

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АГЕНТНОЙ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Е. В. Кислицын

Уральский государственный экономический университет, Екатеринбург, Россия

Актуальность данного исследования обосновывается тем, что в современной экономической науке множество работ, посвященных исследованиям конкурентоспособности, содержат серьезные теоретические обоснования, но практически отсутствует их эмпирическая апробация. Цель настоящего исследования — разработка архитектуры модели конкурентоспособности производственного предприятия на основе агентного подхода в имитационном моделировании. Оценка конкурентоспособности предприятия сводится к оценке ее четырех составляющих: конкурентоспособность продукции на рынке, уровень стратегического позиционирования, эффективность ресурсов предприятия и инновационная активность. Базируясь на методике расчета конкурентоспособности предприятия, автор предлагает построение многоподходной имитационной модели, использующей как нотацию системной динамики, так и отдельные строительные блоки — агенты. В качестве агентов рассматриваются промышленные предприятия и институциональная среда. Внутри агента разработаны алгоритмы расчета основных показателей конкурентоспособности. В целом такая архитектура имитационной модели позволяет проводить исследование любого промышленного рынка РФ.

Ключевые слова: конкурентоспособность, имитационное моделирование, промышленное предприятие, системная динамика, агентное моделирование.

Исследованию конкуренции на товарных рынках посвящено множество работ. Феномен конкуренции изучается в различных экономических теориях с разных сторон. Особое внимание уделяется исследованию конкуренции на промышленных рынках с точки зрения теории отраслевых рынков, неинституциональной экономической теории и теории экономического роста. В недавнем исследовании С. В. Ореховой и Е. В. Кислицына [8] установлено, что уровень властной асимметрии напрямую влияет на экономический рост промышленного рынка. Однако для поддержания и стабилизации экономического роста необходимо обеспечить высокий уровень конкурентоспособности промышленного предприятия.

Конкурентоспособность в контексте промышленности является сама по себе сложной иерархической конструкцией, состоящей из множества взаимозависимых элементов, обеспечивающих эффективность функционирования предприятия. Во многих исследованиях конкурентоспособность рассматривается именно как целостная система, которая охватывает практически все аспекты деятельности предприятия. Однако проблема таких исследований заключается в том, что они сводятся к оценке узкого блока независимых показателей, пренебрегая наличием петель обратной связи. При

этом часть исследований из имеющегося пула работ, связанных с конкурентоспособностью предприятий, акцентируют внимание лишь на определенных характеристиках, ссылаясь на их базисность. Стоит отметить, что узконаправленные исследования, сами по себе не являясь комплексными, выдвигают новые идеи для развития единой системы формирования конкурентоспособности на промышленном предприятии.

Вместе с тем особое положение в системе конкурентоспособности предприятия занимает его инновационная активность. Ее уникальность состоит в том, что она формируется как внутри фирмы, так и под влиянием институциональной среды, что отражено в работах Н. В. Мальцева и Л. Ф. Шайбаковой [6], Н. В. Лазаревой, О. В. Тахумовой, Ю. Н. Кривокоры [5] и др.

При огромном количестве работ, развивающих теоретические и методологические положения конкурентоспособности промышленного предприятия, наблюдается серьезный дефицит инструментальных средств в данной области. Чаще всего такой инструментарий ограничивается статистическими методами оценки и математическими оптимизационными моделями отдельных блоков. Однако такие инструменты неспособны отразить всю систему формирования конкурентоспособности системно,

целостно. Таким образом, целью настоящего исследования является разработка архитектуры модели конкурентоспособности производственного предприятия на основании постулатов системной динамики и агентного моделирования.

Использование имитационного моделирования для анализа конкурентоспособности промышленного предприятия и прогнозирования его устойчивого развития обусловлено наличием широкого спектра инструментов, не ограниченных только лишь математическими функциями и эмпирическими данными. Имитационная модель является универсальным средством исследования сложных, в том числе экономических, систем и, по сути, математико-алгоритмическим описанием поведения структурных элементов системы и динамики их взаимодействия. Исходя из классификации А. Борщева с соавт. [1] на сегодняшний день выделяют три основных подхода к имитационному моделированию: дискретно-событийное моделирование, системная динамика и агентное моделирование.

