

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РЕГИОНА

Для цитирования: Буценко Е. В. Оптимизация управления инвестиционным проектированием на основе теоретико-игрового подхода // Экономика региона. — 2018. — Т. 14, вып. 1. — С. 270-280

doi 10.17059/2018-1-21

УДК 330.46

Е. В. Буценко

Уральский государственный экономический университет (Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: evl@usue.ru)

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОГО ПОДХОДА¹

Теоретико-игровой подход обладает обширным потенциалом в решении экономических задач. Но теория игр может быть обогащена исследованиями реальных проблем принятия решений. В связи с этим научной гипотезой работы является разработка и апробация теоретико-игровой методики оптимизации управления инвестиционным проектированием для решения его основных задач — прогнозирования результатов и управления рассматриваемыми процессами. Предложенная в работе методика позволяет реализовать выбор наилучшей стратегии развития предприятия. Данная методика использует модель «игры с природой», а в качестве критериев взяты критерий Вальда, критерий максимума и критерий Гурвица. В статье представлен новый формализованный алгоритм построения предложенной эконометрической методики оптимизации управления инвестиционным проектированием, основанный на применении методов теории матричных игр, а также блок-схема реализации данной методики. В алгоритме отражено формирование исходных данных, элементов платежной матрицы, а также определение максиминной, максимаксной, компромиссной и оптимальной стратегий управления. Методика продемонстрирована на примере предприятия пассажирских перевозок Свердловской железной дороги, г. Екатеринбург. В результате использования предложенной методики и соответствующего алгоритма получена оптимальная ценовая стратегия перевозки пассажиров для одного направления движения. Это способствует увеличению дохода предприятия с учетом минимального риска от запуска данного направления. Полученные результаты и выводы показывают эффективность использования разработанной методики для оптимизации управления инвестиционными процессами на предприятии. Результаты исследования могут быть положены в основу разработки соответствующего инструментального средства и использованы любым хозяйствующим субъектом, осуществляющим инвестиционную деятельность.

Ключевые слова: принятие решений, теория матричных игр, оптимизация управления, пассажирские перевозки, критерии оптимальности, выбор стратегии, инвестиционное проектирование, методика оптимизации, формализованный алгоритм, стратегии управления

Введение

Развитие современной теории оптимального управления экономическими системами и процессами и разработка на ее основе автоматизированных систем для поддержки принятия управленческих решений являются важными условиями функционирования экономики.

Теории игр, теории принятия решений и применению этих теорий в экономических исследованиях посвящено большое число литературных источников, среди которых можно выделить следующие: Р. Айзекс [1], Р. Ауманн [2], Д. Блекуэлл [3], Л. Шепли [4], А. Вальд [5], Л. Гурвиц и др.

Работы многих современных авторов посвящены решению разнообразных вопросов, связанных с оптимизацией процессов управления инвестиционным проектированием на пред-

¹ © Буценко Е. В. Текст. 2018.

приятии. Например, в работе Г.А. Угольницкого исследуются оптимизационные модели управления инвестиционно-строительными проектами, среди которых представлены модели бескоалиционного взаимодействия, модели кооперативного взаимодействия, модели управления устойчивым развитием инвестиционно-строительного комплекса [6]. В работе А.В. Сигала рассмотрена концепция моделирования процесса принятия экономических решений, основанная на комбинации статистических методов и методов теории антагонистических игр [7]. В исследовании В.И. Жуковского и соавторов обсуждается решение конфликтных вопросов при наличии неопределенных факторов в сложных управляемых системах [8]. В работе М. Шубика предложен обзор различных исследований в области теории игр, и представлены суждения о дальнейших направлениях развития аналитических методов [9].

В связи с этим дальнейшая разработка моделей и методов оптимизации управления инвестиционным проектированием является важным вопросом развития любой хозяйствующей системы.

Используемые методы

Теоретико-игровой подход основан на исследовании того, каким образом экономические субъекты, зависящие друг от друга, принимают свои решения, и позволяет моделировать взаимодействие между этими субъектами.

Выделим особенности теоретико-игрового подхода, позволяющие рассматривать проблему оптимального управления инвестиционным проектированием предприятия с позиции теории игр:

- теоретико-игровой анализ подразумевает построение математической модели, соответствующей конкретным условиям функционирования предприятия;

- наличие нескольких сторон, заинтересованных в деятельности предприятия или влияющих на нее;

- наличие различий в интересах и стратегиях сторон;

- неопределенность поведения сторон в связи с тем, что каждая из них имеет множество альтернативных стратегий. Целью теоретико-игрового анализа является определение предиктивных результатов стратегических кооперативных игр при наличии неполной информации о намерениях друг друга;

- взаимозависимость поведения сторон, так как результат, получаемый каждой из них, зависит от поведения других игроков;

- в состав игры входят игроки — лица, принимающие решения, их возможные стратегии, принимаемые решения (действия) и результаты, которые представляют собой ожидаемые доходы после выбора участниками той или иной стратегии;

- при проигрывании ситуации однократно, то есть при одновременном и однократном принятии решений ее участниками, игра является статической;

- в теории игр существуют игры, в которых реализуется некоторая последовательность принимаемых решений.

В данной работе предлагается использовать метод, реализованный с помощью модели «игры с природой», на основе которой формируется оптимальная стратегия развития предприятия. Под оптимальной стратегией развития предприятия понимается процесс формирования такого объема предоставляемых предприятием услуг, который будет реализован при наилучшем гарантированном значении соотношения доходность — риск.

Для оценки качества процесса развития предприятия выбирается ряд критериев, которые используются при выборе оптимальной стратегии реализации инвестиционного проектирования. Критерий Вальда (принцип гарантированного результата) позволяет использовать максиминную стратегию, является пессимистическим и предполагает наихудший способ функционирования природы для предприятия. Критерий максимума предприятия предусматривает реализацию принципа оптимизма, выбирается из условия максимакса и предполагает, что природа может действовать более благоприятным для функционирования предприятия способом. Критерий Гурвица предоставляет возможность выбрать некую среднюю позицию, предусматривающую вероятность как худшего, так и лучшего поведения природы.

Здесь необходимо важное уточнение: каждый из рассмотренных критериев не позволяет однозначно выбрать окончательное управленческое решение, но совместный анализ критериев способствует лучшему представлению последствий принятия решений и определению лучшей стратегии управления.

