

УДК 330.4

DOI: 10.25559/SITITO.16.202001.235-245

Имитационное исследование теоретико-игровых моделей на основе Wolfram-технологий

Д. А. Власов*, А. В. Синчуков

Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, г. Москва, Россия
117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36

* DAV495@gmail.com

Аннотация

В рамках данной статьи рассмотрены вопросы имитационного исследования теоретико-игровых моделей на основе Wolfram-технологий в практике принятия решений в различных областях хозяйственно-экономической деятельности и профессиональной подготовке будущего IT-специалиста. Представлены рекомендации по применению Wolfram-технологий в процессе исследования теоретико-игровых моделей социально-экономических и управленческих ситуаций, характеризующихся динамикой внутримодельного взаимодействия и предпочтений игроков в выборе оптимальных стратегий. Идеи, изложенные в статье, могут быть полезны для проектирования профессионально значимых учебных дисциплин, среди которых «Теория игр», «Математические методы в экономике», «Теория принятия решений», «Инструментальные методы в экономике». В центре внимания статьи вопросы в области классической и эволюционной теории игр – сравнительно молодого направления экономической кибернетики. Данные вопросы анализируются в контексте повышения качества принимаемых решений. Отмечается, что методы и модели классической теории игр, разработка которых была начата около пятидесяти лет назад, в настоящее время находят ограниченное применение в практике принятия решений в различных областях хозяйственно-экономической деятельности. К настоящему времени в теоретико-игровом моделировании акценты смещаются на эволюционные игры, учитывающие особенности динамики информационной среды принятия решений и предпочтений игроков по выбору оптимальных стратегий. В статье отмечается востребованность методов имитационного моделирования для исследования неоклассических игровых ситуаций, реализуемых в специальных программных средствах, в частности Wolfram. Выделены принципы имитационного моделирования для исследования неоклассических игровых ситуаций: «Изучение тенденции», «Имитация», «Статическое восприятие и сиюминутная выгода», «Фиктивное разыгрывание», «Рациональное обучение». В процессе развития инновационных компонентов профессиональной компетентности будущего IT-специалиста в Российском экономическом университете им. Г. В. Плеханова мы столкнулись с необходимостью усиления прикладной профессиональной направленности математической подготовки. С этой целью особое внимание было уделено содержательным и методическим аспектам использования Wolfram-технологий для теоретико-игрового моделирования, без которого представление IT-специалистов о количественных методах и математическом моделировании будет не полным.

Ключевые слова: WolframAlpha, равновесие, рациональность, теоретико-игровая модель, имитационное моделирование, социально-экономическая ситуация.

Для цитирования: Власов, Д. А. Имитационное исследование теоретико-игровых моделей на основе Wolfram-технологий / Д. А. Власов, А. В. Синчуков. – DOI 10.25559/SITITO.16.202001.235-245 // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2020. – Т. 16, № 1. – С. 235-245.

© Власов Д. А., Синчуков А. В., 2020



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Simulation Research of Game-Theoretic Models on the Basis of Wolfram-Technologies

D. A. Vlasov*, A. V. Sinchukov

Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia

* DAV495@gmail.com

Abstract

Within this article questions of a simulation research of game-theoretic models on the basis of Wolfram-technologies in practice of decision-making in the different fields of economic activity and vocational training of future IT specialist are considered. Recommendations about use of Wolfram-technologies in the course of the research of game-theoretic models of the social and economic and administrative situations which are characterized by dynamics of intramodular interaction and preferences of players in the choice of optimum strategy are submitted. The ideas stated in article can be useful to design of professionally significant subject matters among which there are «Games Theory», «Mathematical Methods in Economy», «The Theory of Decision-Making», «Instrumental Methods in Economy». The article focuses on questions in the field of classical and evolutionary game theory - a relatively new direction of economic cybernetics. The matters are analyzed in the context of improvement of quality of the made decisions. It is noted that the methods and models of the classical game theory, the development of which was started about fifty years ago, currently find limited application in the practice of decision-making in various areas of economic activity. So far in game-theoretic modeling focus is shifted to the evolutionary games considering features of dynamics of information environment of decision-making and preferences of players at the choice of optimum strategy. The article notes the demand for simulation modeling methods for the study of neoclassical game situations, implemented in special software, Wolfram in particular. The principles of imitation modeling for the study of neoclassical game situations are highlighted: "Trend Study", "Imitation", "Static Perception and Immediate Benefit", "Dummy Playing", "Rational Training". In development of the innovation components of professional competence of the IT specialist at Plekhanov Russian University of Economics, we were faced with the need to strengthen the applied professional orientation of mathematical training. To this end, special attention was paid to the substantive and methodological aspects of using Wolfram technologies for game-theoretic modeling, without which IT specialists would not have a complete understanding of quantitative methods and mathematical modeling.

Keywords: WolframAlpha, balance, rationality, game-theoretic model, simulation modeling, social and economic situation.

For citation: Vlasov D.A., Sinchukov A. V. Simulation Research of Game-Theoretic Models on the Basis of Wolfram-Technologies. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie* = Modern Information Technologies and IT-Education. 2020; 16(1):235-245. DOI: <https://doi.org/10.25559/SITI-TO.16.202001.235-245>



Введение

В рамках статьи представлен опыт применения *Wolfram*-технологий для реализации процесса имитационного исследования игровой ситуации и для усиления прикладной профессиональной направленности обучения теории игр и игровому моделированию будущих IT-специалистов. Ранее в работах авторов [1, 2] были раскрыты некоторые культурно-исторические и философские аспекты игрового моделирования, раскрыты возможности классических игровых моделей в практике математической подготовки. В данной статье будут рассмотрены возможности *Wolfram*-технологий для исследования игровых моделей нового типа – эволюционных игровых моделей, находящих широкое применение в принятии решений на различных уровнях деятельности. Представленные в статье основные результаты исследования, включающие принципы имитационного моделирования для исследования неоклассических игровых ситуаций и примеры визуализации теоретико-игровых моделей позволяют оценить исследовательский и методический потенциал современных *Wolfram*-технологий как нового инструментального средства.

Многообразие теоретико-игровых моделей в практике принятия решений

Под теоретико-игровой моделью (игрой) принято понимать формальную абстракцию взаимодействия социально-экономических агентов, в этом взаимодействии существует несколько лиц, принимающих решения (игроки, агенты), причем у каждого игрока есть выбор из двух или более способов действия (стратегий, чистых стратегий) и результат взаимодействия зависит от выбора стратегий всеми участниками игрового взаимодействия. Рядом авторов теория игр воспринимается как формальная теория стратегического взаимодействия и принятия решений¹ [3, 4, 5]. Большинство учебных дисциплин, предназначенных для подготовки будущих IT-специалистов и раскрывающих научную область «Теория игр» содержат вопросы классической теории игр. К таким учебным дисциплинам традиционно относятся «Исследование операций», «Теория принятия решений», «Количественные методы», «Теория риска» [6], «Математические методы в экономике», «Инструментальные методы в экономике», «Методы оптимальных решений».

