

Научная статья**УДК 330.43:519.83****DOI: 10.25683/VOLBI.2023.63.614****Dmitry Grigoryevich Rodionov**

Doctor of Economics, Professor,
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University,
Institute of Industrial Management, Economics and Trade,
Graduate School of Industrial Economics
Saint Petersburg, Russian Federation
drodionov@spbstu.ru

Andrey Aleksandrovich Zaytsev

Doctor of Economics, Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University,
Institute of Industrial Management, Economics and Trade,
Graduate School of Industrial Economics
Saint Petersburg, Russian Federation
andrey_z7@mail.ru

Nikolay Dmitrievich Dmitriev

Assistant,
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University,
Institute of Industrial Management, Economics and Trade,
Graduate School of Industrial Economics
Saint Petersburg, Russian Federation
dmitriev_nd@spbstu.ru

Natalia Gennadyevna Victorova

Doctor of Economics, Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg
Polytechnic University,
Institute of Industrial Management, Economics and Trade,
Graduate School of Industrial Economics
Saint Petersburg, Russian Federation
viktorova_ng@spbstu.ru

Дмитрий Григорьевич Родионов

д-р экон. наук, профессор,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли,
Высшая инженерно-экономическая школа
Санкт-Петербург, Российская Федерация
drodionov@spbstu.ru

Андрей Александрович Зайцев

д-р экон. наук, доцент,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли,
Высшая инженерно-экономическая школа
Санкт-Петербург, Российская Федерация
andrey_z7@mail.ru

Николай Дмитриевич Дмитриев

ассистент,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли,
Высшая инженерно-экономическая школа
Санкт-Петербург, Российская Федерация
dmitriev_nd@spbstu.ru

Наталья Геннадьевна Викторова

д-р экон. наук, доцент,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого,
Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли,
Высшая инженерно-экономическая школа
Санкт-Петербург, Российская Федерация
viktorova_ng@spbstu.ru

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВОЙ МЕТОД РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СУБЪЕКТОВ

5.2.2 — Математические, статистические и инструментальные методы экономики

Аннотация. *Непрерывное развитие научного знания позволяет использовать математический аппарат для поиска оптимальных стратегий поведения в экономической реальности, в том числе и в инвестиционной сфере. Математический аппарат решает множество экономических задач через построение количественных и качественных моделей. До сих пор не существует единого универсального метода, позволяющего рационализировать вопросы инвестиционного поведения экономических субъектов. Теоретико-игровые критерии предоставляют возможность снизить потенциальный риск при максимизации доходности от каждого решения при ограниченности информации. Практическое использование теоретико-игрового метода в инвестиционных вопросах позволяет строить матричные игры, в которых будут представлены оптимальные варианты принятия конкретного инвестиционного решения. Данная статья посвящена проработке теоретико-игрового метода в контексте рационализации инвестиционной политики экономических*

субъектов при наличии альтернативных решений. Предлагается разработать алгоритм действий экономического субъекта при наличии альтернатив, что будет способствовать формированию стратегий его поведения в условиях неопределенности. Выбранная с помощью теоретико-игровых критериев стратегия поведения экономического субъекта будет способствовать рационализации инвестиционной политики, предлагая определенные альтернативы для ведения инвестиционной деятельности. На основе анализа аспектов теории игр был сформирован авторский алгоритм рационализации инвестиционной политики. Предложенный подход даст возможность сократить уровень риска при сохранении оптимальной доходности.

Значимость полученного алгоритма заключается в повышении положительного эффекта от принятия управленческих решений по вопросам инвестирования. В дальнейшем видится возможность модернизации теоретико-игрового метода в целях построения стратегии

поведения в инвестиционной сфере путем проведения корреляционно-регрессионного анализа. Благодаря такому анализу можно выявить факторы, оказывающие значительное влияние на переменные матрицы игры, и предложить альтернативные стратегии.

Финансирование: работа выполнена в рамках реализации проекта «Разработка методологии формирования инструментальной базы анализа и моделирования пространственного социально-экономического развития систем в условиях цифровизации с опорой на внутренние резервы» (FSEG-2023-0008).

Для цитирования: Родионов Д. Г., Зайцев А. А., Дмитриев Н. Д., Викторова Н. Г. Теоретико-игровой метод рационализации инвестиционной политики экономических субъектов // Бизнес. Образование. Право. 2023. № 2(63). С. 109—117. DOI: 10.25683/VOLBI.2023.63.614.

Original article

GAME-THEORETIC RATIONALIZATION METHOD OF ECONOMIC ENTITIES' INVESTMENT POLICY

5.2.2 — Mathematical, statistical and instrumental methods of economic

Abstract. *The continuous development of scientific knowledge makes it possible to use the mathematical apparatus to search for optimal behavior strategies in economic reality, including in the investment sphere. The mathematical apparatus solves many economic problems through the construction of quantitative and qualitative models. There is still no single universal method that allows rationalizing the issues of investment behavior of economic entities. Game-theoretic criteria provide an opportunity to reduce the potential risk while maximizing the profitability of each solution with limited information. The practical use of the game-theoretic method in investment matters allows you to build matrix games in which optimal options for making a specific investment decision will be presented. This article is devoted to the study of the game-theoretic method in the context of the rationalization of the investment policy of economic entities in the presence of alternative solutions. It is proposed to develop an algorithm for the actions of an economic entity in the presence of alternatives, which will contribute to the formation of strategies for its behavior in conditions of uncertainty. The economic*

Ключевые слова: теория игр, инвестиции, экономический субъект, инвестиционная стратегия, инвестиционный портфель, инвестиционное поведение, теоретико-игровые критерии, математическое моделирование, инвестиционная деятельность, стратегия инвестирования

entity's behavior strategy chosen with the help of game-theoretic criteria will contribute to the rationalization of investment policy, offering certain alternatives for conducting investment activities. Based on the analysis of aspects of game theory, an algorithm for rationalizing investment policy was formed. The proposed approach will make it possible to reduce the level of risk while maintaining optimal profitability.

The significance of the obtained algorithm is to increase the positive effect of making managerial decisions on investment issues. In the future, we see the possibility of modernizing the game-theoretic method in order to build a strategy of behavior in the investment sphere by conducting a correlation-regression analysis. Thanks to this analysis, it is possible to identify factors that have a significant impact on the variables of the game matrix and suggest alternative strategies.