На основании методов теории матричных игр, теории оптимального управления, а также анализа и модификации эконометрических методов прогнозирования результатов инвестиционного проектирования, проведенных автором в работах [10, 11], предлагается эконометрическая методика построения модели для

оптимизации управления инвестиционным проектированием.

Методика оптимизации управления инвестиционным проектированием

Данную методику можно описать в виде реализации следующей последовательности действий.

1. На основе данных проведенного маркетингового исследования формируются допустимые стратегии управления C_i , $i \in \overline{1, q}$, где q — количество стратегий (сценариев) развития предприятия и его поведения на рынке в рассматриваемый период времени.

В качестве стратегии управления предприятием предлагается рассматривать совокупность целенаправленных мероприятий, характеризующихся определенной ценовой и сбытовой политикой, уровнем издержек, рекламным бюджетом и другими подконтрольными хозяйствующему субъекту факторами.

2. На основе данных проведенного маркетингового исследования формируются возможные состояния рыночной конъюнктуры в виде k массивов (вариантов, соответствующих различным условиям реализации процесса), состоящих из m прогнозных значений $X_i^{(j)} = (X_{1i}^{(j)}, X_{2i}^{(j)}, X_{3i}^{(j)}, X_{mi}^{(j)})$, $j \in \overline{1, k}$, независимых переменных (факторов) $X_{li}^{(j)}$, $l \in \overline{1, m}$ (например, оценивающих уровень инфляции, цены реализации продуктов предприятием, цены реализации продуктов конкурентами, емкость рынка, расходы на рекламу и др.), соответствующих возможной реализации стратегии управления C_i ($i \in \overline{1, q}$) развития предприятия и его поведения на рынке в рассматриваемый период времени.

Таким образом, в качестве состояний рыночной конъюнктуры рассматриваем различные сочетания внешних, не зависящих от предприятия факторов, то есть каждое значение $X_{li}^{(j)}$ ($l \in \overline{1, m}$; $i \in \overline{1, q}$; $j \in \overline{1, k}$) — это прогнозное значение l -го фактора состояния рыночной конъюнктуры (например, характеризующего определенный уровень инфляции, ценовую политику предприятия, ценовую политику конкурента, емкость рынка или другой рыночный параметр), соответствующее конкретной стратегии управления C_i и варианту прогноза j .

3. По результатам проведенных исследований рынка формируются данные, необходимые для формирования модели множественной регрессии в виде зависимости между значениями функции (прогнозными значениями дохода), соответствующими прогнозным зна-

чениям независимых переменных (факторов), и используем ее как прогнозную модель в виде:

$$Y_{ij} = A_i^{(j)} + a_{1i}^{(j)} \times X_{1i}^{(j)} + a_{2i}^{(j)} \times X_{2i}^{(j)} + a_{3i}^{(j)} \times X_{3i}^{(j)} + \dots + a_{mi}^{(j)} \times X_{mi}^{(j)}, \quad (1)$$

где Y_{ij} — прогнозный доход, соответствующий реализации стратегии управления (сценарию) C_i , ($i \in \overline{1, q}$) и массиву (варианту) прогнозных значений $X_i^{(j)} = (X_{1i}^{(j)}, X_{2i}^{(j)}, X_{3i}^{(j)}, X_{mi}^{(j)})$ ($j \in \overline{1, k}$), независимых переменных (факторов) $X_{li}^{(j)}$, $l \in \overline{1, m}$ (например, значения которых соответствуют уровню инфляции, себестоимости продукта (услуги), цене реализации продукта (услуги), цене реализации продукта (услуги) конкурентом, расходам на рекламу и т. д.); $A_i^{(j)}$ — константа соответствующего уравнения регрессии ($l \in \overline{1, m}$; $j \in \overline{1, k}$); $a_{li}^{(j)}$ — коэффициенты соответствующего уравнения регрессии ($l \in \overline{1, m}$; $i \in \overline{1, q}$; $j \in \overline{1, k}$).

Таким образом, в качестве допустимых состояний рыночной конъюнктуры рассматриваем различные возможные варианты реализации внешних, не зависящих от предприятия факторов, то есть в уравнении (1) каждое значение $X_{li}^{(j)}$ ($l \in \overline{1, m}$; $i \in \overline{1, q}$; $j \in \overline{1, k}$) — это прогнозное значение состояния рыночной конъюнктуры, характеризующее, например, определенный уровень инфляции, ценовую политику предприятия, ценовую политику конкурента, емкость рынка или другой не зависящих от хозяйствующего субъекта внешний фактор, соответствующее возможной реализации стратегии управления C_i ($i \in \overline{1, q}$) и варианту прогнозирования j .

4. Формируются прогнозные значения дохода для платежной матрицы (табл. 1).

Вычисление прогнозных значений дохода осуществляется на основании соотношения (1) путем варьирования значений независимых переменных, соответствующих содержанию множества предлагаемых стратегий управления $C = \{C_i\}$, $i \in \overline{1, q}$ и значениям возможных состояний рыночной конъюнктуры, описываемых соответствующими массивами независимых переменных $X_i^{(j)} = (X_{1i}^{(j)}, X_{2i}^{(j)}, X_{3i}^{(j)}, X_{mi}^{(j)})$, $j \in \overline{1, k}$; на основании вычислений по формуле (1) формируется платежная матрица прогнозных значений дохода $Y = \|Y_{ij}\|$, $i \in \overline{1, q}$, $j \in \overline{1, k}$, то есть заполняется значениями элементов таблица 1.

