Анализ и картирование рисков инновационной деятельности предприятий // Экономическая наука современной России. 2013. № 2. С. 114–127.
3. **Киреева Н.А., Пупенцова С.В.** Оценка инвестиционной привлекательности объекта недвижимости с использованием квалиметрического моделирования // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2012. № 4. С. 163–167.
4. **Мамий Е.А., Яхимович Е.С.** Современные подходы к оценке рисков инвестиционных проектов // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 5. С. 155–160.
5. **Поняева И.И.** Когнитивные системы поддержки принятия решений на основе цифровых технологий продвинутой бизнес-аналитики // Кластеризация цифровой экономики: глобальные

вызовы. Сборник трудов национальной научно-практической конференции с зарубежным участием, 18–20 июня 2020 г. / Под ред. Д.Г. Родионова, А.В. Бабкина. Т. 2. СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. С. 332–338. DOI: 10.18720/IEP/2020.5/40

6. **Пупенцова С.В.** Модели и инструменты в экономической оценке инвестиций. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 187 с.

7. **Суховольская Н.Б.** Оценка результатов анализа чувствительности инвестиционных проектов // Известия СПбГАУ. 2018. № 4. С. 185–189. DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14185

8. **Трачук А.В., Линдер Н.В.** Инновации и производительность: эмпирическое исследование факторов, препятствующих росту методом продольного анализа // Управленческие науки. 2017. № 3. С. 43–58. DOI: 10.26794/2304-022X-2017-7-3-43-58

9. **Babordina O.A., Garanina M.P., Garanin P.A., Chirkunova E.K.** Digitalization and project management method in improving efficiency of drilling wells construction. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, no. 139, pp. 348–353. DOI: 10.1007/978-3-030-53277-2_42

10. **Boris O.A., Parakhina V.N., et al.** Generating models for innovation development strategy of the industrial complex with references to its management, structure and policies. Lecture Notes in Networks and Systems, 2020, no. 73, pp. 615–625. DOI: 10.1007/978-3-030-15160-7_62

11. **Dalevska N., Khobta V., Kwilinski A., Kravchenko S.** A model for estimating social and economic indicators of sustainable development. Entrepreneurship and Sustainability Issues, 2019, no. 6–4, pp. 1839–1860. DOI: doi.org/10.9770/jesi.2019.6.4(21)

12. **Egorova N., Sorokina Y.** Decision making model for outsourcing by analysis of hierarchies of T. Saaty under fuzzy environment. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, no. 874, pp. 280–289. DOI: 10.1007/978-3-030-01818-4_28

13. **Fan C.-L.** Defect risk assessment using a hybrid machine learning method. Journal of Construction Engineering and Management, 2020, no. 146–9, 04020102, pp. 65–74. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001897

14. **Ivanov I., Lukyanova T., Orlova L.** Digitalization as a driver of innovation for industrial enterprises. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, no. 753–8, 082023, pp. 59–68. DOI: 10.1088/1757-899X/753/8/082023

15. **Jin X., Liu Q., Long H.** Impact of cost–benefit analysis on financial benefit evaluation of investment projects under back propagation neural network. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2021, no. 384, 113172. DOI: 10.1016/j.cam.2020.113172

16. **Kuchta D., Zabor A.** Fuzzy uncertainty modelling in cost and cash flow forecasting in project. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, no. 1197 AISC, pp. 1206–1215. DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2_141

17. **Lytvynenko V., Naumov O., et al.** Dynamic bayesian networks application for evaluating the investment projects effectiveness. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, no. 1246 AISC, pp. 315–330. DOI: 10.1007/978-3-030-54215-3_20

18. **Myagkova M.V., Shilkina T.E., Makarov V.A., Hairov R.R.** Financing innovative projects: Challenges, risks, and opportunities. Studies in Systems, Decision and Control, 2021, no. 316, pp. 185–195. DOI: 10.1007/978-3-030-57831-2_20

19. **Pchelintseva I., Gordashnikova O., Goryacheva T., Vasina A.** Methodological toolbox for risk assessment of innovative projects in the context of project management quality. Quality - Access to Success, 2020, no. 21–177, pp. 92–95.

20. **Pupentsova S., Livintsova M.** Qualimetric assessment of investment attractiveness of the real estate property. Real Estate Management and Valuation, 2018, no. 26–2, pp. 5–11. DOI: 10.2478/remav-2018-0011

21. **Samis M., Steen J.** Financial evaluation of mining innovation pilot projects and the value of information. Resources Policy, 2020, no. 69, 101848. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101848

22. **Samokhvalov Y.** Risk assessment of innovative projects based on fuzzy modeling. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, no. 1246 AISC, pp. 265–281. DOI: 10.1007/978-3-030-54215-3_17