Keywords: *game theory, investment, economic entity, investment strategy, investment portfolio, investment behavior, game-theoretic criteria, mathematical modeling, investment activity, investment strategy*

Funding: the work was carried out within the framework of the project “Development of methodology for the formation of tool base for analysis and modeling of spatial socio-economic growth of systems under conditions of digitalization, with reliance on internal reserves” (FSEG-2023-0008).

For citation: Rodionov D. G., Zaytsev A. A., Dmitriev N. D., Victorova N. G. Game-theoretic rationalization method of economic entities' investment policy. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law.* 2023;2(63):109—117. DOI: 10.25683/VOLBI.2023.63.614.

Введение

Актуальность. Научное знание не стоит на месте и предоставляет целый спектр возможностей для развития экономической науки и управления экономическими отношениями. В частности, появляется возможность использовать математический аппарат для поиска оптимальных способов принятия эффективных решений в экономической реальности. Проблема принятия решений в условиях постоянной изменчивости внешнего окружения остается актуальной и затрагивает общественные и экономические отношения. В результате образуется множество ситуаций, когда решения одних субъектов оказывают прямое или косвенное влияние на принятие решений другими субъектами [1; 2]. Для удовлетворения интересов всех участников экономических отношений допустимо вырабатывать алгоритм принятия решений в условиях неопределенности на математической основе.

В контексте обеспечения высокого уровня эффективности хозяйственной деятельности предпринимательские

структуры вынуждены трансформировать свои организационные модели и закладывать в них стратегии достижения целевых установок бизнеса с учетом конфликтности ситуационных решений. Поведение участников экономических процессов не позволяет содействовать устойчивому развитию без грамотного принятия решений в рамках соответствующих стратегий [3]. Конфликтность внешней среды подразумевает сложность выстраивания таких стратегий без учета взаимозависимых процессов, которые не могут быть статичными и находятся в постоянной динамике, непрерывно развиваются и сменяют свои ориентиры.

Изученность проблемы. Использование математического анализа и моделирования стало одной из основных форм экономического исследования. Несмотря на то, что математическая и экономическая науки имеют свои объекты и предметы исследования, их синергическое взаимодействие позволяет решить множество проблем, возникающих при принятии управленческих решений в условиях непостоянства внешней

среды. В данном случае математический аппарат решает множество экономических задач через построение качественных и количественных моделей на основе доступной к анализу информации [4]. Если обратиться к вопросам инвестиционного анализа в производственно-хозяйственной деятельности, то в практике не существует единого универсального метода, позволяющего рационализировать инвестиционное поведение экономических субъектов. Не исключается использование и теоретико-игровых критериев.

Если обратиться к теории игр, то ажиотаж вокруг нее исчерпал себя. Данные условия связаны не с тем, что предмет теории игр сдал исходный «плацдарм», а с обстоятельством, что его влияние распространилось на всю экономическую науку и превратило теорию игр в стандартный экономический инструмент [5]. Теоретико-игровые критерии выступают тем экономическим инструментом, который позволяет смоделировать управленческие решения в условиях конфликтности и конкурентной борьбы между противоборствующими сторонами. Данным решениям свойственна ограниченность информационных потоков и наличие весомых рисков последствий от их принятия. Построение моделей способствует определению оптимальных стратегий поведения, в том числе и инвестиционной, в которых будут учтены негативные условия внешней среды и представлены пути сокращения уровня риска [6].

Критерии теории игр позволяют снизить потенциальный риск при максимизации доходности от конкретного управленческого решения в условиях неопределенности. Научные исследования предлагают различные критерии теории игр для поиска оптимальных решений. В частности, к таким критериям относятся критерии Лапласа, Вальда, Саваджа, Гурвица, Байеса — Лапласа. Перечисленные критерии не являются исчерпывающими, допустимо использовать большее количество критериев и проводить их модификацию под конкретные ситуационные условия. Перечисленные критерии позволяют сформировать стратегии поведения по инвестиционным вопросам и рационализировать инвестиционную политику экономических субъектов. Однако для нахождения оптимальных стратегий следует учитывать наличие доступных альтернатив в системе прогнозирования предпринимательской деятельности [1; 7; 8].

Цель исследования заключается в проработке теоретико-игрового метода в контексте рационализации инвестиционной политики экономических субъектов при наличии альтернативных решений. Для достижения цели поставлена **задача** разработать алгоритм действий экономического субъекта при наличии альтернатив, что позволит сформировать стратегию его поведения в условиях неопределенности. С точки зрения авторов исследования, адаптация теоретико-игровых критериев к инвестиционному анализу позволит разработать оптимальные стратегии принятия управленческих решений в инвестиционной политике.

Целесообразность разработки темы. Использование теоретико-игрового метода позволяет сформировать математические модели конфликтных ситуаций для проработки различных вариаций альтернативных решений и прогнозирования ситуаций. В таком контексте математическое описание постановки задач в области принятия решений и обоснование подходов к их практическому анализу помогают рассмотреть ситуацию с критической стороны, что в дальнейшем позволит более обоснованно и последовательно реализовать выбранную стратегию поведения [9; 10]. В инвестиционном контексте выбранная с помощью теоре-

тико-игровых критериев стратегия поведения экономического субъекта будет способствовать рационализации инвестиционной политики, предлагая определенные условия для ведения инвестиционной деятельности и корректировки инвестиционных решений.

Объектом статьи выступает инвестиционная политика экономического субъекта, в которой определяются инвестиционные решения и стратегии инвестиционного поведения, направленные на максимизацию доходности при минимизации риск-условий. **Предмет** статьи заключается в экономико-управленческих отношениях, которые возникают при реализации инвестиционной деятельности экономическими субъектами и могут сказываться на принятии решений ответственными лицами.

Научная новизна исследования состоит в развитии инструментальных подходов к рационализации инвестиционной политики экономических субъектов на основе выработки оптимальных стратегий принятия управленческих решений в условиях наличия множества альтернативных решений.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании применения метода теории игр к инвестиционному анализу при формировании инвестиционной политики экономическими субъектами. **Практическая значимость** состоит в разработке алгоритма рационализации инвестиционной политики, базирующегося на теории игр.