5. На основе данных платежной матрицы $Y = \|Y_{ij}\|$, $i \in \overline{1, q}$, $j \in \overline{1, k}$, определяемой значениями элементов таблицы 1, вычисляются максимумная оценка стратегий управления, определяющая гарантированное макси-

Таблица 1

Платежная матрица

Допустимые стратегии управления	№ массива факторов				
	1	2	3	...	K
C_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	...	Y_{1k}
C_2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	...	Y_{2k}
C_3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	...	Y_{3k}
...	
C_q	Y_{q1}	Y_{q2}	Y_{q3}	...	Y_{qk}

мальное значение (гарантированный результат) прогнозируемого дохода в наихудших условиях реализации рассматриваемого процесса: $W_* = \max_{i \in \overline{1,q}} \min_{j \in \overline{1,k}} Y_{ij}$, и соответствующая максиминная стратегия управления $C_{i_*^{(e)}} \in C$, которая удовлетворяет следующему условию максимина:

$$i_*^{(e)} \in \overline{1,q} : \min_{j \in \overline{1,k}} Y_{i_*^{(e)},j} = \max_{i \in \overline{1,q}} \min_{j \in \overline{1,k}} Y_{ij} = W_* \quad (2)$$

6. Данные платежной матрицы из сформированной таблицы 1 используются также для вычисления максимаксной оценки стратегий управления, определяющей самое возможное максимальное значение прогнозируемого дохода при реализации самой благоприятной ситуации (супероптимистический результат): $W^* = \max_{i \in \overline{1,q}} \max_{j \in \overline{1,k}} Y_{ij}$ и соответствующей максимаксной стратегии управления $C_{i^{(e)*}} \in C$, которая удовлетворяет следующему условию максимакса:

$$i^{(e)*} \in \overline{1,q} : \max_{j \in \overline{1,k}} Y_{i^{(e)*},j} = \max_{i \in \overline{1,q}} \max_{j \in \overline{1,k}} Y_{ij} = W^* \quad (3)$$

7. Для определения компромиссного решения между супероптимистической оценкой W^* и минимаксной оценкой W_* вычисляем значение критерия Гурвица $G_\beta^{(e)}$ по следующей формуле:

$$G_\beta^{(e)} = \max_{i \in \overline{1,q}} [\beta \times \min_{j \in \overline{1,m}} Y_{ij} + (1-\beta) \times \max_{j \in \overline{1,m}} Y_{ij}] \quad (4)$$

где β — фиксированный показатель пессимизма (оптимизма), определяемый экспертным путем на основе анализа конкурентных преимуществ хозяйствующего субъекта и такой, что $\beta \in [0; 1]$. Для определения данного показателя целесообразно использовать, например, матрицы Бостон консалтинг групп или МакКинзи [12–13].

8. На основании критерия Гурвица в виде (4) формируем оптимальную компромиссную стратегию управления $C_\beta^{(e)} = C_{i_\beta^{(e)}} \in C$ которая определяется индексом $i_\beta^{(e)} \in \overline{1,q}$, и удовлетворяет следующему условию оптимальности:

$$i_\beta^{(e)} \in \overline{1,q} :$$

$$\beta \times \min_{j \in \overline{1,k}} Y_{i_\beta^{(e)},j} + (1-\beta) \times \max_{j \in \overline{1,k}} Y_{i_\beta^{(e)},j} = \max_{i \in \overline{1,q}} [\beta \times \min_{j \in \overline{1,k}} Y_{ij} + (1-\beta) \times \max_{j \in \overline{1,k}} Y_{ij}] = G_\beta^{(e)} \quad (5)$$

9. Проведя оценку разных вариантов по указанным в методике критериям, выносим следующее заключение: при совпадении ответов с большей уверенностью можно выбрать лучшее решение, если рекомендации противоречат друг другу, конечное заключение нужно принимать с учетом его сильных и слабых сторон; допустим, выбирается та стратегия, которая оказалась лучшей, хотя бы для 2 критериев; если получены разные стратегии для всех 3 критериев, нужно модифицировать значения показателя пессимизма (оптимизма) в критерии Гурвица либо поменять данные, к примеру, в вероятных состояниях рыночной конъюнктуры.

С учетом изложенного автор предлагает формализованный алгоритм построения эконометрической методики для оптимизации управления инвестиционным проектированием, основанный на применении методов теории матричных игр.

Шаг 0. Формирование исходных данных.

Формируется массив допустимых стратегий управления $C = \{C_i\}$, $i \in \overline{1,q}$, где q — количество стратегий управления (сценариев) развития предприятия и его поведения на рынке в рассматриваемый период времени.

На основе данных проведенного маркетингового исследования формируются возможные состояния рыночной конъюнктуры в виде k массивов (вариантов, соответствующих различным условиям реализации процесса), состоящих из m прогнозных значений $X_i^{(j)} = (X_{1i}^{(j)}, X_{2i}^{(j)}, X_{3i}^{(j)}, X_{mi}^{(j)})$, $j \in \overline{1,k}$, независимых переменных (факторов) $X_{li}^{(j)}$, $l \in \overline{1,m}$, соответствующих возможной реализации стратегии управления C_i ($i \in \overline{1,q}$) развития предприятия и его поведения на рынке в рассматриваемый период времени.

Шаг 1. Формирование платежной матрицы.

На основе $(q \times k)$ массивов прогнозных значений выбранных факторов $X_i^{(j)} = (X_{1i}^{(j)}, X_{2i}^{(j)}, X_{3i}^{(j)}, X_{mi}^{(j)})$, $j \in \overline{1,k}$, соответствующих массиву допустимых стратегий управления $C = \{C_i\}$, $i \in \overline{1,q}$, по результатам применения множественной регрессии формируется платежная матрица прогнозных значений дохода $Y = \|Y_{ij}\|$, $i \in \overline{1,q}$, $j \in \overline{1,k}$ на конец рассматриваемого периода времени, то есть заполняется значениями элементов таблица 1, каждый из которых вычисляется по формуле (1), а именно:

$$Y_{ij} = A_i^{(j)} + a_{1i}^{(j)} \times X_{1i}^{(j)} + a_{2i}^{(j)} \times X_{2i}^{(j)} + a_{3i}^{(j)} \times X_{3i}^{(j)} + \dots + a_{mi}^{(j)} \times X_{mi}^{(j)}, \quad i \in \overline{1, q}, j \in \overline{1, k}.$$

Шаг 2. Формирование максиминной стратегии управления. На основе данных платежной матрицы $Y = \|Y_{ij}\|, i \in \overline{1, q}, j \in \overline{1, k}$ в соответствии с (2) вычисляются максиминная оценка стратегий управления $W_*^{(e)} = \max_{i \in \overline{1, q}} \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij} = \max_{i \in \overline{1, q}} W_*(C_i)$, где $W_*(C_i) = \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij}$, и соответствующая максиминная стратегия управления $C_{i_*}^{(e)} \in C$, которая удовлетворяет следующее условие максимина:

$$i_*^{(e)} \in \overline{1, q} : \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{i_*^{(e)}, j} = \max_{i \in \overline{1, q}} \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij} = \max_{i \in \overline{1, q}} W_*(C_i) = W_*(C_{i_*}^{(e)}) = W_*^{(e)}.$$