С целью совершенствования прикладной математической подготовки будущего IT-специалиста в Российском экономическом университете нами спроектирована методическая система обучения теории игр и игровому моделированию, реализуемая через специальную учебную дисциплину «Теория игр». Она позволяет не только вооружить студентов IT-направлений базовыми приемами построения и исследования теоретико-игровых моделей, но и существенно расширить проблематику рассматриваемых социально-экономических проблем и ситуаций. Благодаря применению новых педагогических технологий и элементов наглядного моделирования [7, 8] нам удалось включить в содержание учебной дисциплины «Теория игр» новое ответвление игровой теории, посвящен-

ное формальному анализу поведения рациональных игроков с целью достижения максимально возможной полезности в особых случаях. Так, интеграция информационных и педагогических технологий, принципы которой представлены в публикации [9], позволила в учебном процессе уделить особое внимание эволюционной теории игр и имитационному моделированию игр.

В рамках эволюционной теории игр исследуется особый класс игровых моделей, характеризующийся эволюцией поведения игроков (экономических агентов), которые неоднократно участвуют в игровом взаимодействии и «эволюционируют», т.е. подвергнуты эволюционным изменениям. Этот сложный класс игр ставит перед исследователями ряд методологических вопросов, связанных как с выработкой конкретных рекомендаций по принимаемым решениям, так и разработке игровой теории: «Какова динамика группы игроков которые неоднократно играют в игру, протекающую в одних и тех же условиях?», «Кто и как корректирует их поведение (выбор стратегии) на каждом этапе игрового взаимодействия?» «Как меняются предпочтения в выборе стратегий со временем в результате их опыта («обучения»)», «Всегда ли подтверждается тенденция в выборе оптимальной стратегии, выявленная на первых этапах игры?», «Устойчива ли выявленная тенденция в выборе оптимальной стратегии относительно начальных условий (полезностей игроков)?» и т.д. Как отмечают исследователи [10], ответы на эти вопросы лежат в плоскости имитационного моделирования игр, позволяющего по-новому взглянуть на неоклассические теоретико-игровые модели, в большей степени адекватные социально-экономической действительности.

Мы считаем целесообразным дифференциацию содержания прикладной математической подготовки будущего IT-специалиста в контексте учебной дисциплины «Теория игр» по трем направлениям «Классическая теория игр» (базовый уровень), «Эволюционная теория игр» (Продвинутый уровень) и «Исследование игр на основе имитационных моделей» (Профессиональный уровень). Важным исследовательским контекстом теории игр является использование её методологии для построения моделей реальных социально-экономических взаимодействий, характеризующихся определенными соотношениями определенности и неопределенности, конкуренции и кооперации. Результатом такого процесса формализации социально-экономической ситуации является формальная модель (игра), включающая множество игроков, которые взаимодействуют, множество стратегий, доступных каждому из игроков (называемыми стратегиями или чистыми стратегиями), а также платежной функции (функции полезности), которая присваивает значение каждому игроку в зависимости от возможной комбинации стратегий.

В большинстве случаев выигрыши (значения платёжной функции) представляют предпочтения каждого игрока по каждому возможному исходу игрового взаимодействия. Так, целью одного игрока может быть максимизация выигрыша, целью другого – «выигрыш» конкретного значения платежной функции (безвыходная ситуация – в противном случае игрок ожидает банкротство), целью третьего – получение гарантированно-

¹ Тихомиров Н. П. Научная школа «Повышение качества разработки и использования математического инструментария в решении проблем анализа прогнозирования и управления социально-экономическими процессами» // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. – 2007. – № 1. – С. 54-59. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9483334&> (дата обращения: 20.11.2019).



го выигрыша, целью четвертого – минимизация выигрышей первых двух игроков и т.д. Особым предметом исследования выступает эволюционная теория игр, в которой предпочтения и выигрыши игроков часто подвержены эволюционным изменениям. Эволюционные модели теории игр особо полезны для исследования социально-экономических проблем и ситуаций, возникающих систематически и многократно реализующихся в одних и тех же условиях (или в схожих условиях). При этом решения игроков по выбору стратегий в рамках каждого этапа игрового взаимодействия являются взаимозависимыми, т.е. накопленный выигрыш зависит не только от его собственного выбора, но также и от выбора других игроков. Значит, можно говорить о теории игр как теории взаимозависимого принятия решений, теории стратегических решений.

Таким образом, неоклассическая игровая теория (теория эволюционных игр и имитационное игровое моделирование) могут быть использованы в качестве инструмента, для формального описания социально-экономических ситуаций с большим количеством игроков и со сложным (частично рациональными или нерациональным) поведением игроков. Однако, для корректности построения указанных игровых моделей следует особое внимание уделить адекватному заданию платежной функции. Остановимся далее на некоторых содержательно-методических аспектах трех направлений развития представлений о теории игр и игровом моделировании, обозначенных выше и имеющих принципиальное значения для развития инновационных компонентов профессиональной компетентности будущего IT-специалиста.

«Классическая теория игр» (базовый уровень) является стандартным разделом прикладной математической подготовки будущего IT-специалиста. Это направление было разработано Нейманом и Моргенштерном, представлено в большинстве учебной литературы по исследованию операций и теории, например [11, 12]. В классической игровой теории выигрыши отражают предпочтения игроков, т.е. заданные заранее (определенные) выигрыши для каждого игрока позволяют определить набор возможных исходов (пары стратегий игроков, называемых оптимальными стратегиями). Но определенные свойства упорядоченных пар стратегий игроков ограничивают возможность их анализа с позиций применения в практике принятия решений в хозяйственно-экономической деятельности. Таким образом, основное предположение классической игровой теории об известных выигрышах и крайней рациональности игроков позволяет провести общее упорядочивание стратегий, выбрав «Худшую» стратегию, «Среднюю» стратегию, «Лучшую» стратегию. Отметим, что чаще всего выигрыши в классической игровой теории интерпретируются как значения полезностей в контексте отношения игроков к риску. Это открывает путь к использованию теории ожидаемой полезности для количественной оценки распределения вероятностей по возможным исходам игрового взаимодействия.

