Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского
Серия «Экономика и управление». Том 24 (63). 2011 г. № 1. С. 193-205.

УДК:330.131.7

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Сигал А. В.

Таврический национальный университет имени В. И.Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: ksavo3@gmail.com

В данной статье предложена модель проектного анализа, основанная на совместном применении теории игр и нечёткой математики. Рассмотрены особенности применения этого метода в поле различных информационных ситуаций. Рассмотрен конкретный числовой пример.
Ключевые слова: модель проектного анализа; теория игр; нечёткая математика; классическая антагонистическая игра; неоклассическая антагонистическая игра; классификация информационных ситуаций.

ВВЕДЕНИЕ

Экономическая эффективность деятельности инвестора определяется комплексом оценок. Система оценок экономической эффективности проектов основана на иерархической системе расчётов эффективности с позиций каждого участника инвестиционного процесса. В частности, эта система основана на учёте динамики соответствующих денежных потоков в условиях инфляции национальной и иностранной (особенно в случае иностранных инвестиций) валют, возникающих в процессе реализации проекта, на учёте неопределённости, конфликтности и порождённого ими экономического риска, а также на моделировании этих процессов и явлений. Проектный анализ — это решение задач финансовой реализуемости и эффективности инвестиционных проектов как до, так и после их осуществления в процессе мониторинга эффективности [1, с. 100]. Часто проектный анализ трактуют более широко как решение всего комплекса проблем по управлению инвестиционными проектами.

Оценка экономической эффективности проектов в России, Украине и других постсоветских странах «требует учёта различных методических особенностей, которые делают во многих случаях неприемлемым целостное использование как хорошо разработанной в советское время методики оценки эффективности капитальных вложений и новой техники (Типовая методика, 1968; Методика, 1977; и др.), так и методов проектного анализа, успешно применяемых в странах с развитой рыночной экономикой» [1, с. 108]. Учёт этих особенностей и решение связанных с этим вопросов требуют привлечения новых методов и моделей, позволяющих выбрать из всех потенциальных проектов множество наиболее надёжных проектов, подлежащих реализации инвестором.

Цель настоящей работы — разработка модели проектного анализа, основанной на совместном применении теории игр и нечёткой математики. Особое внимание уделяется вопросам учёта таких присущих современной экономике факторов, как неопределённость, конфликтность и порождённый ими экономический риск. Для этого предлагается использовать неоклассические антагонистические игры в поле различных информационных ситуаций.

В инвестиционной деятельности применяется ряд методов анализа, оценки и управления инвестиционными проектами. Имеется обширная литература, посвящённая различным аспектам управления инвестиционной деятельностью. Исследованием этих проблем занимались такие отечественные и зарубежные ученые, как У. Шарп, Г. Александер и Дж. Бэйли [2], В. Беренс и П. М. Хавранек [3], Т. Райс и Б. Койли [4], К. Ф. Грей и Э. У. Ларсон [5], Л. Гитман и М. Джонк [6], Л. Крушвиц [7], П. Л. Виленский, В. Н. Лившиц и С. А. Смоляк [8], В. В. Витлинский [9, 10], и другие.

Хотя инвестиционной деятельности, проблемам анализа и оценки экономической эффективности инвестиций посвящена обширная научная литература, вопросам моделирования проектного анализа на основе совместного применения теории игр и нечёткой математики до сих пор внимание, можно сказать, не уделялось. Как будет показано ниже теоретико-игровое моделирование принятия инвестиционных решений с учётом неопределённости, конфликтности и порождённого ими экономического риска позволяет оценить уровень надёжности потенциальных проектов и уменьшить уровень экономического риска инвестора.

1. ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

К числу классических (наиболее распространённых на практике) показателей оценки экономической эффективности потенциальных проектов в условиях стационарной экономики принято относить следующие характеристики:

1. чистый дисконтированный доход (ЧДД), называемый NPV от английского термина Net Present Value;
2. внутренняя норма доходности (ВНД), называемая IRR от английского термина Internal Rate of Return;
3. индекс доходности (ИД), называемый PI от английского термина Profitability Index;
4. срок (период) окупаемости: а) без учёта дисконтирования, называемый PP от английского термина Pay-back Period, или б) с учётом дисконтирования, называемый DPP от английского термина Discounted Pay-back Period.