Шаг 3. Формирование максимаксной стратегии управления. На основе данных платежной матрицы $Y = \|Y_{ij}\|, i \in \overline{1, q}, j \in \overline{1, k}$, в соответствии с (3) вычисляются максимаксная оценка стратегий управления $W^{(e)*} = \max_{i \in \overline{1, q}} \max_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij} = \max_{i \in \overline{1, q}} W^*(C_i)$, где $W^*(C_i) = \max_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij}$ и соответствующая максимаксная стратегия управления $C_{i^{(e)*}} \in C$, которая удовлетворяет следующее условие максимакса:

$$i^{(e)*} \in \overline{1, q} : \max_{j \in \overline{1, k}} Y_{i^{(e)*}, j} = \max_{i \in \overline{1, q}} \max_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij} = \max_{i \in \overline{1, q}} W^*(C_i) = W^*(C_{i^{(e)*}}) = W^{(e)*}.$$

Шаг 4. Формирование компромиссной стратегии управления. Для фиксированного значения показателя пессимизма (оптимизма) $\beta \in [0; 1]$, в соответствии с (4) вычисляются значение критерия Гурвица $G_\beta^{(e)}$ по формуле:

$$G_\beta^{(e)} = \max_{i \in \overline{1, q}} [\beta \times \min_{j \in \overline{1, m}} Y_{ij} + (1 - \beta) \times \max_{j \in \overline{1, m}} Y_{ij}] = \max_{i \in \overline{1, q}} G_\beta(C_i),$$

где $G_\beta(C_i) = \beta \times \min_{j \in \overline{1, m}} Y_{ij} + (1 - \beta) \times \max_{j \in \overline{1, m}} Y_{ij}$, и оптимальная компромиссная стратегия $C_\beta^{(e)} = C_{i_\beta}^{(e)} \in C$, которая определяется индексом $i_\beta^{(e)} \in \overline{1, q}$ и удовлетворяет условие оптимальности:

$$i_\beta^{(e)} \in \overline{1, q} : \beta \times \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{i_\beta^{(e)}, j} + (1 - \beta) \times \max_{j \in \overline{1, k}} Y_{i_\beta^{(e)}, j} = \max_{i \in \overline{1, q}} [\beta \times \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij} + (1 - \beta) \times \max_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij}] = \max_{i \in \overline{1, q}} G_\beta(C_i) = G_\beta(C_{i_\beta}^{(e)}) = G_\beta^{(e)}.$$

Шаг 5. Формирование оптимальной стратегии управления. На основании сформированных пар, содержащих сформированные

из решения оптимизационных задач стратегии и соответствующие им прогнозные оценки $(C_{i_*}^{(e)}, W_*^{(e)})$; $(C_{i^{(e)*}}, W^{(e)*})$; $(C_\beta^{(e)}, G_\beta^{(e)})$, формируется оптимальная стратегия $C^{(e)} = C_{i^{(e)}} \in C$, которая определяется индексом $i^{(e)} \in \overline{1, q}$ из системы условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{если } W_*^{(e)} = W^{(e)*} = G_\beta^{(e)}, \\ \text{то } i^{(e)} = i_*^{(e)} \Rightarrow C^{(e)} = C_{i_*}^{(e)}; \\ \text{если } (W_*^{(e)} = G_\beta^{(e)}) \vee (W_*^{(e)} = W^{(e)*}) \vee \\ \vee (W^{(e)*} \neq G_\beta^{(e)}), \text{ то } i^{(e)} = i_*^{(e)} \Rightarrow C^{(e)} = C_{i_*}^{(e)}; \\ \text{если } (W_*^{(e)} = G_\beta^{(e)}) \vee (W_*^{(e)} \neq W^{(e)*}) \vee \\ \vee (W^{(e)*} = G_\beta^{(e)}), \text{ то } i^{(e)} = i_\beta^{(e)} \Rightarrow C^{(e)} = C_{i_\beta}^{(e)}; \\ \text{если } (W_*^{(e)} \neq G_\beta^{(e)}) \vee (W_*^{(e)} = W^{(e)*}) \vee \\ \vee (W^{(e)*} \neq G_\beta^{(e)}), \text{ то } i^{(e)} = i^{(e)*} \Rightarrow C^{(e)} = C_{i^{(e)*}}; \\ \text{если } W_*^{(e)} \neq W^{(e)*} \neq G_\beta^{(e)}, \\ \text{то } i^{(e)} = i_\beta^{(e)} \Rightarrow C^{(e)} = C_{i_\beta}^{(e)}. \end{array} \right.$$

Конец алгоритма.

Таким образом, представленная поэтапная формализация демонстрирует детализированную последовательность шагов для моделирования процесса принятия решения сообразно выбору лучшей стратегии управления инвестиционным проектированием и может быть осуществлена при поддержке разработки соответствующей компьютерной системы.

На основании представленной методики оптимизации результата управления для процесса инвестиционного проектирования и соответствующего формализованного алгоритма на рисунке показана блок-схема его реализации.