Основная часть

В экономической реальности невозможно обеспечивать поступающее развитие систем без учета множества вариантов построения оптимальных стратегий принятия управленческих решений. Инвестиционная политика экономических субъектов адаптируется к окружающей среде, обуславливая необходимость в формировании качественных моделей отбора решений инвестиционного характера, например, на основе анализа информации их доходности и риска. Конфликтные ситуации являются результатом несовпадения интересов между разными игроками в связи с разнонаправленным характером целей экономических субъектов. Зачастую целевые установки игроков до конца неопределенны, что порождает классическую игровую ситуацию, которая называется «игра с природой». Суть «игры с природой» заключается в том, что у одного из участников отсутствуют целевые установки, а у другого имеется четкая стратегия целенаправленных действий.

Рассматривая особенности «игры с природой», необходимо отметить сознательное действие лишь одного участника – экономического субъекта (Игрок 1). Вторая сила выражена объективной реальностью, действует стихийно без каких-либо целей и может нанести урон экономическому субъекту – «стихийные силы» рынка (Игрок 2). Построение моделей поведения игроков позволяет оценить эффективность доступных к реализации альтернатив, проанализировать достаточность ресурсов для выполнения действий и выработать стратегии принятия решений с оптимальным соотношением «риск/доходности». Данные условия находятся в сильной зависимости от рыночной конъюнктуры, так что они могут быть как благоприятными, так и негативными для достижения целевых установок. Теория игр позволяет рассмотреть действия Игрока 2 как наихудший сценарий развития событий для Игрока 1, так как они характеризуют максимальный уровень риска [11; 12].

Таким образом, метод теории игр позволяет построить тематические модели принятия оптимальных решений в условиях разнонаправленных и конфликтных ситуаций, носящих

характер конкурентной борьбы, в которых одна противоборствующая сторона выигрывает за счет поражения другой стороны. Наряду с такой ситуацией, принятие решений связано с риск-условиями и состоянием неопределенности, которые имеют различные модели и требуют определения критериев выбора оптимальных решений [6; 12; 13]. Возникновение

конфликтной ситуации на практике связано с различием целевых установок и несовпадением интересов между сторонами либо наличием многосторонних целей у одного и того же игрока [14; 15]. В научной среде были разработаны различные критерии теории игр для поиска оптимальных решений в условиях неопределенности (табл. 1) [12; 16; 17].

Таблица 1

Теоретико-игровые критерии для поиска оптимальных решений

№	Название	Применение
1	Критерий Лапласа	Одинаковая вероятность наступления всех доступных к реализации вариантов. Необходимо рассчитать средний выигрыш для каждой альтернативы и выбрать наиболее эффективную из них
2	Максиминный критерий Вальда	Предполагается реализация наихудшего сценария из всех возможных, так как вероятность наступления событий просчитать невозможно вследствие отсутствия объективной информации
3	Критерий Саваджа	Схож с критерием Вальда и предполагает наступление крайнего пессимизма, однако в данном случае сокращается максимальная потеря, то есть используется матрица рисков. Согласно данному критерию, необходимо выбрать решение с максимальной прибылью и минимальным убытком при принятии решения
4	Критерий Гурвица	Оптимальное решение требуется искать с учетом возможности наступления различных событий как благоприятного, так и неблагоприятного характера. Для этого требуется указать «коэффициент пессимизма» в диапазоне между «0» и «1» на основе шанса наступления неблагоприятных условий внешней среды. Чем выше шанс наступления неблагоприятной ситуации, тем ближе к «1» коэффициент пессимизма
5	Критерий Байеса — Лапласа	Предполагается, что возможным состояниям природы можно приписать определенную вероятность наступления событий и, определив математическое ожидание выигрыша для каждого решения, выбрать то, которое обеспечивает наибольший выигрыш

Практическое использование теоретико-игрового метода в инвестиционных вопросах позволяет строить матричные игры, в которых будут представлены оптимальные варианты принятия инвестиционных решений. Как было отмечено ранее, допускается использование большего количества критериев и их модификация, учитывая конкретную ситуацию. Каждый критерий позволяет рационализировать инвестиционную политику, однако для нахождения оптимальной стратегии требуется учитывать доступные альтернативы [9; 18]. Использование теоретико-игрового метода позволит оптимизировать инвестиционные решения, учитывая доходность тех или иных предложений от различных инвестиционных стратегий субъектов за конкретный период времени. Использование эконометрического инструментария в моделях теории игр позволит выстроить цепочки зависимостей инвестиций от факторных состояний и заложить их через заданные коэффициенты в матрице теории игр. В частности, допустимо использовать аппарат корреляционно-регрессионного анализа [11; 19; 20].

В рамках статьи предлагается применить теорию игр к инвестиционному анализу для рационализации инвестиционной политики экономических субъектов на основе выстраивания моделей принятия решений по инвестиционным вопросам для достижения максимальной эффективности экономических субъектов. В таких условиях следует учитывать, что любой субъект реализует инвестиционную политику согласно собственным интересам (целевым установкам) и допустимому уровню риска, что влияет на выбор активов для инвестирования. В экономической науке имеется множество альтернативных вариантов построения инвестиционных стратегий в условиях неопределенности. Для максимизации эффективности инвестиционного анализа следует провести максимально полный анализ факторов, которые могут оказать прямое или косвенное влияние на достижение целевых установок. В рамках инвестиционного планирования имеется возможность осуществлять действенный контроль за инвестиционными процессами, оценивать их результативность и производить корректировку,

что также возможно заложить в основу теоретико-игрового подхода. Теоретико-игровой метод позволяет произвести оптимизацию инвестиционной политики экономического субъекта на основе данных уровня доходности активов за конкретный период [4; 8; 21].