Включение в рассмотрение смешанных стратегий (стратегий, которые задаются определенными значениями вероятности каждой возможной чистой стратегии игроков) позволяет приблизить простейшие игровые модели к реальным социально-экономическим условиям. Однако вычисление средних выигрышей, получаемых в условиях смешанного расширения игр в практике принятия решений не находит должного применения (в условиях отсутствия предположений о предпочте-

ниях игроков и изменения игровой ситуации). Эта проблема частично решена в рамках эволюционной теории игр, в которой выигрыши представляют «показатели воспроизводства» или «коэффициенты выживаемости», управляющие динамикой игрового процесса. Важно отметить, что классическая игровая теория предполагает крайнюю степень рациональности игроков, подразумевая, что они выбирают стратегии на основе неизменных предпочтений следуя поставленной цели. Относительная простота классических игровых моделей лежит в основе методов их точного и приближенного решения. Целью последующего исследования игровой теории стали механизмы «обучения» игроков, заставляющие их корректировать собственное поведение. Разработка данного направления позволяет расширить возможности игрового моделирования за счет снятия жесткого ограничения крайней рациональности игроков в фиксированной информационной ситуации классической игровой модели.

Особая роль в понимании классической игры принадлежит понятию «Равновесие Нэша», связанному с строгими ограничениями и предположениями игры. Под равновесием Нэша принято понимать множество стратегий игроков, от которых не выгодно отклоняться ни одному игроку. Другими словами, ни один игрок, зная стратегии противников в равновесии, не способен увеличить свой ожидаемый выигрыш путем одностороннего изменения собственной стратегии. Несмотря на разработанность классической игровой теории, практика принятия решений не предполагает её полноценного применения по причине существенных отличий в характере взаимодействия игроков (элементы нерационального поведения, создание коалиций, изменение внешних условий и как следствие, изменение выигрышей и т.д.). Усугубляют ситуацию и множественные равновесия Нэша – в контексте выбора оптимального решения не ясно, какое из них будет достигнуто в результате игрового взаимодействия. Таким образом, применение классической игровой теории ограничено по причине её статичности. Она главным образом фокусируется на исследовании конечного состояния игрового взаимодействия и возможного равновесия, не обращая внимание на процесс достижения равновесия.

Основные идеи неоклассического теоретико-игрового моделирования: эволюционная теория игр и имитационное моделирование в исследовании игровых ситуаций

Через некоторое время после возникновения классической теории игр и попытками использования её для анализа экономических проблем и ситуаций, биологами были применены игровые модели как основа формального изучения адаптации и взаимодействия биологических субъектов [13]. В качестве основного предположения эволюционной игровой теории выступает предположение о дефиците ресурсов и следовательно, наличии конкуренции среди экономических агентов (игроков). Эволюционная игровая теория нашла впоследствии и трактовку в социальных контекстах, связанных с культурной эволюцией.

В игровой эволюционной модели отражены три механизма развития исследуемой социально-экономической ситуации:



выбор, репликация и мутация, интерпретируемые в соответствующих терминах. Механизм выбора основан на выигрышах (полезностях), т.е. игроки, с более высокими выигрышами предпочтительны по отношению к игрокам с более низкими выигрышами. Механизм репликации гарантирует, что свойства игроков в социально-экономической системе частично или полностью сохраняются, копируются или наследуются от одного поколения до следующего (от одного игрового взаимодействия к другому). Механизм репликации гарантирует, что предпочтения в выборе стратегий игроками наследованы или переданы через цепочку поколений (игровых взаимодействий). Первые два механизма обуславливают тенденцию уменьшения разнообразия социально-экономической системы. Однако третий механизм – механизм мутации обеспечивает сохранение неоднородности системы, т.е. постоянного присутствия различных предпочтений в выборе оптимальных стратегий из множества имеющихся (новые шаблоны поведения, инновации).

Эволюционная теория игр позволяет исследовать, какие стратегии (предпочтения по выбору стратегий) стабильны относительно эволюционной динамики, и следовательно, какие эволюционно устойчивые состояния могут быть достигнуты в процессе игрового взаимодействия (14). Несмотря на существенные отличия с классической теорией игр в контексте усложнения игрового взаимодействия и механизмов его исследования, эволюционная теория игр не раскрывает принципы сравнения выигрышей игроков во времени, отражающих эволюционное развитие социально-экономической ситуации. Учитывая, что эволюция интерпретируется в культурных терминах, сравнение игроков через выигрыши (накопленные выигрыши) является неоднозначной и спорной.

Остановимся далее на возможностях и принципах имитационного моделирования игровых ситуаций. Как и в классической теории игр, цель игроков в имитационной игровой модели состоит в получении максимально возможного выигрыша. Однако, имитационное моделирование игровых ситуаций предполагает отказ от принципиальных требований классической теории игр (рациональность и предпочтения игроков, а также статичность информационной ситуации). Вместо этого игроки могут принимать нерациональные или частично рациональные стратегии, а также со временем получают дополнительную информацию о поведении противников, что сказывается на последующем выборе стратегий. Таким образом, игроки используют историю игрового взаимодействия для выбора собственных стратегий, а также для прогнозирования поведения других игроков, и последующей оптимальной реакции на их ожидаемые действия. Механизмы имитационного исследования игровых моделей могут быть различны и различаются по объему информации, используемой для выбора стратегий игроками и их вычислительными возможностями.

В качестве самого простого принципа имитационного исследования игровых моделей выступает «Изучение тенденции». Игроки согласно этому принципу имитационного исследования игровой модели социально-экономической ситуации полагаются на свой опыт в выборе стратегий (соотносят совершенный выбор с полученным выигрышем) и стараются избегать определенных действий с неблагоприятными последствиями (меньшим выигрышем или проигрышем). Другими словами, действия, которые привели к удовлетворительным результатам в прошлом, имеют тенденцию к повторению игроками в будущем. Как правило, этот относительно простой