Результаты применения методики оптимизации управления инвестиционным проектированием

Рассмотрим реализацию методики оптимизации управления инвестиционным проектированием на основе информации, предоставленной ОАО «Свердловская пригородная компания», занимающейся пригородными пассажирскими перевозками в сотрудничестве со Свердловской железной дорогой — филиалом ОАО «РЖД». Одной из важнейших задач компании является совершенствование работы пригородного пассажирского комплекса, выведение его на качественно новый уровень. Для этого ОАО «СПК» планирует расширять спектр оказываемых услуг, развивать интермодальные перевозки, увязывая работу железнодорожного и автомобильного транспорта. Кроме

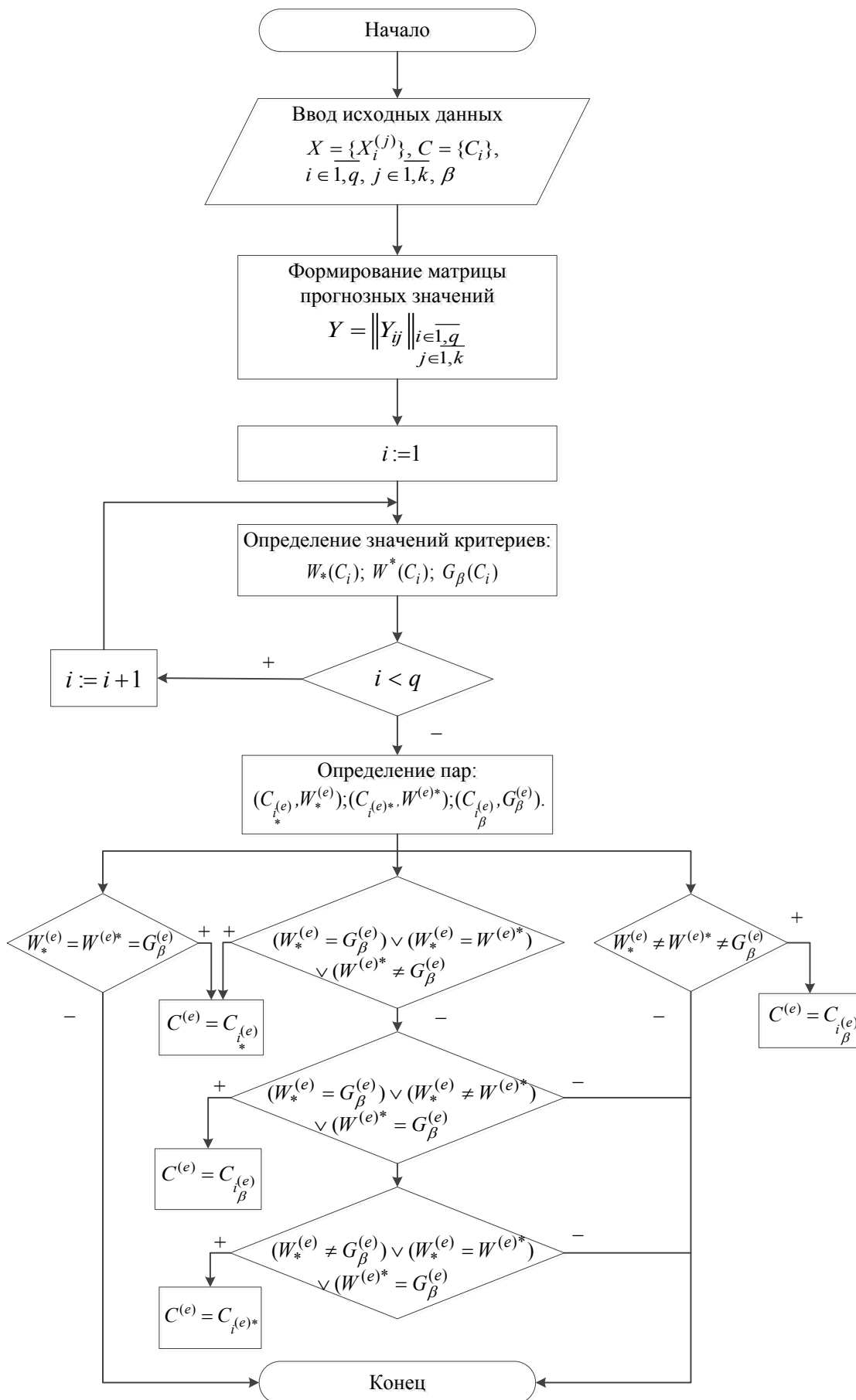


Рис. Блок-схема алгоритма выбора оптимальной стратегии управления инвестиционным проектированием

этого, компания проводит маркетинговые исследования для выявления наиболее востребованных направлений и маршрутов, что позволит оптимизировать использование подвижного состава с учетом спроса населения, повысит привлекательность пригородных перевозок, позволит поднять доходность данного вида бизнеса.

Таким образом, для данного предприятия важным является прогнозирование доходов от оказания услуг по обслуживанию пассажиров в пригородных поездах. Будем решать задачу выбора оптимальной ценовой стратегии по перевозке пассажиров для одного направления движения при следующих условиях.

Как показало маркетинговое исследование, проведенное маркетинговым отделом ОАО «СПК», определяющей характеристикой состояния рыночной конъюнктуры явился индекс потребительских цен. В качестве внешних факторов, определяющих состояния «природы», задаются разные величины показателя темпа инфляции — 108, 109, 110, 111, 112 % от начального уровня.

В качестве стратегий предприятия рассматриваются следующие:

A — цена проезда на 5 % выше, чем в данный момент;

B — цена проезда на 3 % выше, чем в данный момент;

C — цена проезда такая же, как в данный момент;

D — цена проезда на 1 % ниже, чем в данный момент.

Задача состоит в поиске лучшей ценовой стратегии компании с учетом указанных условий. В качестве критериев оптимизации рассматриваются минимизация риска и максимизация выручки (дохода).

Используя метод множественного регрессионного анализа, строим прогнозную модель значений дохода для построения платежной матрицы. Суть метода заключается в установлении функциональной зависимости между функцией (выручка (доход)) и факторами (объем пассажиропотока, цена проезда, себестоимость проезда, цена проезда на альтернативный транспорт).

Таблица 2

Исходная информация, собранная ОАО «СПК» за 24 месяца (за 2014–2015 гг.)*

Период	Месяц	Выручка/доход (руб.)	Объем пассажиропотока (чел.)	Цена проезда, руб.	Себестоимость, руб.	Цена на альтернатив. транспорт, руб.	Индекс потребительских цен, %
1	май	834556	296831	56	20	112	100
2	июнь	863925	309530	56	20	112	103,90
3	июль	852516	329912	56	20	112	107,40
4	август	844318	336574	56	20	112	111,60
5	сентябрь	802736	334985	58	22	120	115,70
6	октябрь	515627	210008	58	22	120	117,50
7	ноябрь	284629	96854	58	23	120	121,50
8	декабрь	187923	90176	62	23	120	126,50
9	январь	205186	97809	62	24	120	131,40
10	февраль	210560	98051	62	24	120	137,40
11	март	386285	99413	62	24	120	142,10
12	апрель	489790	216022	62	25	120	147,80
13	май	797931	310605	65	25	125	153,80
14	июнь	859654	321267	65	25	125	156,20
15	июль	863298	330218	65	25	125	162,20
16	август	839670	339613	65	25	125	169,20
17	сентябрь	790618	335062	65	25	125	174,30
18	октябрь	547142	218796	65	26	125	181,00
19	ноябрь	239180	101875	65	26	125	187,70
20	декабрь	141319	92747	65	26	130	195,60
21	январь	243405	96126	70	26	130	204,10
22	февраль	250148	99212	70	26	130	210,90
23	март	428759	99791	70	26	130	213,50
24	апрель	508952	219742	70	27	130	220,40

* Информация предоставлена ОАО «СПК» за 2014–2015 гг.