Разрешающая способность этих показателей (то есть возможность их корректного применения для оценки эффективности проектов и их ранжирования) не одинакова. Применяя разные показатели оценки экономической эффективности проектов, методы многокритериальной оптимизации, выдвигая разные возможные сценарии условий реализации проектов, можно осуществить анализ возможных инвестиционных стратегий. Как правило, при анализе потенциальных проектов невозможно своевременно и за приемлемую цену получить все необходимые точные данные и сведения, особенно о таких важнейших факторах, как будущие темпы инфляции, будущие цены и будущий спрос на соответствующую услугу, товар или продукт. По мнению В. В. Витлинского, для учёта неопределённости, конфликтности и порождённого ими экономического риска в данном случае целесообразно воспользоваться сценарным подходом [9, с. 193], описанным в [10, 11].

В развёрнутой форме, аналогично [12], ситуация принятия инвестиционных решений характеризуется игровой моделью, а точнее тройкой $\langle I, J, \mu \rangle$, где

1. $I = \{1; 2;...; i;...; k\}$ — известное множество потенциальных проектов, рассматриваемых инвестором (то есть проектов, возможность инвестирования которых рассматривает инвестор);
2. $J = \{1; 2;...; j;...; n\}$ — известное множество рассматриваемых инвестором сценариев условий реализации потенциальных проектов (то есть возможных состояний экономической среды);
3. $\mu = \mu_{k \times n} = (\mu_{ij})$ — полностью или частично известная матрица, элементы которой μ_{ij} задают соответствующие значения оценок функции принадлежности i-го проекта множеству наиболее надёжных проектов в условиях j-го сценария.

В общих чертах вышеприведённые составные части рассматриваемой теоретико-игровой модели впервые были предложены в работе [13]. Впоследствии эта модель была описана более подробно в статье [14]. Данную игровую модель можно интерпретировать и как статистическую игру, и как антагонистическую игру, заданную платёжной матрицей $\mu = \mu_{k \times n} = (\mu_{ij})$, значения элементов которой вычисляются инвестором на основании найденных им значений показателей оценки экономической эффективности данных потенциальных проектов в условиях реализации соответствующего сценария. При этом множество наиболее надёжных проектов интерпретируется как нечёткое множество [15, 16] вида $\widetilde{I} = \{(\mu_1/1); (\mu_2/2);...; (\mu_i/i);...; (\mu_k/k)\}$, где $\mu_i \in [0; 1]$, $i = \overline{1, k}$, μ_i — значение функции (степени) принадлежности данному нечёткому множеству наиболее надёжных проектов для i-го потенциального проекта.

Антагонистическая игра, характеризующая ситуацию принятия инвестиционных решений, по своей сути представляет собой статистическую игру, в которой первый игрок является лицом, принимающим решения (ЛПР), активно и осмысленно выбирающим свои стратегии, а второй игрок — «природой» (собственно говоря, экономической средой). В отличие от ЛПР «природа» случайным образом (неосознанно) оказывается в одном из своих возможных состояний $j \in J$. Без ограничения общности можно считать, что функционал оценивания (платёжная матрица) заданной статистической игры обладает положительным ингредиентом $\mu = \mu^+ = \mu^+_{k \times n} = (\mu^+_{ij})$, то есть ЛПР стремится максимизировать значения оценок принятых инвестиционных решений. Такую статистическую игру можно считать равносильной антагонистической игре, платёжная матрица которой совпадает с функционалом оценивания заданной статистической игры. Далее везде для определённости будем считать, что ситуацию принятия инвестиционных решений характеризует антагонистическая игра, заданная платёжной матрицей $\mu = \mu^+ = \mu^+_{k \times n} = (\mu^+_{ij})$.

2. НЕРЕШЁННЫЕ ЧАСТИ ПРОБЛЕМЫ

В упомянутых работах [13, 14] не были рассмотрены важные аспекты реализации предлагаемой модели проектного анализа, основанной на совместном применении теории игр и нечёткой математики. Во-первых, не учитывался случай, когда платёжная матрица известна частично. Во-вторых, ранжирование потенциальных проектов базировалось на предположении, что соответствующая антагонистическая игра не имеет седловой точки и сама игра имеет решение в смешанных стратегиях игроков, а случай наличия седловой точки в данной игре не рассматривался. В-третьих, не было чётко сформулировано правило принятия инвестиционных решений, учитывающее найденное нечёткое множество $\widetilde{I} = \{(\mu_1/1); (\mu_2/2); ...; (\mu_i/i); ...; (\mu_k/k)\}$ наиболее надёжных проектов.

Таким образом, использование предлагаемой модели проектного анализа, основанной на совместном применении теории игр и нечёткой математики, осложнено рядом нерешённых частей данной проблемы и рядом нерешённых задач. Далее будут рассмотрены возможные пути решения перечисленных нерешённых частей рассматриваемой проблемы для корректной реализации предлагаемой модели проектного анализа, основанной на совместном применении теории игр и нечёткой математики.