Теория игр в системе подходов к управлению рисками экономических субъектов предоставляет ряд возможностей для анализа, предотвращения и контроля угроз с учетом ситуационных сценариев принятия управленческих решений. В контексте инвестиционного анализа допустимо настроить систему таким образом, чтобы свести убытки и упущенные возможности компании к минимуму. В зависимости от корпоративной системы управления рисками теоретико-игровые критерии могут рационализировать различные аспекты политики предприятия, в первую очередь инвестиционной политики путем отбора наиболее доходных инвестиционных предложений [3; 22]. Решение проблем информационной неопределенности связано с применением информационных технологий и автоматизацией систем управления. В таких условиях формируется централизованная среда, позволяющая выявить различные факторные состояния и заложить их в критерии рационализации. Информационная среда позволяет оценить инвестиционные состояния и математически представить стратегии достижения максимальной эффективности через концептуальные модели обработки данных, например с помощью методов машинного обучения [23; 24]. Теория игр выступает ресурсным методом, позволяющим рационализировать управленческие подходы и определять «точки роста» для грамотного управления ресурсами, воздействие на которые способствует принятию грамотных решений через выборку множества альтернатив. Оптимизация бизнес-процессов и минимизация затрат на практике соотносятся и с инвестиционными вопросами [25; 26].

Планирование выступает базисным принципом эффективного функционирования экономических субъектов. Однако происходит непрерывное совершенствование системы планирования в условиях неопределенности и риска. Возникает

вопрос касательно построения инвестиционных планов, наиболее значимых для предпринимательской деятельности. Если обратиться к практической возможности использования метода теории игр в вопросах рационализации инвестиционной политики, то следует отметить его роль в стратегиях предприятия. Например, через теоретико-игровые критерии допустимо адаптировать многие внутрифирменные вопросы под ситуационные изменения финансовой стратегии предприятия. Теория игр является мощным инструментом для понимания отношений, которые создаются и развиваются в процессе принятия решений по взаимодействию между экономическими субъектами в ходе конкурентной борьбы и межкорпоративного сотрудничества, предлагая оптимальные стратегии при минимальном уровне рисков и угроз. В результате формируются перспективы для разработки «рецептов» более совершенных альтернатив поведения [27; 28].

Задача выбора инвестиционных решений в конкурентной среде и в условиях рыночной неопределенности может быть решена через математические модели, описывающие стратегии инвестиционного поведения, в которых заложена взаимосвязь между выбором решений и рыночной динамикой. Решение задач может быть сведено к анализу биматричной игры, в которой матрица выигрышей формируется в результате численного моделирования. Теория игр позволяет провести серию численных расчетов на конкретной имитационной модели, построить платежную матрицу и провести ее комплексный анализ. Решение данной игры в чистых стратегиях может быть построено через выявление равновесной точки Нэша и варьирование различных параметров модели, учитывающих различные типы асимметрии на рынке, определяющих принятие управленческих решений экономическими субъектами [29]. Расширение параметров теоретико-игровой модели с помощью применения статистико-эконометрических методов анализа является эффективным инструментом для проведения риск-менеджмента. Неточность прогнозов обусловлена невозможностью полностью учесть инвестиционные риски из теоретико-игровой модели, однако допустимо распределить вероятности их распределения [30].

Анализ имеющихся научных трудов, исследований и практик позволяет выработать оптимальные стратегии поведения при реализации инвестиционной деятельности на основе математического моделирования. Применение теоретико-игрового метода способствует отбору наиболее значимых инвестиционных стратегий с учетом принятия нескольких доступных к реализации инвестиционных решений в определенных пропорциях.

Методология. На первом этапе предлагается проанализировать методические аспекты адаптации теоретико-игрового метода к рационализации инвестиционной политики. Расчеты требуется производить с использованием метода линейного программирования и симплекс-метода. Авторами статьи была построена платежная матрица игры (табл. 2). В строках матрицы рассматриваются доступные инвестиционные стратегии. В столбцах предлагается провести анализ инвестиционных проектов и представить потенциальную доходность.

Экономический субъект может работать с различным количеством инвестиционных стратегий ($i \in 1, 2, 3, \dots, m$), а инвестиционные проекты могут быть рассчитаны на заданное количество временных периодов ($j \in 1, 2, 3, \dots, n$). Анализ возможных вариантов принятия решений по инвестиционным вопросам с использованием критериев теории игр мож-

но реализовывать с помощью методов линейного программирования [16]. В таком случае матрица будет задана следующим образом: $A = (E_{ij})_{n \times m}$. Каждый элемент матрицы A (E_{ij}) показывает уровень доходности, который возможно получить от реализации инвестиционных стратегий. Для максимизации эффективности предлагается найти оптимальные пропорции реализации инвестиционных стратегий.

Таблица 2

Матрица игры

Игрок 2

Проект:	NPV ₁	NPV ₂	NPV ₃	...	NPV _n
IS ₁	E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	...	E _{1n}
IS ₂	E ₂₁	E ₂₂	E ₂₃	...	E _{2n}
IS ₃	E ₃₁	E ₃₂	E ₃₃	...	E _{3n}
...
IS _m	E _{m1}	E _{m2}	E _{m3}	...	E _{mn}

Игрок 1

Примечание: NPV – инвестиционные проекты; IS – инвестиционная стратегия; E_{ij} – значение эффективности инвестиционного проекта при реализации конкретной инвестиционной стратегии (за эффективность принимается уровень доходности).

Теория игр позволяет решить данную задачу через антагонистическую игру, где Игрок 1 выступает экономическим субъектом, а Игроком 2 выступает стихийная сила. Выдвигается предположение, что стихийная сила не позволяет субъекту достигнуть целевых установок с максимальной эффективностью и стремится принести значительный вред [4; 8; 21]. Действия Игрока 2 сопровождаются наибольшим уровнем риска для экономического субъекта, что позволяет оценить возможный инвестиционный доход при максимальном вреде от внешних сил. После построения матрицы игры необходимо найти нижнюю и верхнюю цену игры и определить наличие седловой точки [15; 17]. Итоговая матрица представлена в табл. 3.

Таблица 3

Матрица игры с определением верхней и нижней цены

Проект:	NPV ₁	NPV ₂	NPV ₃	...	NPV _n	min
IS ₁	E ₁₁	E ₁₂	E ₁₃	...	E _{1n}	E _{1 min}
IS ₂	E ₂₁	E ₁₃	E ₂₃	...	E _{2n}	E _{2 min}
IS ₃	E ₃₁	E ₃₂	E ₃₃	...	E _{3n}	E _{3 min}
...
IS _m	E _{m1}	E _{m2}	E _{m3}	...	E _{mn}	E _{m min}
max	E _{max 1}	E _{max 2}	E _{max 3}	...	E _{max n}	—

Нижняя цена игры: $\alpha = \max_i \min_j \alpha_{ij} = \max \{E_{1 \min}; E_{2 \min}; E_{3 \min}; \dots; E_{m \min}\}$.