Исходная информация, собранная за 24 месяца, представлена в таблице 2.

При применении регрессионного анализа рассмотрены возможные статистически значимые модели. Из них с учетом *F*-критерия, в соответствии с коэффициентом детерминации, а также анализируя величину стандартного отклонения остатков и значимость факторов модели с помощью *t*-критерия, выбираем более значимую. Более полно представляет исходные данные модель, информация по которой приведена в таблице 3.

В соответствии с (1) запишем ее в виде следующей формулы:

$$Y = 198470,01 + 2,45 \times X_1 + 17634,55 \times X_2 - 26975,02 \times X_3 - 5028,78 \times X_4 - 147,75 \times X_5,$$

где *Y* — выручка (доход); *X*₁ — объем пассажиропотока; *X*₂ — цена проезда; *X*₃ — себестоимость; *X*₄ — цена проезда на альтернативном транспорте; *X*₅ — индекс потребительских цен.

Коэффициент корреляции построенной модели составляет 0,97, что говорит о хорошей степени аппроксимации дохода.

Затем, следуя вышеописанному алгоритму построения эконометрической методики для оптимизации управления инвестиционным проектированием, на основании сформированной в соответствии с (1) прогнозной модели строим платежную матрицу (табл. 4). В ней отражены прогнозные значения дохода на май следующего сезона при различных сочетаниях стратегий и состояний «природы».

Таким образом, максиминная оценка стратегий управления, определяющая гарантиро-

Таблица 3

Прогнозная регрессионная модель

Вывод итогов		
Регрессионная статистика		
Множественный <i>R</i>	0,978776939	
<i>R</i> ²	0,958004296	
Нормированный <i>R</i> ²	0,946338823	
Стандартная ошибка	63864,13896	
Наблюдения	24	
	Коэффициенты	<i>t</i> -статистика
<i>Y</i> -пересечение	198470,0114	0,2860026
Переменная <i>X</i> ₁	2,447729532	17,80224146
Переменная <i>X</i> ₂	17634,5476	1,51794973
Переменная <i>X</i> ₃	-26975,01949	-1,381387673
Переменная <i>X</i> ₄	-5028,785657	-0,621388278
Переменная <i>X</i> ₅	-147,7466525	-0,11555834

ванное максимальное значение прогнозируемого дохода в наихудших условиях реализации рассматриваемого процесса, формирует стратегию А, и соответствующее ей значение дохода равно 215 299,9 руб.

По данным этой же платежной матрицы вычисляем максимаксную оценку стратегий управления, определяющую самое возможное максимальное значение прогнозируемого дохода при реализации самой благоприятной ситуации. Соответствующей максимаксной стратегии управления является стратегия А, и ее значение дохода равно 223 273,9 руб. (табл. 5).

Для определения компромиссного решения между пессимистической оценкой по крите-

Таблица 4

Платежная матрица*

Ценовая стратегия	Состояния рыночной конъюнктуры					Минимум строки	Значение критерия <i>W</i> ^(е)
	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	<i>X</i> ₄	<i>X</i> ₅		
Стратегия А	215299,9	217293,4	219286,9	221280,4	223273,9	215299,9	215299,9
Стратегия В	214919	216909	218899	220888,9	222878,9	214919	
Стратегия С	214347,6	216332,3	218317	220301,7	222286,4	214347,6	
Стратегия D	214157,2	216140,1	218123	220106	222088,9	214157,2	

* Цена проезда в стратегиях и цена проезда в табл. 2 (*X*₂) — разные параметры модели. Цена проезда *X*₂ отражает цену в момент времени, на который она представлена, а цена проезда в стратегиях является предиктивной величиной, по которой предприятию необходимо принять решение.

Таблица 5

Платежная матрица и критерий максимакса

Ценовая стратегия	Состояние рыночной конъюнктуры					Максимум строки	Значение критерия <i>W</i> ^{(е)*}
	<i>X</i> ₁	<i>X</i> ₂	<i>X</i> ₃	<i>X</i> ₄	<i>X</i> ₅		
Стратегия А	215299,9	217293,4	219286,9	221280,4	223273,9	223273,9	223273,9
Стратегия В	214919	216909	218899	220888,9	222878,9	222878,9	
Стратегия С	214347,6	216332,3	218317	220301,7	222286,4	222286,4	
Стратегия D	214157,2	216140,1	218123	220106	222088,9	222088,9	

Таблица 6

Поиск компромиссного решения

Ценовая стратегия	Компромисс	Значение критерия Гурвица $G_{\beta}^{(e)}$
Стратегия А	217293,39	217293,39
Стратегия В	216908,96	
Стратегия С	216332,31	
Стратегия D	216140,09	

Примечание: значения критерия Гурвица рассчитаны для показателя пессимизма-оптимизма $\beta = 0,75$.

Таблица 7

Поиск компромиссного решения

Ценовая стратегия	Компромисс	Значение критерия Гурвица $G_{\beta}^{(e)}$
Стратегия А	221280,42	221280,42
Стратегия В	220888,94	
Стратегия С	220301,71	
Стратегия D	220105,96	

Примечание: значения критерия Гурвица рассчитаны для показателя пессимизма-оптимизма $\beta = 0,25$.

Таблица 8

Поиск компромиссного решения

Ценовая стратегия	Компромисс	Значение критерия Гурвица $G_{\beta}^{(e)}$
Стратегия А	219286,9113	219286,91
Стратегия В	218898,9512	
Стратегия С	218317,011	
Стратегия D	218123,031	

Примечание: значения критерия Гурвица рассчитаны для показателя пессимизма-оптимизма $\beta = 0,5$.