3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Итак, ситуация принятия инвестиционных решений характеризуется антагонистической игрой $\langle I, J, \mu \rangle$. Далее будет использована следующая терминология. **Классической антагонистической игрой** будем называть парную конечную (матричную) игру с нулевой суммой с полной информацией, то есть заданную полностью известной платёжной матрицей. **Неоклассической антагонистической игрой** будем называть парную конечную (матричную) игру с нулевой суммой с неполной информацией, то есть заданную частично известной платёжной матрицей. То, что платёжная матрица известна частично, означает следующее: среди её элементов имеется хотя бы один, точное истинное значение которого неизвестно. Неоклассическая антагонистическая игра представляет собой простейшее обобщение классической антагонистической игры. В статьях [17, 18] вместо термина «неоклассическая антагонистическая игра» использовались его синонимы «антагонистическая игра, заданная в условиях частичной неопределённости» и «антагонистическая игра, заданная в условиях частичной определённости», в статье [18] — синоним «антагонистическая игра с неполной информацией», а в работе [19] — синоним «антагонистическая игра, заданная в условиях неполной информации».

Хотя игры с неполной информацией рассматриваются с середины XX века [20, 21], методы их решения изучены недостаточно. Поиск оптимального решения неоклассической антагонистической игры осложнён тем, что игроки вынуждены принимать решения в условиях неопределённости, конфликтности и порождённого ими экономического риска. В пределах теории принятия решений в условиях неопределённости, конфликтности и порождённого ими экономического риска возможны различные концепции поиска оптимального решения неоклассической антагонистической игры. Простейшим методом поиска оптимального решения неоклассической антагонистической игры является её решение, основанное на корректном приведении такой игры к классической антагонистической игре. Для оценки значений неизвестных элементов платёжной матрицы возможно использование методов интерполирования, экстраполирования, регрессионного анализа. Решение полученной классической антагонистической игры можно интерпретировать как оптимальное решение исходной неоклассической антагонистической игры. Возможные методы преодоления неполноты информации, то есть методы приведения неоклассической антагонистической игры к классической антагонистической игре, зависят от имеющей место информационной ситуации [17].

Информационной ситуацией будем называть определенную степень градации, характеризующую неопределённость значений элементов, точные истинные значения которых неизвестны, частично известной платёжной матрицы неоклассической антагонистической игры.

На основании решения антагонистической игры требуется выбрать потенциальные проекты, обладающие наибольшим значением уровня надёжности, из всей совокупности имеющихся потенциальных проектов. Потенциальными проектами, обладающими наибольшими значениями надёжности, следует считать те из них, которые обладают наибольшими значениями функции принадлежности соответствующему нечёткому множеству $\tilde{I} = \{(\mu_1/1); (\mu_2/2); \ldots; (\mu_i/i); \ldots; (\mu_k/k)\}$ наиболее надёжных проектов.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Классификацию информационных ситуаций (ИС) можно представить в таком виде:

1. нулевая ИС I_0, когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, измерены с существенными ошибками;
2. первая ИС I_1, когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, являются возможными значениями заданных случайных величин;
3. вторая ИС I_2, когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, являются возможными значениями заданных функций одного или нескольких переменных;
4. третья ИС I_3, когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, удовлетворяют заданным ограничениям (например, принадлежат заданным множествам);

5. четвёртая ИС I_4, когда о значениях всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, нет никакой математической информации;
6. пятая ИС I_5, когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, принимают наихудшие для первого игрока (ЛПР) значения;
7. шестая ИС I_6, когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, принадлежат заданным нечётким множествам;
8. седьмая ИС I_7 — смешанная ИС, когда имеются хотя бы два элемента, точные истинные значения которых неизвестны, при этом все эти элементы могут быть разбиты хотя бы на две группы, для каждой из которых имеет место своя собственная ИС, или когда значения всех элементов, точные истинные значения которых неизвестны, являются возможными значениями заданных объектов двойной природы (например, случайных функций).

Приведённая классификация ИС представляет собой уточнённую классификацию, впервые предложенную в работе [17]. Классификация ИС, предложенная в работе [17], в значительной мере повторяла классификацию ИС для характеристики стратегии поведения экономической среды, предложенную Р. И. Трухаевым [22, с. 13]. В поле имеющей место ИС неизвестные элементы платёжной матрицы могут быть соответствующим этой ИС способом заменены их наиболее типичными (и/или наиболее важными) значениями, после чего следует решать соответствующую классическую антагонистическую игру, заданную полученной полностью известной матрицей. При этом оптимальное решение полученной классической антагонистической игры и будем отождествлять с оптимальным решением исходной неоклассической антагонистической игры.