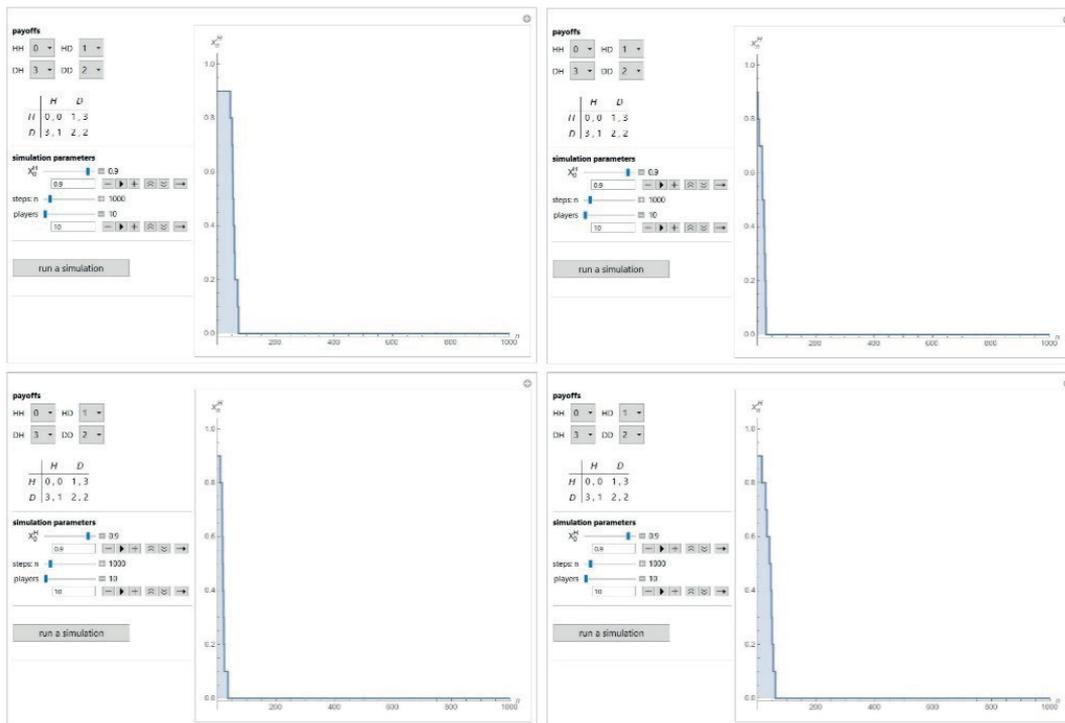
принцип не предполагает использование информации, кроме сведений о выигрыше игрока, используемых им для последующей корректировки вероятности выбора стратегии.

Имитация происходит каждый раз, когда игрок – имитатор предполагает, что некоторый другой игрок выбрал определенную стратегию (имеет склонность к выбору определенной стратегии). В зависимости от этого игрок-имитатор выбирает собственную стратегию. Конкретные механизмы реализации этого принципа имитационного исследования игровых моделей могут быть различными. Например, игрокам может быть предоставлена возможность с некоторой фиксированной независимой вероятностью «выбирать» действия других игроков. В других имитационных моделях возможность пересмотра ожидаемых предпочтений выбора конкурентов может быть инициирована некоторым внутренним событием (например, величиной среднего выигрыша игрока, опускающейся ниже определенного допустимого значения). В процессе игры игроку-имитатору предоставлена возможность пересмотра используемой ранее стратегии, он очередной раз выбирает игрока для имитации, чаще всего под влиянием выигрышей, полученных другими игроками в предыдущих играх. Отметим, что имитационное исследование игровых моделей тесно связано с эволюционными играми. Действительно, эволюционную модель можно трактовать не в терминах рождения и смерти игроков, а в терминах имитации пересмотра стратегии, проводимому бессмертными игроками.

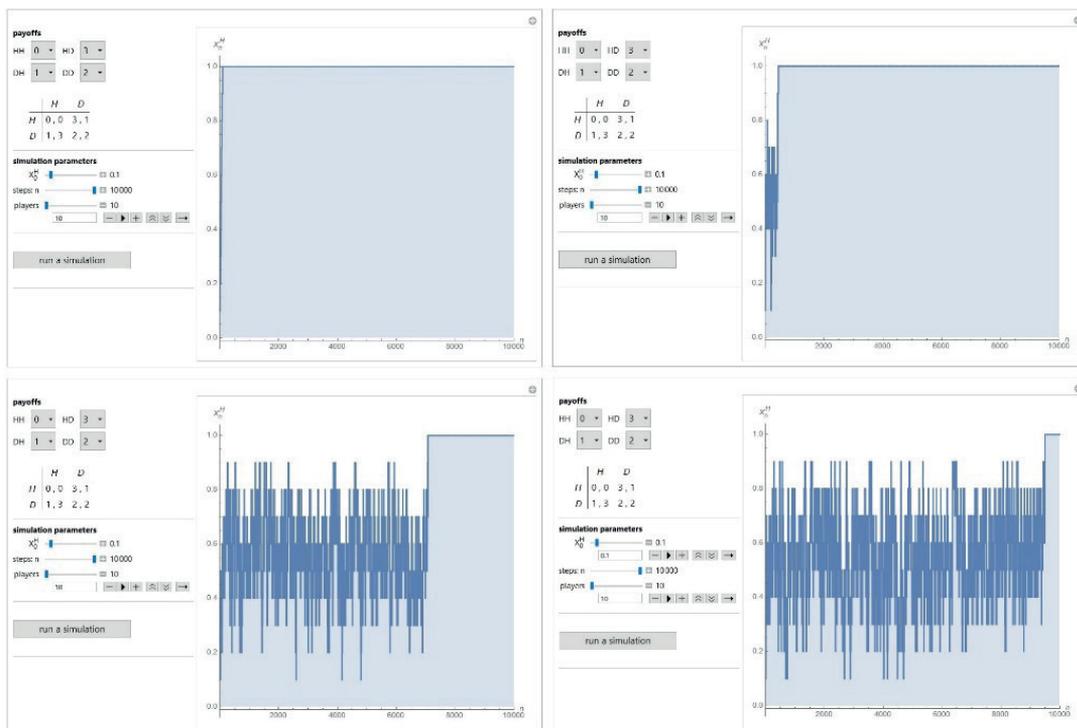
Следующим принципом имитационного моделирования игровых ситуаций выступает принцип «Статическое восприятие и сиюминутная выгода». Согласно этому принципу исследования игровых моделей каждому игроку известен не только возможный выигрыш, который он получил бы в каждом возможном исходе игровой ситуации, но и действия (выбор стратегии), которые каждый игрок реализовал несколько ходов назад. При принятии следующего решения каждый игрок предполагает, что любой игрок сохранит свое текущее действие неизменным (также без изменений остаются предпочтения игроков по выбору стратегий, т.е. имеет место статическое восприятие социально-экономической среды). Принимая во внимание такие предположения, каждый игрок может определить набор стратегий, которые привели бы к увеличению его текущего выигрыша. С целью приближения относительно универсальной схемы к социально-экономической действительности различные игровые модели устанавливают различные правила-ограничения, например, правило случайного выбора стратегий, правило выбора стратегий в соответствии с некоторым вероятностным распределением возможных выигрышей, правило максимизации выигрыша и др. Общей идеей реализации данного принципа остается статичность и детерминированность социально-экономической среды и «ответ» игроков на нее выбором стратегии с максимальной сиюминутной выгодой, т.е. игнорированием последствий текущего выбора стратегии на будущей стратегии и будущем выигрыше.