рию минимакса W_* и оптимистической оценкой по критерию максимакса W^* вычисляем значение критерия Гурвица $G_{\beta}^{(e)}$ для каждой стратегии (табл. 6).

На основании данной таблицы выбирается стратегия, значение компромиссного решения для которой является максимальным. В данном случае — это стратегия А и соответствующее ей значение критерия Гурвица — 217 293,39 руб.

Для сравнения проведем расчеты с показателем пессимизма (оптимизма) $\beta = 0,25$ и $\beta = 0,5$ (табл. 7 и 8).

В результате расчетов при данном показателе пессимизма (оптимизма) компромиссным решением является стратегия А и соответствующее ей значение критерия Гурвица — 221 280,42 руб.

В результате расчетов при данном показателе пессимизма (оптимизма) компромиссным решением является стратегия А и соответствующее ей значение критерия Гурвица — 219 286,91 руб.

Таким образом, при использовании рассматриваемых критериев (критерий максимина формирует стратегию А, критерий максимакса — стратегию А, критерий Гурвица — стратегию А) и в связи с совпадением их рекомендаций предприятию целесообразно применять стратегию А, которая заключается в увеличении цены проезда на 5 % и обеспечивает для предприятия оптимальное значение дохода.

Заключение

В представленной работе рассмотрены особенности использования теоретико-игрового подхода к оптимизации управления инвестиционным проектированием предприятия, применение экономико-математических моделей для принятия управленческих решений в условиях неопределенности, предложена методика оптимального выбора стратегии управления инвестиционным проектированием, позволяющая определить оптимальные цены на перевозку пассажиров.

Данная методика может быть положена в основу разработки современного инструментария системы оптимизации управления инвестиционным проектированием, способной генерировать выработку решений.

Также предложен формализованный алгоритм построения эконометрической методики для оптимизации управления инвестиционным проектированием, основанный на применении методов теории матричных игр. Продемонстрировано практическое применение методики оптимизации управления инвестиционным проектированием.

Кроме описанной выше технологии, рекомендуется при реализации модели, основанной на теории матричных игр и методов оптимального управления, использовать для формирования элементов платежной матрицы не только регрессионный анализ, но и другие прогностические методы, например, методики нейросетевого прогнозирования [14–15].

Отметим возможные направления развития экономико-математической модели для принятия управленческих решений процесса инвестиционного проектирования в ситуациях неопределенности. Можно предположить, что метод расчета вектора Шепли, основанный на определении элементов через математическое ожидание выигрыша, позволит находить оптимальные решения и для некоторых задач инвестиционного характера. Однако его применимость к управлению инвестиционным проектированием требует дополнительного изучения.

В предлагаемом подходе к решению задачи оптимизации управления инвестиционным проектированием могут иметь место недоучет или искажение некоторых особенностей внешней среды предприятия вследствие неантагонистического характера взаимодействия сторон. Поэтому дальнейшим развитием модели представляется включение в нее противодействия сторон в рамках концепции комбинированных игр путем описания взаимодействия нескольких ключевых игроков, оказыва-

ющих разнонаправленное влияние на других субъектов.

Разработка информационных систем поддержки принятия управленческих решений и автоматизации процессов оптимизации управления инвестиционным проектированием способствует формированию и выработке эффективных управленческих решений, что, в свою очередь, влечет повышение конкурентоспособности предприятия.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-01-00315).

Список источников

1. *Isaacs R. Ph.* Differential Games: A Mathematical Theory with Applications to Warfare and Pursuit, Control and Optimization. — New York : John Wiley and Sons Inc., 1965. — 408 p.
2. *Aumann R. J.* Mixed and Behavior Strategies in Infinite Extensive Games // *Advances in Game Theory*. — 1964. — Vol. 52. — Pp. 627–650.
3. *Blackwell D.* Instructor's Commentary for Basic Statistics. — New York : McGraw-Hill Book Company, 1969. — 26 p.
4. *Shapley L. S.* The Shapley value. — New York : Cambridge university press, 1988. — 338 p.
5. *Wald A.* Sequential Analysis. — New York: John Wiley & Sons Inc., 1947. — 212 p.
6. *Угольницкий Г. А.* Оптимизационные и теоретико-игровые модели управления инвестиционно-строительными проектами // *Управление большими системами*. — 2009. — № 26 (1). — С. 348–365.
7. *Сигал А. В.* Теория игр для принятия решений в экономике. — Симферополь : Изд-во Диайпи, 2014. — 308 с.
8. *Жуковский В. И., Кудрявцев К. Н., Смирнова Л. В.* Гарантированные решения конфликтов и их приложения. — М. : Изд-во Красанд, 2013. — 368 с.
9. *Шубик М.* Настоящее и будущее теории игр // *Математическая теория игр и ее приложения*. — 2012. — Т. 4. — Вып. 1. — С. 93–116.
10. *Буценко Е. В.* Практика применения сетевого экономико-математического моделирования процесса инвестиционного проектирования // *Вестник Томского государственного университета*. — 2016. — № 1 (33). — С. 147–158. — (Экономика).
11. *Буценко Е. В.* Совершенствование модели инвестиционного проектирования на основе сетевого моделирования // *Управленец*. — 2015. — № 1 (53). — С. 38–42.
12. *Хендерсен Б. Д.* Продуктовый портфель // *Бостонская консалтинговая группа BCG Review*. Дайджест. — М. : Бостонская консалтинговая группа, 2008. — Вып. 02. — С. 7–8.
13. *Расиел И. М.* Метод McKinsey. Использование техник ведущих стратегических консультантов для решения личных и деловых задач. — М. : Изд-во Альпина Паблишер, 2014. — 192 с.
14. *Егорова Н. Е., Торжевский К. А.* Методы и результаты прогнозирования российского фондового рынка // *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. — 2014. — № 39. — С. 2–11.
15. *Подвальный Е. С., Маслобойщиков Е. В.* Особенности использования нейросетевого прогнозирования финансовых временных рядов // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. — 2011. — Т. 10. — № 7. — С. 25–29.