Итак, окончательное инвестиционное решение инвестор может принять согласно предлагаемой модели проектного анализа, основанной на совместном применении теории игр и нечёткой математики. Эта модель проектного анализа состоит из выполнения последовательности следующих процедур:

1. формирование инвестором множества $I = \{1; 2;...; i;...; k\}$ потенциальных проектов, возможность инвестирования которых рассматривает инвестор;
2. формирование инвестором множества $J = \{1; 2;...; j;...; n\}$ возможных сценариев реализации потенциальных проектов;
3. оценка экономической эффективности потенциальных проектов в условиях каждого возможного сценария на основе классических показателей оценки экономической эффективности потенциальных проектов;
4. задание значений (точное или при помощи соответствующих условий, которым эти значения должны удовлетворять) μ_{ij} оценок функции (степени) принадлежности i-го проекта множеству наиболее надёжных проектов в условиях j-го сценария;

5. определение (идентификация) имеющей место ИС, которая характеризует поведение экономической среды, а для неоклассической антагонистической игры ещё и определение (идентификация) имеющей место ИС, которая характеризует неопределённость возможных значений всех элементов платёжной матрицы, точные истинные значения которых неизвестны;
6. решение соответствующей (классической или неоклассической) антагонистической игры (парной конечной игры с нулевой суммой), заданной платёжной матрицей $\mu = \mu_{k \times n} = (\mu_{ij})$;
7. вычисление оценок значений функции (степени) принадлежности по формуле $\mu_i = C \cdot p_i^*$, где p_i^* — соответствующая компонента оптимальной смешанной стратегии первого игрока $\mathbf{p}^* = (p_1^*;\, p_2^*;\ldots;\, p_i^*;\ldots;\, p_k^*)$, а множитель $C = \dfrac{1}{\max\limits_i p_i^*}$ подбирается так, чтобы выполнялось условие нормировки найденных оценок: $\max\limits_i \mu_i = 1$, при этом найденные числа μ_i задают значения уровней надёжности соответствующих потенциальных проектов;
8. построение нечёткого множества $\widetilde{I} = \{(\mu_1/1);\,(\mu_2/2);\ldots;\,(\mu_i/i);\ldots;\,(\mu_k/k)\}$ наиболее надёжных проектов;
9. выбор наиболее надёжных проектов, подлежащих реализации инвестором, например, согласно правилу: i-й потенциальный проект обладает достаточным уровнем надёжности и его следует реализовывать тогда и только тогда, когда для оценки μ_i его уровня надёжности справедливо неравенство $\mu_i \ge c$, где c — константа, значение которой характеризует минимально допустимый уровень надёжности проекта и задаёт инвестор (например, $c = 0{,}25$ или $c = 0{,}5$, или $c = 0{,}75$).

Заметим, что если в антагонистической игре, заданной платёжной матрицей $\mu = \mu_{k \times n} = (\mu_{ij})$, отсутствует седловая точка, то есть для чистых цен игры справедливо неравенство $\alpha < \beta$, где $\alpha = \max\limits_i \alpha_i = \max\limits_i \min\limits_j \mu_{ij}$ — нижняя чистая цена игры (максимин), $\beta = \min\limits_j \beta_j = \min\limits_j \max\limits_i \mu_{ij}$ — верхняя чистая цена игры (минимакс), $\alpha_i = \min\limits_j \mu_{ij}$, $i = \overline{1,k}$, $\beta_j = \max\limits_i \mu_{ij}$, $j = \overline{1,n}$, и игра имеет решение в смешанных стратегиях, то оптимальная смешанная стратегия $\mathbf{p}^* = (p_1^*;\, p_2^*;\ldots;\, p_i^*;\ldots;\, p_k^*)$ первого игрока позволяет ранжировать потенциальные проекты по уровню их надёжности. А если в антагонистической игре, заданной платёжной матрицей $\mu = \mu_{k \times n} = (\mu_{ij})$, имеется седловая точка, то есть для чистых цен игры справедливо равенство $\alpha = \beta$, и игра имеет решение в чистых стратегиях, то для ранжирования потенциальных проектов необходимо использовать доминирование чистых стратегий первого игрока согласно процедурам, предложенным в [23, с. 121 – 126].