Верхняя цена игры: $\beta = \min_j \max_i \beta_{ij} = \min \{E_{\max 1}; E_{\max 2}; E_{\max 3}; \dots; E_{\max n}\}$.

В случае неравенства верхней и нижней цены ($\alpha \neq \beta$) антагонистическая игра не имеет седловой точки, следовательно, не имеется чистой стратегии. Цена игры лежит в диапазоне между α и β , то есть $\alpha \leq v \leq \beta$ [6]. Чтобы найти решение игры в смешанных стратегиях, необходимо свести матрицу к задаче линейного программирования и построить модель оптимизации двух стратегий: Игрок 1 — стратегия X; Игрок 2 — стратегия Y. Математическое ожидание доходности должно быть не меньше цены игры (v) [4; 8; 30]. Максимизация эффективности субъекта

заключается в получении наибольшей доходности от располагаемого капитала при минимальном уровне риска.

Математически эффективность рассчитывается путем умножения смешанной стратегии Игрока 1 (X) на транспонированную матрицу доходности (A^T). Стратегия Игрока 1 должна стремиться к максимизации доходности ($\geq v$): $X \times A^T = (x_1; x_2; x_3; \dots; x_n) \times (E_{ij})_{n \times m} \geq v$, где $x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n = 1$, $x_1 \geq 0; x_2 \geq 0; x_3 \geq 0; \dots; x_n \geq 0$. Для упрощения расчетов предлагается ввести в систему коэффициент p_n , который равен: $p_1 = x_1 / v; p_2 = x_2 / v; p_3 = x_3 / v; \dots; p_n = x_n / v$, где $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n = 1 / v$, $p_1 \geq 0; p_2 \geq 0; p_3 \geq 0; \dots; p_n \geq 0$. Цель Игрока 1 минимизировать цену игры, то есть максимизировать $1 / v$.

Действия Игрока 2 (Y) обратны действиям экономического субъекта, то есть учитывают максимальный риск неопределенности рынка, тогда математическое ожидание должно быть не больше цены игры ($\leq v$): $Y \times A^T = (y_1; y_2; y_3; \dots; y_n) \times (E_{ij})_{n \times m} \leq v$, где $y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = 1$, $y_1 \geq 0; y_2 \geq 0; y_3 \geq 0; \dots; y_n \geq 0$. Для упрощения расчетов предлагается ввести в систему коэффициент q_n , который равен: $q_1 = y_1 / v; q_2 = y_2 / v; q_3 = y_3 / v; \dots; q_n = y_n / v$, где $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = 1 / v$, $q_1 \geq 0; q_2 \geq 0; q_3 \geq 0; \dots; q_n \geq 0$. Цель Игрока 2 минимизировать цену игры, то есть максимизировать $1 / v$.

Оптимальные стратегии: 1 игрок: $P = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n \rightarrow \min$; 2 игрок: $Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \rightarrow \max$. Решать обе задачи необходимо с использованием симплекс-метода [11; 12]. Тогда результатом будет построение векторов: $P = (p_1; p_2; p_3; \dots; p_n)$; $Q = (q_1; q_2; q_3; \dots; q_n)$. Так как $P_{\min} = Q_{\max} = 1 / v$, то $v = 1 / Q_{\max} = 1 / P_{\min}$. Следовательно, векторы стратегий игроков: $X = (x_1; x_2; x_3; \dots; x_n)$; $Y = (y_1; y_2; y_3; \dots; y_n)$. В результате экономический субъект получит гарантированную доходность в размере v при неблагоприятных сценариях развития событий на рынке.

Результаты. Предлагается провести апробацию предложенного алгоритма на практическом примере. У анализируемого предприятия имеется ряд инвестиционных стратегий, согласно которым допустимо получить определенную доходность от располагаемых инвестиционных проектов. Доходность инвестиционных проектов рассчитана по данным 2021 г. из открытых источников. Доступные к реализации инвестиционные стратегии представлены в табл. 4.

Экономический субъект может рационализировать инвестиционные стратегии в определенных пропорциях, однако, согласно инвестиционной политике предприятия,

в каждую стратегию планируется направить минимум 5 % от доступных инвестиционных средств.

Для определения седловой точки (ее наличия или отсутствия) требуется найти верхнюю и нижнюю цену игры. С этой целью строится матрица игры (на основе транспонирования) в табл. 5.

Таблица 4

Инвестиционные стратегии экономического субъекта

Проект:	NPV ₁	NPV ₂	NPV ₃	NPV ₄	NPV ₅	NPV ₆
IS ₁	23,79	17,17	17,98	29,44	14,61	22,01
IS ₂	21,01	24,09	24,23	20,26	27,18	16,75
IS ₃	22,79	17,35	25,07	22,07	21,46	27,52
IS ₄	17,67	22,17	27,56	14,52	22,34	18,53
IS ₅	20,38	25,46	12,22	22,77	24,34	19,68

Нижняя цена: $\alpha = \max_i \min_j \alpha_{ij} = 17,67$. Верхняя цена: $\beta = \min_j \max_i \beta_{ij} = 25,46$. Так как $\alpha = 17,67$, а $\beta = 25,46$ ($\alpha \neq \beta$), то седловая точка отсутствует, следовательно, цена игры находится в диапазоне $17,67 \leq v \leq 25,46$. На основе полученных значений можно сделать вывод, что доходность экономического субъекта от реализации стратегий будет не меньше 17,67 %, но может достичь и 17,67 % при грамотном инвестировании.