Рассмотрим основные идеи принципа «Фиктивное разыгрывание». Как и в условиях применения предыдущего принципа имитационного исследования игровых моделей, игрокам в моделях фиктивной игры (фиктивного разыгрывания) предоставлена определенная схема игрового взаимодействия и оптимальное решение выбирается на её основе. Более высокий уровень абстракции, представленный в моделях фиктивного разыгрывания, касается все еще стационарного понимания

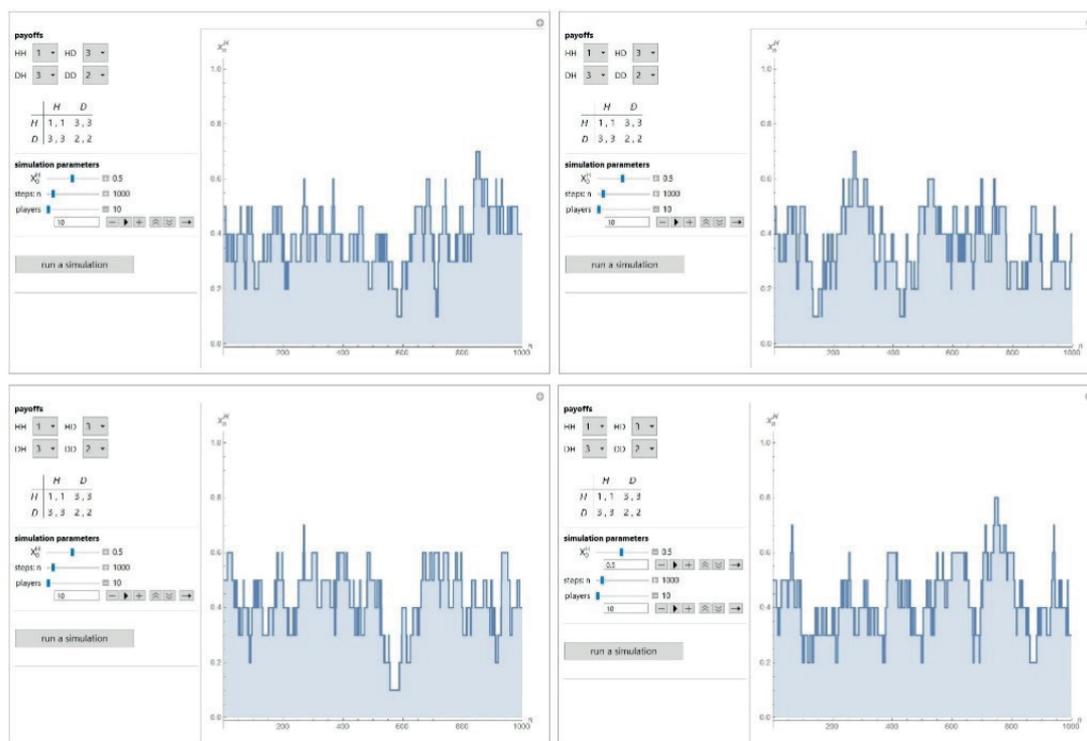




Р и с. 1. Варианты имитационного исследования игровой модели с тенденцией к выбору второй оптимальности стратегии
 Fig. 1. Variants of the simulation study of a game model with a tendency to choose the second optimality of the strategy



Р и с. 2. Варианты имитационного исследования игровой модели с тенденцией к выбору первой оптимальной стратегии
 Fig. 2. Variants of simulation research of a game model with a tendency to choose the first optimality of the strategy



Р и с. 3. Варианты имитационного исследования игровой модели без тенденции к выбору оптимальной стратегии
F i g. 3. Variants of simulation research of a game model without a tendency to choose an optimal strategy

социально-экономической среды, в которой взаимодействуют (принимают решения и получают соответствующие выигрыши) игроки. Игрок в данном случае предполагает, что каждый из его соперников в процессе игрового взаимодействия реализует определенную смешанную стратегию. Количественной оценкой этой смешанной стратегии кроме ожидаемого выигрыша (среднего выигрыша) являются частоты, с которой конкурент выбирает каждую из доступных ему стратегий. Таким образом, игроки в условиях реализации данного принципа неявно принимают во внимание полную историю игрового взаимодействия. После формирования его представлений о стратегии любого игрока таким частотным способом игрок отвечает оптимальной смешанной стратегией, близорукой к имеющимся представлениям и максимизирующей его средний выигрыш.

Модели, построенные на основе принципа «Рациональное обучение» являются самыми сложными моделями в имитационном исследовании игровых ситуаций, «Rational learning» [15]. Игроки в рамках этой модели полностью осведомлены о стратегическом контексте игрового взаимодействия, в который они встраиваются. Каждый игрок характеризуется субъективными представлениями (информацией) по поведенческим стратегиям других игроков. Динамический характер этих представлений обеспечивает игрокам широкое поле для принятия решений о выборе стратегий. Важным следствием реализации этого принципа является то, что игроки не могут быть «крайне удивлены» процессом развития игры, т.е. игровое взаимодействие развивается в соответствии с заранее известным и постоянно уточняемым сценарием и преследует цель максимизации потока будущих выигрышей.

Следует обратить внимание на то, что все теоретико-игровые модели, представленные выше, базируются на принципе рациональности игроков в том смысле, что они пытаются достигнуть максимально возможного выигрыша, учитывая различные ограничения на доступную информацию и на формирование представлений о действиях, выигрышах и предпочтениях других игроков. Принцип рациональности снимается в рамках развивающейся в последние годы поведенческой экономики (в частности, поведенческой теории игр), в большей степени соответствующей эмпирическим (экспериментальным) данным [16]. Разработанная к настоящему времени аналитическая теория дополняется учетом эмоций, ошибок, интуиции, сомнений и других трудно формализуемых факторов.

Wolfram-технологии в практике имитационного исследования теоретико-игровых моделей

Эволюционные игры и имитационное моделирование игровых ситуаций являются перспективными направлениями для исследования, многие из сложившихся принципов теоретико-игрового моделирования требуют переосмысления с позиции повышения качества принимаемых решений и снятия искусственных предположений и ограничений, приводящим, как правило, к простым математическим решениям. Одним из направлений совершенствования игровой теории является смещение к исследованию бесконечного игрового взаимодействия, где в процессе каждой игры игроки используют одну стратегию из конечного множества стратегий, а



также пары игроков подобраны случайным образом для игры в симметричную игру двух игроков. Анализ более сложных, более реалистичных игровых ситуаций, рассматривающих, например, конечное множество игроков, многоходовые игры, одновременные мутации и структурированные по предпочтениям подмножества игроков совершенствуется в последние годы и получает развитие благодаря широкому применению информационных технологий. Одной из технологий, поддерживающих имитационное исследование теоретико-игровых моделей является *Wolfram*-технология, нашедшая к настоящему времени разнообразные приложения как в сфере анализа социально-экономических, управленческих ситуаций, так и в сфере образования. В рамках данной статьи мы представим фрагмент имитационного исследования игровой ситуации в виде игры с десятью участниками, из которых в процессе игрового взаимодействия случайным образом формируются пары для разыгрывания. Среди ограничений игровой модели отметим: фиксированные выигрыши игроков (первого и второго в паре), заданные в виде двух матриц; двухэлементное множество стратегий каждого игрока. Начальным условием имитационного исследования игровой ситуации вероятность использования первых игроком в паре первой стратегии. Для наглядности визуализаций развития игровой ситуации, представленных на рис. 1-3 нами выбрано следующее число итераций: 1000 итераций (рисунок 1 и рисунок 3), 10000 итераций (рисунок 2).