Данная модель проектного анализа, основанная на совместном применении теории игр и нечёткой математики, обладает как достоинствами (например, анализ надёжности осуществляется по всей совокупности потенциальных проектов, применение модели позволяет численно ранжировать уровни надёжности потенциальных проектов), так и недостатками (например, чрезмерная осторожность при рекомендации инвестирования потенциального проекта).

Пусть ситуация принятия инвестиционных решений характеризуется следующими составными частями:

1. $I = \{1;\, 2;\, 3;\, 4\}$ — известное множество потенциальных проектов, возможность инвестирования которых рассматривает инвестор;
2. $J = \{1;\, 2;.3;\, 4;\, 5\}$ — известное множество рассматриваемых инвестором сценариев условий реализации потенциальных проектов;
3. $\mu = \mu_{4\times 5} = (\mu_{ij})$ — частично известная матрица, элементы которой μ_{ij} задают соответствующие значения оценок функции принадлежности i-го проекта множеству наиболее надёжных проектов в условиях j-го сценария.

Точные истинные значения всех элементов μ_{ij} платёжной матрицы неизвестны, но эксперты нашли интервалы, которым принадлежат их значения: $\mu_{11} \in [0{,}4;\, 0{,}5]$, $\mu_{12} \in [0{,}4;\, 0{,}5]$, $\mu_{13} \in [0{,}5;\, 0{,}6]$, $\mu_{14} \in [0{,}6;\, 0{,}7]$, $\mu_{15} \in [0{,}4;\, 0{,}5]$, $\mu_{21} \in [0{,}5;\, 0{,}6]$, $\mu_{22} \in [0{,}2;\, 0{,}3]$, $\mu_{23} \in [0{,}3;\, 0{,}4]$, $\mu_{24} \in [0{,}1;\, 0{,}2]$, $\mu_{25} \in [0{,}6;\, 0{,}7]$, $\mu_{31} \in [0{,}2;\, 0{,}3]$, $\mu_{32} \in [0{,}3;\, 0{,}4]$, $\mu_{33} \in [0{,}6;\, 0{,}7]$, $\mu_{34} \in [0{,}4;\, 0{,}5]$, $\mu_{35} \in [0{,}1;\, 0{,}2]$, $\mu_{41} \in [0{,}6;\, 0{,}7]$, $\mu_{42} \in [0{,}5;\, 0{,}6]$, $\mu_{43} \in [0{,}6;\, 0{,}7]$, $\mu_{44} \in [0{,}7;\, 0{,}8]$, $\mu_{45} \in [0{,}6;\, 0{,}7]$. Очевидно, имеет место третья ИС I_3. Для определённости в качестве наиболее типичных значений элементов платёжной матрицы выберем середины указанных интервалов. Получим классическую антагонистическую игру, заданную полностью известной матрицей

$$\overline{\mu} = \overline{\mu}_{4\times 5} = (\overline{\mu}_{ij}) = \begin{pmatrix} 0{,}45 & 0{,}45 & 0{,}55 & 0{,}65 & 0{,}45 \\ 0{,}55 & 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}15 & 0{,}65 \\ 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}65 & 0{,}45 & 0{,}15 \\ 0{,}65 & 0{,}55 & 0{,}65 & 0{,}75 & 0{,}65 \end{pmatrix}.$$

Так как справедливы неравенства $\overline{\mu}_{4j} \ge \overline{\mu}_{1j}$, $\overline{\mu}_{4j} \ge \overline{\mu}_{2j}$, $\overline{\mu}_{4j} \ge \overline{\mu}_{3j}$, где $j = \overline{1,5}$, и $\overline{\mu}_{41} > \overline{\mu}_{11}$, $\overline{\mu}_{41} > \overline{\mu}_{21}$, $\overline{\mu}_{41} > \overline{\mu}_{31}$, то четвёртая чистая стратегия первого игрока строго доминирует все остальные его чистые стратегии. Это означает, что для четвёртого потенциального проекта можно считать, что его уровень надёжности может быть оценён единицей: $\mu_4 = \gamma_1 = 1$.