Таблица 5

Матрица игры с определением верхней и нижней цены

Стратегия:	IS ₁	IS ₂	IS ₃	IS ₄	IS ₅	min
NPV ₁	23,79	21,01	22,79	17,67	20,38	17,67
NPV ₂	17,17	24,09	17,35	22,17	25,46	17,17
NPV ₃	17,98	24,23	25,07	27,56	12,22	12,22
NPV ₄	29,44	20,26	22,07	14,52	22,77	14,52
NPV ₅	14,61	27,18	21,46	22,34	24,34	14,61
NPV ₆	22,01	16,75	27,52	18,53	19,68	16,75
max	29,44	27,18	27,52	27,56	25,46	

С помощью симплекс-метода находятся значения p и q , которые удовлетворяют оптимальным стратегиям. Можно использовать как специализированные программы, так и стандартизованные, например надстройка «Поиск решений» в Microsoft Excel (табл. 6).

Таблица 6

Оптимальная инвестиционная политика экономического субъекта (расчет)

Стратегия:	IS ₁		IS ₂		IS ₃		IS ₄		IS ₅		Σ
NPV ₁	23,79	0,20	21,01	0,10	22,79	0,23	17,67	0,26	20,38	0,21	20,97
NPV ₂	17,17	0,20	24,09	0,10	17,35	0,23	22,17	0,26	25,46	0,21	20,97
NPV ₃	17,98	0,20	24,23	0,10	25,07	0,23	27,56	0,26	12,22	0,21	21,53
NPV ₄	29,44	0,20	20,26	0,10	22,07	0,23	14,52	0,26	22,77	0,21	21,53
NPV ₅	14,61	0,20	27,18	0,10	21,46	0,23	22,34	0,26	24,34	0,21	21,53
NPV ₆	22,01	0,20	16,75	0,10	27,52	0,23	18,53	0,26	19,68	0,21	21,33

Цена игры при оптимальном соотношении «риск/доходности» находится в диапазоне между 20,97 и 21,53. Можно утверждать, что в результате предложенного распределения инвестиционных стратегий предприятие получит гарантированный уровень доходности в размере 20,97 %. Для достижения данного целевого уровня

рациональное распределение по инвестиционным стратегиям выглядит следующим образом: IS1 — 19,80%; IS2 — 10,30 %; IS3 — 22,88 %; IS4 — 26,00 %; IS5 — 21,02 % ($\Sigma = 100\%$). Таким образом, оптимальная инвестиционная политика предприятия графически изображена на рисунке.

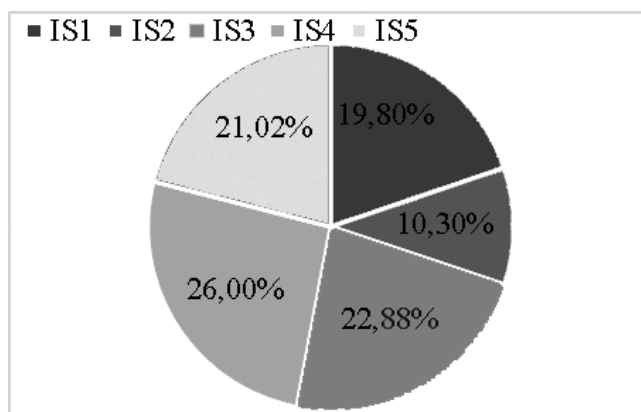


Рис. Оптимальная инвестиционная политика предприятия

Заключение

В практической деятельности зачастую возникает состояние, когда отсутствует согласие по какому-либо вопросу и имеется множество альтернатив, доступных к реализации. Невозможность выбрать наиболее разумное решение в условиях недостаточности данных связана с фактом, что имеется множество равновесий, порожденных конкретной «игрой». Авторский подход представляет собой свежий взгляд на взаимодействие критериев теории игр и инвестиционного анализа, что открывает путь к дальнейшему развитию поиска решений инвестиционных проблем в условиях неопределенности. Применение критериев теории игр для инвестиционного моделирования позволяет сократить потенциальные риски сокращения доходности и направить действия экономического субъекта на максимизацию его доходности.

Моделирование инвестиционных стратегий характеризуется неопределенностью. Для сокращения риска в нестабильных условиях наиболее значимыми являются математические методы. Построение инвестиционной стратегии на теоретико-игровом методе позволит максимизировать доходность, учитывая высокую волатильность и непостоянство рынка [13; 29]. С целью детализации информационного базиса стратегий инвестиционного поведения целесообразно провести квантификацию информационной среды, что позволит выявить качественные взаимосвязи между поведением инвесторов в информационной среде

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Farooqui A. D., Niazi M. A. Game theory models for communication between agents: a review // *Complex Adaptive Systems Modeling*. 2016. № 4. Pp. 1—13.
2. Mohammaditabar D., Ghodsypour S. H., Hafezalkotob A. A. Game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs // *International Journal of Production Economics*. 2016. № PA (Nov.). Pp. 87—97.
3. Организационно-экономическое обеспечение эффективной хозяйственной деятельности и устойчивого развития промышленных предприятий и предпринимательских структур. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. 284 с.
4. Degtareva V., Zaytsev A., Kichigin O., Dmitriev N. Application of the Game-Theoretic Method in the Development of an Investment Behavior Strategy // *Proceedings of the 34th IBIMA Conference. Vision: Education excellence and management of innovations through sustainable economic competitive advantage*. Madrid, Spain. 2019. Pp. 3532—3540.
5. Самуэльсон Л. Теория игр в экономической науке и не только // *Вопросы экономики*. 2017. № 5. С. 89—115.
6. Диксит А.К. Теория игр. Искусство стратегического мышления в бизнесе и жизни. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2017. 750 с.
7. Fox W.P., Burks R. Game Theory // *Applications of Operations Research and Management Science for Military Decision Making: International Series in Operations Research and Management Science*. 2019. Pp. 251—329.

и ценами на инвестиционные активы. Интеграция расширенного математического аппарата в авторский алгоритм предоставит набор данных, которые с помощью методов машинного обучения предоставят количественные данные для определения инвестиционных решений, доступных к реализации, и позволят определить вероятность их наступления. События, происходящие в информационном пространстве, можно рассматривать как определенный результат, который возможно количественно рассчитать, что позволит предложить конкретную трансформацию инвестиционных решений с учетом полученной информации. Одним из интересных решений в данном направлении является систематический анализ новостной информации для прогнозирования волатильности доходности финансовых активов, а также интеграция полученных значений в теоретико-игровые модели [31—33].