Количество принципиальных случаев при этом ограничено тремя: тенденция к выбору второй оптимальной стратегии (рисунок 1), тенденция к выбору первой оптимальной стратегии (рисунок 2) и без тенденции к выбору конкретной оптимальной стратегии (рисунок 3).

Основные содержательно-методические аспекты имитационного исследования теоретико-игровых моделей на основе *Wolfram*-технологий

В завершении статьи отметим, что в основе спроектированной методической системы преподавания теории игр в Российском экономическом университете им. Г. В. Плеханова лежит принцип прикладного профессионального усиления. Так, базовые теоретико-игровые модели и конструкции, а также принципы игрового моделирования вводятся в рассмотрение непосредственно на основе социально-экономических ситуаций, приближенных к социально-экономической реальности. Рассмотрение каждой ситуации начинается с понятной студенту проблемы, связанной с принятием оптимального решения в условиях частичной или полной неопределенности. Благодаря поэтапному внедрению *Wolfram*-технологий в учебно-познавательную деятельность студентов и решению частно-методических задач [17, 18], обучающихся по IT-направлениям («Информационная безопасность», «Прикладная информатика», «Прикладная математика и информатика», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем») в большинстве случаев нам удалось осуществить переход от «простых», формальных игровых ситуаций к финализированному наблюдению и далее к обобщенной социально-экономической и управленческой закономерности в принятии решений. Отметим, что на необходимость совершенствования программ подготовки бакалавров и повышения

прогностической силы методов управления инновационными процессами указывается в работах [19, 20]. В методическом контексте нам представляются полезными дидактические принципы, представленные в исследованиях [21, 22], позволяющие расширять модельные представления студентов посредством включения в учебный процесс новых математических моделей и инструментальных средств.

Сюжет социально-экономической ситуации, требующий оптимального управленческого решения, в последствии развивается, следуя логике содержащегося в ней элементов конфликта и кооперации, определенности и неопределенности, что приводит к обоснованному выбору принципа исследования теоретико-игровой модели, который далее формализуется как результат исследования теоретико-игровой модели (рекомендации по выбору оптимальных стратегий и оценки выигрышей игроков). Десять основных социально-экономических ситуаций, внедренных в практику прикладной математической подготовки будущего бакалавра в Российском экономическом университете им. Г. В. Плеханова в совокупности покрывают базовые формальные конструкции теоретико-игрового моделирования. С целью практической реализации интеграции педагогических и информационных технологий нами разработан и внедрен в учебный процесс электронный образовательный ресурс «Теория игр», содержательно дополняющий материал аудиторных занятий и акцентирующий внимание студентов экономического бакалавриата на теореме существования решений игр с идеями их доказательств.

Эволюционную теорию игр в контексте развития модельных представлений будущих бакалавров IT-специалистов можно охарактеризовать принципиальным ограничением – согласно правилам игрового взаимодействия каждый игрок следует определенному правилу выбора стратегий – правилу принятия решений, которое подвержено изменениям в процессе познания – «обучения» игроков. На наш взгляд включение в практику прикладной математической подготовки будущих IT-специалистов различных правил игрового поведения в рамках одной и той же игровой модели открывает многообещающую перспективу взаимодействия между эволюционными и имитационными игровыми моделями. В этом случае аппарат имитационного моделирования позволяет исследовать эволюционные игровые модели и понять, какие направления «обучения» игроков могут выжить и распространиться в эволюционном контексте. Отметим, что не в полной мере остается изученным вопрос о отношении классических, эволюционных и имитационных игровых моделей в контексте принятия решений в различных областях хозяйственно-экономической деятельности. Перспективным на наш взгляд является изучение условий, при которых оптимальные решения, полученные в результате применения различных игровых моделей, совпадают. В частности, требуют более глубокого осмысления следующие вопросы: в каждом из этих полей, совпадают, например, «Когда в результате имитационной игровой модели сходится к равновесию Нэша?», «При каких условиях эволюция способствует рациональному поведению игроков?» и др. Не менее интересные результаты могут быть получены в условиях комплексного применения математических и инструментальных методов [23, 24, 25], когда большее внимание исследователя будет обращено на сочетание эмпирического и теоретического доказательства, а также учет специфики конкретных реальных проблем.



Другим содержательно-методическим аспектом, имеющим значение для совершенствования применения аппарата теории игр в экономике, финансах и управлении, а также для повышения качества профессиональной подготовки будущих IT-специалистов касается вычислительная сложность проблем, встречающихся в построении и исследовании игровых моделей. Естественно, что любая социально-экономическая проблема и ситуаций, исследуемая в контексте теории игр, требует определенного вычислительного процесса (начиная с самых простых алгоритмов решения матричных антагонистических игр и заканчивая сложными алгоритмами имитационных игр, позволявшими указать на оптимальную стратегию и использовать в качестве дополнительных критериев выбора доступную игрокам информацию и степень выраженности обратной связи). Отметим, что вычислительная сложность исследования игровой модели может иметь предельное значение, что сказывается на возможности использования в практике принятия решений.

Заключение

Имитационное исследование теоретико-игровых моделей на основе *Wolfram*-технологий в практике математической подготовки будущего IT-специалиста направленно на поэтапное развитие способностей, связанных со стратегическим мышлением и прогнозированием последствий принимаемых решений (в частности, способность игрока различными приемами имитировать действия соперника и учитывать результат имитации в последующем игровом взаимодействии). *Wolfram*-технологии позволили познакомить студентов, обучающихся по IT-направлениям, с неоклассическими методами и моделями теории игр, расширяющими их модельные представления о практике принятия решений в различных областях хозяйственно-экономической деятельности. *Wolfram*-технологии способствовали тому, чтобы современные разделы теории игр были включены в математическую подготовку будущего IT-специалиста в Российском экономическом университете им. Г. В. Плеханова, в её отдельные элементы содержания стали более доступными и понятными для студентов. раскрытия в учебном процессе в условиях цифровизации. Возможности *Wolfram*-технологий позволяют повысить качество принимаемых решений за счёт получения новой, ранее недоступной информации об игровой ситуации (оптимальных и удовлетворительных стратегиях игроков, предпочтениях и средних выигрышах игроков и др.). Включение в учебный процесс приемов исследования теоретико-игровых моделей на основе *Wolfram*-технологий позволили по-новому реализовывать идеи наглядно-модельного и контекстного обучения, приблизить учебно-познавательную деятельность студента к будущей профессиональной деятельности в условиях перехода к цифровой экономике.