Вычеркнув четвёртую строку, упростим матрицу $\overline{\mu} = \overline{\mu}_{4\times5} = (\overline{\mu}_{ij})$ к матрице

$$\overline{\mu}' = \overline{\mu}'_{3\times5} = (\overline{\mu}'_{ij}) = \begin{pmatrix} 0{,}45 & 0{,}45 & 0{,}55 & 0{,}65 & 0{,}45 \\ 0{,}55 & 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}15 & 0{,}65 \\ 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}65 & 0{,}45 & 0{,}15 \end{pmatrix}.$$

Очевидно, ни одна из трёх оставшихся чистых стратегий первого игрока не доминирует ни одну из его остальных чистых стратегий. Легко убедиться, что для матрицы $\overline{\mu}' = \overline{\mu}'_{3\times5} = (\overline{\mu}'_{ij})$ справедливы равенства $\alpha = \max_i \min_j \overline{\mu}'_{ij} = 0{,}45 = \overline{\mu}'_{12}$, $\beta = \min_j \max_i \overline{\mu}'_{ij} = 0{,}45 = \overline{\mu}'_{12}$, то есть эта матрица содержит седловой элемент $\overline{\mu}'_{12} = 0{,}45$, расположенный в её первой строке. Пусть для первого потенциального проекта его уровень надёжности оценён некоторым числом γ_2, значение которого удовлетворяет соотношениям $\mu_1 = \gamma_2 < \gamma_1 = 1$.

Вычеркнув первую строку, упростим матрицу $\overline{\mu}' = \overline{\mu}'_{3\times5} = (\overline{\mu}'_{ij})$ к матрице

$$\overline{\mu}'' = \overline{\mu}''_{2\times5} = (\overline{\mu}''_{ij}) = \begin{pmatrix} 0{,}55 & 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}15 & 0{,}65 \\ 0{,}25 & 0{,}35 & 0{,}65 & 0{,}45 & 0{,}15 \end{pmatrix}.$$

Очевидно, для матрицы $\overline{\mu}'' = \overline{\mu}''_{2\times5} = (\overline{\mu}''_{ij})$ справедливы соотношения $\alpha = \max_i \min_j \overline{\mu}''_{ij} = 0{,}15$, $\beta = \min_j \max_i \overline{\mu}''_{ij} = 0{,}35$, $\alpha < \beta$ Следовательно, эта матрица не содержит седлового элемента. Оптимальное решение классической антагонистической игры, заданной полностью известной матрицей $\overline{\mu}'' = \overline{\mu}''_{2\times5} = (\overline{\mu}''_{ij})$, имеет вид: $\mathbf{p}^* = \left(\frac{1}{3}; \frac{2}{3}\right)$, $\mathbf{q}^* = \left(0; \frac{5}{6}; 0; 0; \frac{1}{6}\right)$, $V^*_{\mu''} = \frac{19}{60}$. Оптимальное решение этой игры позволяет оценить уровни надёжности всех остальных потенциальных проектов: $\mu_2 = p_1^* = \frac{1}{3}$, $\mu_3 = p_2^* = \frac{2}{3}$, $\mu_1 = \gamma_2 = \frac{\gamma_1 + \gamma_3}{2} = \frac{1 + 2/3}{2} = \frac{5/3}{2} = \frac{5}{6}$, где $\gamma_3 = \max_i p_i^* = \max\left\{\frac{1}{3}; \frac{2}{3}\right\} = \frac{2}{3}$.

Так как $\max \mu_i = \max\left\{\frac{5}{6}; \frac{1}{3}; \frac{2}{3}; 1\right\} = 1$, условие нормировки оценок μ_i выполняется, при этом нечёткое множество наиболее надёжных проектов имеет вид $\widetilde{I} = \{(\mu_1/1); (\mu_2/2); (\mu_3/3); (\mu_4/4)\} = \left\{\left(\frac{5}{6}\Big/1\right); \left(\frac{1}{3}\Big/2\right); \left(\frac{2}{3}\Big/3\right); (1/4)\right\}$.

Это означает, в частности, что наибольшим значением уровня надёжности обладает четвёртый потенциальный проект, для которого уровень его надёжности равен $\mu_4 = 1$, а наименьшим значением уровня надёжности — второй потенциальный проект, для которого уровень его надёжности равен $\mu_2 = \frac{1}{3}$.

Если инвестор считает, что i-й потенциальный проект обладает достаточным уровнем надёжности и его следует реализовывать тогда и только тогда, когда для оценки μ_i его уровня надёжности справедливо неравенство $\mu_i \geq 0{,}5$, то с учётом найденных оценок μ_i уровней надёжности рассматриваемых потенциальных проектов данному инвестору следует реализовывать только первый, третий и четвёртый потенциальные проекты. А если инвестор считает, что i-й потенциальный проект обладает достаточным уровнем надёжности и его следует реализовывать тогда и только тогда, когда для оценки μ_i его уровня надёжности справедливо неравенство $\mu_i \geq 0{,}75$, то с учётом найденных оценок μ_i уровней надёжности рассматриваемых потенциальных проектов данному инвестору следует реализовывать только первый и четвёртый потенциальные проекты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая теоретико-игровая модель принятия инвестиционных решений основана на совместном применении теории игр и нечёткой математики. Этот подход позволяет адекватно моделировать процесс принятия инвестиционных решений в условиях современной экономики.