На основе анализа экономических аспектов теории игр был сформирован авторский алгоритм рационализации инвестиционной политики. Предложенный в авторской работе подход даст возможность сократить уровень риска при сохранении оптимальной доходности.

Значимость полученного алгоритма заключается в повышении положительного эффекта от принятия управленческих решений по вопросам инвестирования. Тем не менее его нельзя назвать универсальным, впрочем как и множество уже имеющихся в научной литературе способов рационализации инвестиционной деятельности. Отсутствие седловой точки в матрице игры не позволяет выбрать единственную инвестиционную стратегию, поэтому инвестиционная политика экономического субъекта должна заключаться в диверсификации имеющихся ресурсов между несколькими стратегиями. Использование нескольких чистых стратегий поведения даст возможность максимизировать доходность. Ограниченность данного подхода не уменьшает его значимость для рационализации инвестиционной деятельности. Допускается возможность модернизации теоретико-игрового метода для построения стратегии поведения в инвестиционной сфере путем проведения корреляционно-регрессионного анализа, благодаря которому можно выявить факторы, оказывающие значительное влияние на переменные матрицы игры, и предложить альтернативные стратегии.

8. Zaytsev A., Dmitriev N., Fayzullin R., Mihel E. Formation of Investment Behavior Strategy using the Game-theoretic Method // TEM Journal. 2021. № 2. Pp. 673—681.
9. Горяшко А. П. Теория игр: от анализа к синтезу. Обзор результатов // Cloud of science. 2014. № 1. С. 112—154.
10. Wei L., Hao-peng Q. Research on Optimization of Webcast Income Distribution Based on Game Theory // DEStech Transactions on Engineering and Technology Research. 2018. № 24943.
11. Писарук Н. Н. Введение в теорию игр. Минск : БГУ, 2016. 256 с.
12. Оуэн Г. Теория игр. 4-е изд. М. : Вузовская книга, 2019. 216 с.
13. Мастяева И. Н., Горемыкина Г. И., Семенихина О. Н. Методы оптимальных решений. М. : Инфа-М, 2016. 384 с.
14. Nie P., Matsuhisa T., Wang H., Zhang P. Game Theory and Applications in Economics // Journal of Applied Mathematics. 2014. № 936192.
15. Colman A. Game Theory and Experimental Games: The Study of Strategic Interaction // Elsevier. 2016. 314 p.
16. Захаров А. В. Теория игр в общественных науках. М.: Высшая школа экономики, 2015. 304 с.
17. Лабскер Л. Г. Теория критериев оптимальности и экономические решения. М. : КноРус, 2017. 505 с.
18. Власов Д. А., Синчуков А. В. Теория игр: философские и методические особенности // Математическое образование в школе и вузе: теория и практика. 2016. С. 123-127.
19. Черняков М. К., Акберов К. Ч. О., Шураев И. А. Инвестиционная стратегия. Курск : Университетская книга, 2021. 183 с.
20. Дмитриев Н. Д., Родионов Д. Г., Кубарский А. В. Формирование эконометрического инструментария для оценки инвестиционной привлекательности региона // Kant. 2020. № 4. С. 70—77.
21. Дмитриев Н. Д., Зайцев А. А., Дубаневич Л. Э. Теоретико-игровые инструменты рационализации инвестиционного анализа на промышленных предприятиях // Бизнес. Образование. Право. 2020. № 2. С. 43—49.
22. Трофимова Н.Н. Современные подходы к эффективному управлению основными группами рисков предприятия // Актуальные проблемы экономики и управления. 2021. № 2. С. 52—56.
23. Асеева М. А., Ратушняк Г. Я., Золкин А. Л., Чистяков М. С. Организация внутрифирменного обучения на основе применения информационных технологий в управлении персоналом // Управленческий учет. 2021. № 5-2. С. 277—284.
24. Родионов Д. Г., Карпенко П. А., Пашинина П. А. Квантификация информационной среды как инструмент инвестиционного анализа // Экономические науки. 2021. № 204. С. 144—153.
25. Файзуллин Р. В., Симченко О. Л., Чиченков И. И. Методика оценки эффективности использования ресурсов предприятиями агрохолдинга // Наука и инновации XXI века: материалы конференции. 2020. С. 306—310.
26. Faizullin R., Pavlov I., Konstantinov P. Methodology for optimizing supply chains // SPIE – The International Society for Optical Engineering: Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry. 2022. № 122510U.
27. Зайцев А. А., Михель Е. А., Дмитриев Н. Д. Использование теоретико-игрового подхода для формирования финансовой стратегии взаимодействия предприятий // Бизнес. Образование. Право. 2020. № 3. С. 81—67.
28. Михель Е. А., Зайцев А. А., Дмитриев Н. Д. Теоретико-игровой инструментарий взаимодействия предприятий в системе стратегического планирования // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022. № 2-2. С. 218—231.
29. Акинфиев В. К. Моделирование инвестиционных стратегий компаний в условиях неопределенности // УБС. 2016. № 61. С. 136—167.
30. Биета Ф., Смилянец П. Теория игр и финансовые рынки // Вопросы экономики. 2007. № 10. С. 114—124.
31. Родионов Д. Г., Карпенко П. А., Пашинина П. А. Квантификация информационной среды как инструмент инвестиционного анализа // Экономические науки. 2021. № 204. С. 144—153.
32. Гайомей Д., Зайцев А. А., Родионов Д. Г. Прогнозирование волатильности доходности финансовых активов с использованием высокочастотных данных и квантификаторов информационной среды // Вестник евразийской науки. 2022. № 2. С. 43.
33. Родионов Д. Г., Пашинина П. А., Конников Е. А. Квантификаторы информационной среды финансового рынка // Экономические науки. 2022. № 211. С. 125—128.