Список использованных источников

- [1] Власов, Д. А. MS Excel как система поддержки принятия решений / Д. А. Власов, А. В. Синчуков // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2019. – Т. 7, № 3. – С. 50-59. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37112825> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [2] Власов, Д. А. Потенциал Wolfram-технологий в исследовании теоретико-игровых моделей / Д. А. Власов, А. В. Синчуков. – DOI 10.25559/SITITO.15.201901.215-224 // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – 2019. – Т. 15, № 1. – С. 215-224. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38468923> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [3] Grosz, B. J. The influence of social dependencies on decision-making: initial investigations with a new game / B. J. Grosz, S. Kraus, S. Talman, B. Stossel, M. Havlin // *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2004*. – AAMAS 2004. – New York, NY, USA, 2004. – Pp. 782-789. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1373549> (дата обращения: 20.11.2019).
- [4] Полежаев, В. Д. Методы и модели в экономике / В. Д. Полежаев, Л. Н. Полежаева. – Омск: ОмГТУ, 2008. – 65 с.
- [5] Мангушева, Л. С. Роль информационно-коммуникационных технологий в процессах группового принятия управленческих решений / Л. С. Мангушева, И. Г. Хайрулин // *Транспортное дело России*. – 2017. – № 1. – С. 42-44. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28885120> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [6] Тихомиров, Н. П. Теория рисков / Н. П. Тихомиров, Т. М. Тихомирова, А. Г. Сукиасян. – М.: Изд-во РЭУ им. Г. В. Плеханова, 2019. – 112 с. – На англ. яз.
- [7] Смирнов, Е. И. Технология наглядно-модельного обучения математике / Е. И. Смирнов. – Ярославль: ЯГПУ, 1998. – 335 с.
- [8] Муханов, С. А. Проектирование учебного курса на основе принципов всемирной инициативы CDIO / С. А. Муханов, А. И. Нижников // *Педагогическая информатика*. – 2014. – № 4. – С. 39-46. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23029398> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [9] Монахов, В. М. Дидактическая аксиоматика когнитивной теории педагогических технологий / В. М. Монахов // *Современные информационные технологии и ИТ-образование*. – 2016. – Т. 12, № 3-1. – С. 32-39. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27411972> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [10] Лихачев, Г. Г. Компьютерное моделирование и математическое обеспечение экономико-социальных задач / Г. Г. Лихачев, И. В. Сухорукова // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2003. – № 5 (8). – С. 60-62. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9448297> (дата обращения: 20.11.2019).
- [11] Сухорукова, И. В. Высшая математика (для гуманитарных специальностей) / И. В. Сухорукова, О. И. Савина, Т. А. Лавриненко, Т. Г. Артюшина. – Москва: РЭУ, 2018. – 112 с. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32442889> (дата обращения: 20.11.2019).
- [12] Taha, H. A. *Operations Research: An Introduction* / Hamdy A. Taha. – Global Edition. – Harlow, United Kingdom: Pearson Education Limited, 2016. – 813 pp.
- [13] Sigmund, K. William D. Hamilton's Work in Evolutionary Game Theory / K. Sigmund. – DOI 10.1006/tpbi.2000.1501 // *Theoretical Population Biology*. – 2001. – Vol. 59, issue 1. – Pp. 3-6. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040580900915016> (дата обращения: 20.11.2019).
- [14] Weibull, J. W. *Evolutionary Game Theory* / Jörgen W.



- Weibull. – Cambridge, Mass.: MIT Press, 1995. – 265 pp.
- [15] Kalai, E. Rational Learning Leads to Nash Equilibrium / E. Kalai, E. Lehrer. – DOI 10.2307/2951492 // *Econometrica*. – 1993. – Vol. 61, No. 5. – Pp. 1019-1045. – URL: <http://www.jstor.org/stable/2951492> (дата обращения: 20.11.2019).
- [16] Camerer, C. F. Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction / C. F. Camerer. – Princeton: Princeton University Press, 2003. – 544 p.
- [17] Власов, Д. А. Индивидуализация прикладной математической подготовки студентов экономических университетов / Д. А. Власов. – DOI 10.24411/2541-9056-2018-00020 // Гуманитарные исследования Центральной России. – 2018. – № 4(9). – С. 46-55. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36921829> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [18] Синчуков, А. В. Развитие вероятностных представлений будущих бакалавров экономики / А. В. Синчуков. – DOI 10.24411/2541-9056-2017-00031 // Гуманитарные исследования Центральной России. – 2017. – № 3(4). – С. 86-93. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30079654> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [19] Карасев, П. А. Совершенствование программ высшего образования в контексте современных требований рынков образовательных услуг и профессионального сообщества / П. А. Карасев, Л. А. Чайковская // *Экономика и управление: проблемы, решения*. – 2017. – Т. 3, № 2. – С. 3-9. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29007155> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [20] Кулапов, М. Н. Технологические аспекты теории управления инновационными процессами: системный анализ и подходы к моделированию / М. Н. Кулапов, В. П. Варфоломеев, П. А. Карасев. – DOI 10.17213/2312-6469-2018-3-82-100 // *Дружковский вестник*. – 2018. – № 3(23). – С. 82-100. – URL: <http://drucker.npi-tu.ru/ru/archive/2018/vyipusk-3-2018/innovacionnyie-metodyi-prinyatiya-reshenij-v-razvitiipredpriyatij-i-otraslej/tehnologicheskie-aspekti-teorii-upravlenia-innovacionnymi-processami> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [21] Sukhorukova, I. V. Methodical aspects of actuarial mathematics teaching / I. V. Sukhorukova, N. A. Chistyakova // *Astra Salvensis*. – 2018. – Vol. 6. – Pp. 847-857. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35755089> (дата обращения: 20.11.2019).
- [22] Sukhorukova, I. Insurance of the Termination Risk of Projects with Joint Companion Activity / I. Sukhorukova, N. Chistyakova. – DOI 10.6000/1929-7092.2019.08.23 // *Journal of Reviews on Global Economics*. – 2019. – Vol. 8. – Pp. 269-274. – URL: <https://www.lifescienceglobal.com/85-abstract/jrge/3539-abstract-insurance-of-the-termination-risk-of-projects-with-joint-companion-activity> (дата обращения: 20.11.2019).
- [23] Тихомирова, Т. М. Модели дискретного выбора: учебное пособие / Т. М. Тихомирова, А. Г. Сукиасян. – Москва: РУСАЙНС, 2018. – 208 с.
- [24] Тихомирова, Т. М. Влияние факторов социального благополучия на оценку человеческого потенциала в регионах России / Т. М. Тихомирова, А. Г. Сукиасян // *Федерализм*. – 2018. – № 2. – С. 64-78. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35192464> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.
- [25] Тихомиров Н. П. Методы прогнозной оценки критерия NPV инвестиционного проекта при неопределенности исходной информации // *Экономика природопользования*. – 2011. – № 6. – С. 3-13. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17280246> (дата обращения: 20.11.2019). – Рез. англ.