REFERENCES

1. **A.G. Boev**, Strategic management system of transformation of industrial enterprises. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2020, no. 1, pp. 101–113. (rus). DOI: 10.18721/JE.13109
2. **O.G. Golichenko, S.A. Samovoleva**, Analiz i kartirovaniye riskov innovatsionnoy deyatel'nosti predpriyatiy [Analysis and risk mapping of innovation activities of enterprises]. Economics of Contemporary Russia, 2013, no. 2, pp. 114–127. (rus)
3. **N.A. Kireeva, S.V. Pupentsova**, Evaluation of investment attractiveness of real estate property using qualimetric modeling. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 2012, no. 4, pp. 163–167. (rus)
4. **Ye.A. Mamiy, Ye.S. Yakhimovich**, Sovremennyye podkhody k otsenke riskov investitsionnykh proyektov [Modern approaches to risk assessment of investment projects]. Ekonomika i biznes: teoriya i praktika, 2018, no. 5, pp. 155–160. (rus)
5. **I.I. Ponyaeva**, Cognitive models of decision support systems based on digital business analytics technologies. Rodionov D.G., Babkin A.V. (Eds). Clustering of the digital economy: Global challenges. Works of the National research-to-practice conference with foreign participation, June 18–20, 2020. St. Petersburg, Politekhn-Press, 2020, pp. 332–338. (rus). DOI: 10.18720/IEP/2020.5/40
6. **S.V. Pupentsova**, Modeli i instrumenty v ekonomicheskoy otsenke investitsiy [Models and tools for economic assessment of investments]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta, 2014. 187 p. (rus)
7. **N.B. Sukhovolskaya**, Results assessment of the sensitivity analysis in investment projects. Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University, 2018, no. 4, pp. 185–189. (rus). DOI: 10.24411/2078-1318-2018-14185
8. **A.V. Trachuk, N.V. Linder**, Innovations and productivity: The empiric study of barriers to advancement through longitudinal analysis. Management Science, 2017, no. 3, pp. 43–58. (rus). DOI: 10.26794/2304-022X-2017-7-3-43-58
9. **O.A. Babordina, M.P. Garanina, P.A. Garanin, E.K. Chirkunova**, Digitalization and project management method in improving efficiency of drilling wells construction. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, no. 139, pp. 348–353. DOI: 10.1007/978-3-030-53277-2_42
10. **O.A. Boris, V.N. Parakhina, et al.**, Generating models for innovation development strategy of the industrial complex with references to its management, structure and policies. Lecture Notes in Networks and Systems, 2020, no. 73, pp. 615–625. DOI: 10.1007/978-3-030-15160-7_62
11. **N. Dalevska, V. Khobta, A. Kwilinski, S. Kravchenko**, A model for estimating social and economic indicators of sustainable development. Entrepreneurship and Sustainability Issues, 2019, no. 6–4, pp. 1839–1860. DOI: doi.org/10.9770/jesi.2019.6.4(21)
12. **N. Egorova, Y. Sorokina**, Decision making model for outsourcing by analysis of hierarchies of T. Saaty under fuzzy environment. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019, no. 874, pp. 280–289. DOI: 10.1007/978-3-030-01818-4_28
13. **C.-L. Fan**, Defect risk assessment using a hybrid machine learning method. Journal of Construction Engineering and Management, 2020, no. 146–9, 04020102, pp. 65–74. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001897
14. **I. Ivanov, T. Lukyanova, L. Orlova**, Digitalization as a driver of innovation for industrial enterprises. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, no. 753–8, 082023, pp. 59–68. DOI: 10.1088/1757-899X/753/8/082023
15. **X. Jin, Q. Liu, H. Long**, Impact of cost–benefit analysis on financial benefit evaluation of investment projects under back propagation neural network. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2021, no. 384, 113172. DOI: 10.1016/j.cam.2020.113172
16. **D. Kuchta, A. Zabor**, Fuzzy uncertainty modelling in cost and cash flow forecasting in project. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, no. 1197 AISC, pp. 1206–1215. DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2_141
17. **V. Lytvynenko, O. Naumov, et al.**, Dynamic bayesian networks application for evaluating the investment projects effectiveness. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, no. 1246 AISC, pp. 315–330. DOI: 10.1007/978-3-030-54215-3_20
18. **M.V. Myagkova, T.E. Shilkina, V.A. Makarov, R.R. Hairon**, Financing innovative projects: Challenges, risks, and opportunities. Studies in Systems, Decision and Control, 2021, no. 316, pp. 185–195. DOI: 10.1007/978-3-030-57831-2_20

19. **I. Pchelintseva, O. Gordashnikova, T. Goryacheva, A. Vasina**, Methodological toolbox for risk assessment of innovative projects in the context of project management quality. *Quality – Access to Success*, 2020, no. 21–177, pp. 92–95.

20. **S. Pupentsova, M. Livintsova**, Qualimetric assessment of investment attractiveness of the real estate property. *Real Estate Management and Valuation*, 2018, no. 26–2, pp. 5–11. DOI: 10.2478/remav-2018-0011

21. **M. Samis, J. Steen**, Financial evaluation of mining innovation pilot projects and the value of information. *Resources Policy*, 2020, no. 69, 101848. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101848

22. **Y. Samokhvalov**, Risk assessment of innovative projects based on fuzzy modeling. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, no. 1246 AISC, pp. 265–281. DOI: 10.1007/978-3-030-54215-3_17

Статья поступила в редакцию 27.10.2020.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ПУПЕНЦОВА Светлана Валентиновна

E-mail: pupentsova_sv@spbstu.ru

PUPENTSOVA Svetlana V.

E-mail: pupentsova_sv@spbstu.ru

ПОНЯЕВА Ирина Игоревна

E-mail: babochal@mail.ru

PONYAEVA Irina I.

E-mail: babochal@mail.ru

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020