REFERENCES

1. Farooqui A. D., Niazi M. A. Game theory models for communication between agents: a review. *Complex Adaptive Systems Modeling*. 2016;4:1—13.
2. Mohammaditabar D., Ghodsypour S.H., Hafezalkotob A.A. Game theoretic analysis in capacity-constrained supplier-selection and cooperation by considering the total supply chain inventory costs. *International Journal of Production Economics*. 2016;PA(Nov.):87—97.
3. Organizational and economic support of economic activity and sustainable development of industrial enterprises and business structures. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies publ., 2013. 284 p. (In Russ.)
4. Degtereva V., Zaytsev A., Kichigin O., Dmitriev N. Application of the Game-Theoretic Method in the Development of an Investment Behavior Strategy. Proceedings of the 34th IBIMA Conference. Vision: Education excellence and management of innovations through sustainable economic competitive advantage. Madrid, Spain. 2019:3532—3540.
5. Samuelson L. Game theory in economics and beyond. *Voprosy ekonomiki*. 2017;5:89—115 (In Russ.)
6. Dixit A. K. Game theory. The art of strategic thinking in business and life. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber, 2017. 750 p. (In Russ.)
7. Fox W. P., Burks R. Game Theory. Applications of Operations Research and Management Science for Military Decision Making. *International Series in Operations Research and Management Science*. 2019:251—329.

8. Zaitsev A., Dmitriev N., Fayzullin R., Mihel E. Formation of Investment Behavior Strategy using the Game-theoretic Method. *TEM Journal*. 2021;2:673—681.
9. Goryashko A. P. Game theory: from analysis to synthesis. Review of results. *Cloud of science*. 2014;1:112—154. (In Russ.)
10. Wei L., Hao-peng Q. Research on Optimization of Webcast Income Distribution Based on Game Theory. *DEStech Transactions on Engineering and Technology Research*. 2018;24943.
11. Pisaruk N. N. Introduction to game theory. Minsk, BGU publ., 2016. 256 p. (In Russ.)
12. Owen G. Theory of games. 4th ed. Moscow, Vuzovskaya kniga publ., 2019. 216 p. (In Russ.)
13. Mastyaeva I. N., Goremykina G. I., Semenikhina O. N. Methods of optimal solutions. Moscow, Infra-M Publ., 2016. 384 p. (In Russ.)
14. Nie P., Matsuhisa T., Wang H., Zhang P. Game Theory and Applications in Economics. *Journal of Applied Mathematics*. 2014;936192.
15. Colman A. Game Theory and Experimental Games: The Study of Strategic Interaction. Elsevier. 2016. 314 p.
16. Zakharov A. V. Game theory in the social sciences. Moscow, Higher School of Economics publ., 2015. 304 p. (In Russ.)
17. Labsker L. G. Theory of optimality criteria and economic solutions. Moscow, KnoRus publ., 2017. 505 p. (In Russ.)
18. Vlasov D. A., Sinchukov A. V. Game theory: philosophical and methodological features. *Matematicheskoe obrazovanie v shkole i vuze: teoriya i praktika = Mathematical education at school and university: theory and practice*. 2016:123—127. (In Russ.)
19. Chernyakov M. K., Akberov K. Ch. O., Shuraev I. A. Investment strategy. Kursk, Universitetskaya kniga publ., 2021. 183 p. (In Russ.)
20. Dmitriev N. D., Rodionov D. G., Kubarsky A. V. Formation of econometric tools for assessing the investment attractiveness of the region. *Kant*. 2020;4:70—77. (In Russ.)
21. Dmitriev N. D., Zaitsev A. A., Dubanevich L. E. Game-theoretic tools for rationalization of investment analysis at industrial enterprises. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law*. 2020;2:43—49. (In Russ.)
22. Trofimova N. N. Modern approaches to effective management of the main risk groups of an enterprise. *Aktual'nye problemy ekonomiki i upravleniya = Actual problems of economics and management*. 2021;2:52—56. (In Russ.)
23. Aseeva M. A., Ratushnyak G. Ya., Zolkin A. L., Chistyakov M. S. Organization of in-house training based on the use of information technologies in personnel management. *Upravlencheskii uchet = Management Accounting*. 2021;5-2: 277—284 (In Russ.)
24. Rodionov D. G., Karpenko P. A., Pashinina P. A. Quantification of the information environment as a tool for investment analysis. *Ekonomicheskie nauki = Economic Sciences*. 2021;204:144—153 (In Russ.)
25. Faizullin R. V., Simchenko O. L., Chichenkov I. I. Methodology for assessing the efficiency of resource use by agricultural holding enterprises. *Nauka i innovatsii XXI veka: materialy konferentsii = Science and innovations of the XXI century: materials of the conference*. 2020:306—310 (In Russ.)
26. Faizullin R., Pavlov I., Konstantinov P. Methodology for optimizing supply chains. SPIE – The International Society for Optical Engineering: Computer Applications for Management and Sustainable Development of Production and Industry. 2022;122510U.
27. Zaitsev A. A., Mikhel' E. A., Dmitriev N. D. Using a game-theoretic approach to form a financial strategy for the interaction of enterprises. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law*. 2020;3:81—67 (In Russ.)
28. Mikhel' E. A., Zaitsev A. A., Dmitriev N. D. Game-theoretic tools for interaction between enterprises in the system of strategic planning. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*. 2022; 2-2:218—231 (In Russ.)
29. Akinfiyev V. K. Modeling investment strategies of companies under uncertainty. *UBS*. 2016;61:136—167 (In Russ.)
30. Bieta F., Smilyanets P. Theory of games and financial markets. *Voprosy ekonomiki*. 2007;10:114—124 (In Russ.)
31. Rodionov D. G., Karpenko P. A., Pashinina P. A. Quantification of the information environment as a tool for investment analysis. *Ekonomicheskie nauki = Economic Sciences*. 2021;204:144—153 (In Russ.)
32. Gaiomei D., Zaitsev A.A., Rodionov D.G. Forecasting the volatility of profitability of financial assets using high-frequency data and quantifiers of the information environment. *Vestnik evraziiskoi nauki = Bulletin of Eurasian Science*. 2022;2. P. 43 (In Russ.)
33. Rodionov D. G., Pashinina P. A., Konnikov E. A. Quantifiers of the information environment of the financial market. *Ekonomicheskie nauki = Economic Sciences*. 2022;211:125—128 (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 26.02.2023; одобрена после рецензирования 01.04.2023; принята к публикации 06.04.2023.
The article was submitted 26.02.2023; approved after reviewing 01.04.2023; accepted for publication 06.04.2023.