Информация об авторе

Буценко Елена Владимировна — кандидат экономических наук, доцент, Уральский государственный экономический университет; ORCID: 0000-0003-2747-5391, Researcher ID: H-4042-2015; Scopus Author ID: 57196061640 (Российская Федерация, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62, 460; e-mail: evl@usue.ru).

For citation: Butsenko, E. V. (2018). Optimization of Investment Planning Based on Game-Theoretic Approach. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 14(1), 270–280

E. V. Butsenko

Ural State University of Economics (Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: evl@usue.ru)

Optimization of Investment Planning Based on Game-Theoretic Approach

The game-theoretic approach has a vast potential in solving economic problems. On the other hand, the theory of games itself can be enriched by the studies of real problems of decision-making. Hence, this study is aimed at developing and testing the game-theoretic technique to optimize the management of investment planning. This technique enables to forecast the results

and manage the processes of investment planning. The proposed method of optimizing the management of investment planning allows to choose the best development strategy of an enterprise. This technique uses the “game with nature” model, and the Wald criterion, the maximum criterion and the Hurwitz criterion as criteria. The article presents a new algorithm for constructing the proposed econometric method to optimize investment project management. This algorithm combines the methods of matrix games. Furthermore, I show the implementation of this technique in a block diagram. The algorithm includes the formation of initial data, the elements of the payment matrix, as well as the definition of maximin, maximal, compromise and optimal management strategies. The methodology is tested on the example of the passenger transportation enterprise of the Sverdlovsk Railway in Ekaterinburg. The application of the proposed methodology and the corresponding algorithm allowed to obtain an optimal price strategy for transporting passengers for one direction of traffic. This price strategy contributes to an increase in the company's income with minimal risk from the launch of this direction. The obtained results and conclusions show the effectiveness of using the developed methodology for optimizing the management of investment processes in the enterprise. The results of the research can be used as a basis for the development of an appropriate tool and applied by any economic entity in its investment activities.

Keywords: decision-making, the theory of matrix games, control optimization, passenger transportation, optimality criteria, the choice of strategy, investment projecting, optimization technique, formalized algorithm, control strategies

Acknowledgments

The research has been supported by the Russian Foundation for Basic Research (Project № 17-01-00315).

References

1. Isaacs, R. Ph. (1965). *Differential Games: A Mathematical Theory with Applications to Warfare and PursiLit, Control and Optimizaton*. New York: John Wiley and Sons Inc., 408.
2. Aumann, R. J. (1964). Mixed and Behavior Strategies in Infinite Extensive Games. *Advances in Game Theory*, 52, 627–650.
3. Blackwell, D. (1969). *Instructor's Commentary for Basic Statistics*. New York : McGraw-Hill Book Company, 26.
4. Shapley, L. S. (1988). *The Shapley value*. New York : Cambridge university press, 338.
5. Wald, A. (1947). *Sequential Analysis*. New York: John Wiley & Sons Inc., 212.
6. Ugolnitskiy, G. A. (2009). Optimizatsionnyye i teoretiko-igrovyye modeli upravleniya investitsionno-stroitelnyimi proektami [Optimization and game theoretic models in real estate development]. *Upravlenie bolshimi sistemami [Large-Scale Systems Control]*, 26(1), 348–365. (In Russ.)
7. Sigal, A. V. (2014). *Teoriya igr dlya prinyatiya resheniy v ekonomike [Game theory for decision-making in the economy]*. Simferopol: Diaypi Publ., 308. (In Russ.)
8. Zhukovskiy, V. I, Kudryavtsev, K. N. & Smirnova, L. V. (2013). *Garantirovannyye resheniya konfliktov i ikh prilozheniya [Guaranteed solutions of conflicts and their applications]*. Moscow: Krasand Publ., 2013. — 368 s. (In Russ.)
9. Shubik, M. (2012). Nastoyashcheye i budushcheye teorii igr [The present and future of game theory]. *Matematicheskaya teoriya igr i ee prilozheniya [Mathematical Game Theory and Its Applications]*, 4(1), 93–116. (In Russ.)
10. Butsenko, E. V. (2016). Praktika primeneniya setevogo ekonomiko-matematicheskogo modelirovaniya protsessa investitsionnogo proektirovaniya [The practice of using a network of economic and mathematical modeling of the process of investment planning]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal]*, 1(33), 147–158. (Series: Economics). (In Russ.)
11. Butsenko, E. V. (2015). Sovershenstvovanie modeli investitsionnogo proektirovaniya na osnove setevogo modelirovaniya [Improving the Model of Investment Planning on the Basis of Network Modelling]. *Upravlenets [The Manager]*, 1(53), 38–42. (In Russ.)
12. Henderson, B. D. (2008). Produktovyy portfel [Product portfolio]. *Bostonskaya konsaltingovaya gruppa BCG Review. Daydzhest [The Boston Consulting Group. BCG Review. Digest]*. Moscow: The Boston Consulting Group, 02, 7–8. (In Russ.)
13. Rasiel, E. M. (2014). *Metod McKinsey. Ispolzovanie tekhnicheskikh strategicheskikh konsultantov dlya resheniya lichnykh i delovykh zadach [The McKinsey Way: Using the Techniques of the World's Top Strategic Consultants to Help You and Your Business]*. Moscow: Alpina Publisher, 192. (In Russ.)
14. Egorova, N. E. & Torzhevskiy, K. A. (2014). Metody i rezultaty prognozirovaniya rossiyskogo fondovogo rynka [Methods and results of the Russian stock market forecasting]. *Finansovaya analitika: problemy i resheniya [Financial Analytics: Science and Experience]*, 39, 2–11. (In Russ.)
15. Podvalnyy, E. S. & Masloboyshchikov, E. V. (2011). Osobennosti ispolzovaniya neyrosetevogo prognozirovaniya finansovykh vremennykh ryadov [Features of neural network prediction of financial time series]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Voronezh State Technical University]*, 7(10), 25–29. (In Russ.)

Authors

Elena Vladimirovna Butsenko — PhD in Economics, Associate Professor, Ural State University of Economics; ORCID: 0000-0003-2747-5391, Researcher ID: H-4042-2015; Scopus Author ID: 57196061640 (62, 8 Marta St., Ekaterinburg, 620144, Russian Federation; e-mail: evl@usue.ru).