Поступила 20.11.2019; принята к публикации 20.03.2020;
опубликована онлайн 25.05.2020.

Об авторах:

Власов Дмитрий Анатольевич, доцент кафедры математических методов в экономике, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова (117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36), кандидат педагогических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9763-9078>, DAV495@gmail.com

Синчуков Александр Валерьевич, доцент кафедры высшей математики, Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова (117997, Россия, г. Москва, Стремянный пер., д. 36), кандидат педагогических наук, доцент, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6516-196X>, AVSinchukov@gmail.com

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Vlasov D.A., Sinchukov A.V. MS Excel as system of support of decision-making. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019; 7(3):50-59. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37112825> (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [2] Vlasov D.A., Sinchukov A.V. Potential of Wolfram Technologies in Construction and Research of Econometric Models. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2019; 15(1):215-224. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.25559/SITITO.15.201901.215-224>
- [3] Grosz B. J., Kraus S., Talman S., Stossel B., Havlin M. The influence of social dependencies on decision-making: initial investigations with a new game. In: *Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2004. AAMAS 2004*, New York, NY, USA, 2004. p. 782-789. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1373549> (accessed 20.11.2019). (In Eng.)
- [4] Polezhaev V. D., Polezhaeva L.N. *Metody i modeli v jekonomike* [Methods and Models in Economics]. OmSTU, Omsk; 2008. (In Russ.)
- [5] Mangusheva L., Khairulin I. The role of information and communication technologies in group based decision-making. *Transport business of Russia*. 2017; (1):42-44. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28885120> (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [6] Tikhomirov N.P., Tikhomirova T.M., Sukiasyan A.G. *Risks Theory Advanced*. Moscow, RUE; 2019. (In Eng.)
- [7] Smirnov E.I. *Tehnologija nagljadno-model'nogo obuchenija*



- matematike* [Technology of Visual Model of Teaching Mathematics]. YaSPU, Yaroslavl; 1998. (In Russ.)
- [8] Mukhanov S.A., Nizhnikov A.I. *Proektirovanie uchebnogo kursa na osnove principov vsemirnoj iniciativy CDIO* [Design of Course Based on the Principles of the World CDIO Initiative]. *Pedagogicheskaja informatika = Pedagogical Informatics*. 2014; (4):39-46. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23029398> (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [9] Monakhov V.M. Didactic axiomatics cognition theory of pedagogical technology. *Sovremennye informacionnye tehnologii i IT-obrazovanie = Modern Information Technologies and IT-Education*. 2016; 12(3-1):32-39. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27411972> (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [10] Likhachev G.G., Sukhorukova I.V. Computer modeling and mathematical support of economic and social problems. *Economic Analysis: Theory and Practice*. 2003; (5):60-62. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9448297> (accessed 20.11.2019). (In Russ.)
- [11] Sukhorukova I.V., Savina O.I., Lavrinenko T.A., Artyushina T.G. *Vysshaja matematika (dlja gumanitarnyh special'nostej)* [Higher Mathematics (for Humanitarian Specialties)]. REA, Moscow; 2018. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32442889> (accessed 20.11.2019). (In Russ.)
- [12] Taha H.A. *Operations Research: An Introduction*. Global Edition. Harlow, United Kingdom: Pearson Education Limited; 2016. (In Eng.)
- [13] Sigmund K. William D. Hamilton's Work in Evolutionary Game Theory. *Theoretical Population Biology*. 2001; 59(1):3-6. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1006/tpbi.2000.1501>
- [14] Weibull J.W. *Evolutionary Game Theory*. Cambridge, Mass.: MIT Press; 1995. (In Eng.)
- [15] Kalai E., Lehrer E. Rational Learning Leads to Nash Equilibrium. *Econometrica*. 1993; 61(5):1019-1045. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.2307/2951492>
- [16] Camerer C.F. *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction*. Princeton: Princeton University Press; 2003. (In Eng.)
- [17] Vlasov D.A. Individualization of applied mathematical training of economic university students. *Humanities researches of the Central Russia*. 2018; 4(9):46-55. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.24411/2541-9056-2018-00020>
- [18] Sinchukov A.V. Development of probable representations future economic bachelors. *Humanities researches of the Central Russia*. 2017; 3(4):86-93. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.24411/2541-9056-2017-00031>
- [19] Karasev P.A., Chaikovskaya L.A. Improvement of higher education programs in the context of modern market requirements of educational services and professional communities. *Economics and management: problems, solutions*. 2017; 3(2):3-9. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29007155> (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [20] Kulapov M.N., Varfolomeev V.P., Karasev P.A. Technological Aspects of the Control Theory Innovative Processes: System Analysis and Approaches to Modeling. *Drukerovskij vestnik*. 2018; (3):82-100. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <http://dx.doi.org/10.17213/2312-6469-2018-3-82-100>
- [21] Sukhorukova I.V., Chistyakova N.A. Methodical aspects of actuarial mathematics teaching. *Astra Salvensis*. 2018; 6:847-857. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35755089> (accessed 20.11.2019). (In Eng.)
- [22] Sukhorukova I., Chistyakova N. Insurance of the Termination Risk of Projects with Joint Companion Activity. *Journal of Reviews on Global Economics*. 2019; 8:269-274. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.6000/1929-7092.2019.08.23>
- [23] Tikhomirova T.M., Sukiasyan A.G. *Econometrics Advanced: Discrete Choice Models*. Moscow, RUE; 2018. (In Eng.)
- [24] Tikhomirova T.M., Sukiasyan A.G. Influence of social adversity on assessments human potential. *Federalism*. 2018; (2):64-78. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35192464> 29007155 (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)
- [25] Tikhomirov N.P. Investment project NPV estimation under assumption of environment uncertainty. *Ekonomika prirodopol'zovaniya = Environmental Economics*. 2011; (6):3-13. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17280246> (accessed 20.11.2019). (In Russ., abstract in Eng.)

Submitted 20.11.2019; revised 20.03.2020;
published online 25.05.2020.

About the authors:

Dmitry A. Vlasov, Associate Professor of the Department of Mathematical Methods in Economics, Plekhanov Russian University of Economics (36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia), Ph.D., (Pedagogy), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9763-9078>, DAV495@gmail.com

Alexander V. Sinchukov, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics, Plekhanov Russian University of Economics (36 Stremyanny lane, Moscow 117997, Russia), Ph.D. (Pedagogy), Associate Professor, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6516-196X>, AVSinchukov@gmail.com

All authors have read and approved the final manuscript.