Во-первых, современной экономике присущи неопределённость, конфликтность, конкуренция и порождённый ими экономический риск. Эта принципиальная особенность экономики приводит к тому, что при теоретико-игровом моделировании экономики и процессов принятия управленческих решений точные истинные значения окажутся известными не для всех элементов платёжной матрицы. В таких случаях следует применять неоклассические антагонистические игры, то есть антагонистические игры с неполной информацией, заданные частично известной платёжной матрицей.

Во-вторых, методы решения неоклассических антагонистических игр зависят от имеющей место информационной ситуации. Одним из естественных методов решения неоклассической антагонистической игры является её корректное приведение к классической антагонистической игре, то есть к антагонистической игре с полной информацией, заданной полностью известной платёжной матрицей. Решение полученной классической антагонистической игры можно интерпретировать как оптимальное решение исходной неоклассической антагонистической игры. Для оценки значений неизвестных элементов платёжной матрицы возможно использование методов интерполирования, экстраполирования, регрессионного анализа.

В-третьих, применение неоклассических антагонистических игр позволяет адекватно моделировать процесс принятия инвестиционных решений в условиях противоречивости, неопределённости, неполноты информации, конфликтности, многокритериальности, альтернативности и порождённого ими экономического риска.

В-четвёртых, при выборе наиболее надёжных потенциальных проектов возможно применение теоретико-игрового моделирования. Следует учитывать, что модель проектного анализа, основанная на совместном применении теории игр и нечёткой математики, обладает как достоинствами (например, анализ надёжности осуществляется по всей совокупности потенциальных проектов, применение модели позволяет численно ранжировать уровни надёжности потенциальных проектов), так и недостатками (например, чрезмерная осторожность при рекомендации инвестирования потенциального проекта).

В-пятых, в случае, когда в антагонистической игре, заданной платёжной матрицей $\mu = \mu_{k\times n} = (\mu_{ij})$, имеется седловая точка, то есть для чистых цен игры справедливо равенство $\alpha = \beta$, и игра имеет решение в чистых стратегиях, для ранжирования потенциальных проектов по уровням их надёжности необходимо использовать доминирование чистых стратегий первого игрока.

В дальнейших исследованиях проблемы принятия инвестиционных решений на основе теоретико-игрового подхода планируется рассмотреть случай, когда платёжная матрица $\mu = \mu_{k\times n} = (\mu_{ij})$ известна частично (то есть не для всех элементов μ_{ij} этой матрицы известны их точные истинные значения) и потребуется решать соответствующую неоклассическую антагонистическую игру в поле различных информационных ситуаций. Применение таких модификаций модели проектного анализа, основанной на совместном применении теории игр и нечёткой математики, позволит значительно расширить возможности теоретико-игрового моделирования процесса принятия инвестиционных решений.

Список литературы

1. Лившиц В. Н. Макроэкономические теории, реальные инвестиции и государственная российская экономическая политика / В. Н. Лившиц, С. В. Лившиц. – М.: ЛКИ, 2008. – 248 с.
2. Шарп У. Инвестиции / У. Шарп, Г. Александер, Дж. Бэйли ; пер. с англ. А. Н. Буренина, А. А. Васина. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 1028 с.
3. Беренс В. Руководство по оценке эффективности инвестиций / В. Беренс, П. М. Хавранек ; пер. с англ. А. О. Гридин, И. В. Модестов, Н. В. Сараев, Н. М. Свистунова. – М.: Интерэксперт, ИНФРА-М, 1995. – 528 с.
4. Райс Т. Финансовые инвестиции и риск / Т. Райс, Б. Койли ; сокр. пер. с англ. под общей ред. М. А. Гольцберга, Л. М. Хасан-Бек. – К. : BHV, 1995. – 592 с.
5. Грей К. Ф. Управление проектами. Практическое руководство / К. Ф. Грей, Э. У. Ларсон ; пер. с англ. под науч. ред. В. М. Дудникова. – М.: Дело и Сервис, 2007. – 608 с.
6. Гитман Л. Основы инвестирования / Л. Гитман, М. Джонк; пер. с англ. О. В. Буклемишева, С. П. Власенко, И. В. Ивашковской и др. под науч. ред. И. В. Ивашковской. – М.: Дело, 1997. – 1008 с.
7. Крушвиц Л. Инвестиционные расчеты / Л. Крушвиц; пер. с нем. под общей ред. В. В. Ковалева и З. А. Сабова. – СПб.: Питер, 2001. – 432 с.

8. Виленский П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика: Учеб. пособие / П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. – М.: Дело, 2004. – 888 с.
9. Вітлінський В.В. Аналіз, оцінка і моделювання економічного ризику / В. В. Вітлінський. – К.: ДЕМІУР, 1996. – 212 с.
10. Вітлінський В. В. Оцінка інвестиційних проектів з урахуванням ризику / В.В. Вітлінський. – К.: КДЕУ, 1995. – 14 с.
11. Шибалкин О.Ю. Проблемы и методы построения сценариев социально-экономического развития / О. Ю. Шибалкин. – М.: Наука, 1992. – 176 с.
12. Вітлінський В. В. Моделювання ризику в трансформаційному менеджменті / В.В.Вітлінський. – К. : КДЕУ, 1995. – 14 с.
13. Сигал А.В. Ранжирование инвестиционных проектов на основе теоретико-игрового подхода / А.В. Сигал // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики Украины: Материалы II Всеукраинской научно-практ. конф. Алушта, 9 – 11 октября 2003. – Симферополь, 2003. – С. 23-24.
14. Сигал А.В. Теоретико-игровой метод формирования портфеля наиболее надёжных проектов / А.В. Сигал // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах : Труды Междунар. науч. школы МА БР-2004 (Санкт-Петербург, 22 – 25 июня 2004). – СПб.: ГОУ ВПО СПбГУАП, 2004. – С. 290-295.
15. Zadeh L.A. Fuzzy sets / L. A. Zadeh // Information and Control. – 1965. – V. 8. – P. 338-353.
16. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде; пер. с англ. Н.И. Ринго. – М. : Мир, 1976. – 167 с.
17. Сигал А. В. Антагонистическая игра, заданная в условиях частичной неопределённости / А.В. Сигал, В.Ф. Блыщик // Экономическая кибернетика: Международный научный журнал. – 2005. – № 5 – 6 (35 – 36). – С. 47-53.
18. Сигал А.В. Теоретико-игровая оптимизация структуры портфеля в условиях частичной определённости / А. В. Сигал // Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии ; Труды докладов 2-й междунар. науч. конф. 24 – 26 марта 2010, Кишинэу. – С. 181-187.
19. Сигал А.В. Теоретико-игровая оптимизация структуры портфеля в условиях неопределенности и риска / А.В. Сигал // Экономическая политика и фондовый рынок: модели и методы системного анализа. Труды ИСА РАН. – М. : Поли Принт Сервис, 2009. – Т. 47. – С. 126-136.
20. Harsanyi J. C. Games with Incomplete Information Played by ‘Bayesian’ Players. Parts I – III / J. C. Harsanyi // Management Science. – 1967-1968. – №. 14. – P. 159-182, 320-334, 486-502.
21. Aumann R. J. Repeated Game with Incomplete Information / R. J. Aumann, M. Maschler. – Cambridge: MIT Press, 1995. – 360 p.
22. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределенности / Р. И. Трухаев. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
23. Линь Сэнь Оптимизация уровня экономического риска на основе теоретико-игрового моделирования : дис. … канд. экон. наук : 08.00.11 / Линь Сэнь. – Симферополь, 2010. – 217 с.

Сігал А В. Теоретико-ігрова модель прийняття інвестиційних рішень / А. В. Сігал // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. – 2011. – Т. 24 (63). № 1. - С. 193-205.
У даній статті запропонована модель проектного аналізу, що заснована на сумісному застосуванні теорії ігор та нечіткої математики. Розглянуто особливості застосування цього методу в полі різних інформаційних ситуацій. Розглянуто конкретний числовий приклад.
Ключові слова: модель проектного аналізу; теорія ігор; нечітка математика; класична антагоністична гра; неокласична антагоністична гра; класифікація інформаційних ситуацій.

Sigal A. V. Game-theoretical model of investment decisions / A. V. Sigal // Scientific Notes of Taurida National V.I. Vernadsky University. – Series: Economy and Management. – 2011. - Vol. 24 (63), № 1. – P. 193-205.
The model of project analysis, based on the joint application of game theory and fuzzy mathematics, is offered in this article. The features of application of this method are considered in the field of different information situations. A concrete numerical example is considered.
Keywords: model of project analysis; game theory; fuzzy mathematics; classical antagonistic game; neoclassical antagonistic game; classification of information situations.

Статья поступила в редакцию 20. 12. 2010 г.