Дискретно-событийное (или процессное) моделирование используется в том случае, когда необходимо описать определенные процессы, протекающие в системе. Чаще всего объектом исследований в таких моделях являются системы массового обслуживания, имеющие потоки заявок, узлы обслуживания и ресурсы, обслуживающие их. С помощью таких имитационных моделей хорошо описываются бизнес-процессы и производственные системы, где логика представлена в виде последовательности конкретных действий, а целью моделирования является оптимизация процесса. О. М. Куликова [16] отмечает, что дискретно-событийное моделирование хорошо описывает процессы ресурсного обеспечения, в частности, в медицинских учреждениях. А. Е. Радаев, В. А. Левенцов [19] и О. И. Бабина [10] используют данный подход для моделирования производственной линии, в основу модели которой закладывается комплекс взаимосвязанных параметров, алгоритмов функционирования и экономико-математические модели.

Системная динамика используется, как правило, для описания глобальных сложных социально-экономических систем. Такие модели описывают динамику изменения отдельных ресурсов — трудовых, финансовых, материальных и прочих с учетом времени, причинно-следственных диаграмм и петель обратной связи. Основатель системной динамики Дж. Форрестер [3; 4] разработал модели динамики развития городской среды, мировой системы и производственного предприятия. В современной науч-

ной литературе чаще всего данный подход применяется при исследовании развития социально-экономических систем. Н. Н. Лычкина [17] использует системную динамику для построения динамических моделей предприятия и развития социальной сферы, В. М. Заернюк и Е. Н. Анашкина [13] используют ее в финансовой и банковской аналитике, а Г. В. Горелова и М. В. Мандель [12] исследуют таким способом региональный рынок труда. В целом системная динамика применима в том случае, когда в исследуемой социально-экономической системе можно выделить один или несколько «накопителей», то есть резервуаров ресурсов, задать скорости их изменения в единицу времени (чаще всего с помощью дифференциальных уравнений первого порядка) и динамические переменные, образующие петли обратной связи.

Самым молодым видом имитационного моделирования на сегодняшний день признается агентное моделирование, появившееся в начале 2000-х гг. вместе с резким развитием средств вычислительной техники. Агентный подход предполагает моделирование поведения отдельных объектов — так называемых агентов — с целью исследования взаимодействия этих агентов между собой, что и задает динамику развития системы. Использование агентного подхода возможно в двух предыдущих случаях (вместо или вместе), но при этом позволяет использовать имитационное моделирование и в тех областях, где раньше это было практически невозможно. На сегодняшний день чаще всего агентное моделирование используется в исследованиях региональной и муниципальной экономики, экономики социальной сферы и эколого-экономических систем. Р. Р. Рамазанов [20] в качестве агентов своей модели рассматривает индивидов, принимающих решения относительно места своего проживания, где в качестве критерия принятия решения выступает возможность максимизации своей экономической полезности. Е. В. Гальперова и В. И. Гальперов [11] рассматривают в качестве агентов потребителей электроэнергетической системы на региональных энергетических рынках. В работе Д. Н. Шульца и И. Н. Якуповой [21] рассматривали в качестве агентов потребителей и производителей товаров, а в качестве сценариев моделирования изменялась структура связей между ними и рассчитывалось суммарное потребление ресурсов.

Все три рассмотренных подхода к имитационному моделированию находят свое отражение в экономических исследованиях. Однако для каждого конкретного случая необходимо выбирать один

метод или совмещать несколько в рамках единой имитационной модели, исходя из уровня абстракции, наличия и вида связей между показателями. В частности, при исследовании промышленного предприятия на предмет его конкурентоспособности стоит отметить следующие моменты:

1) необходимо отразить внутреннюю структуру показателей промышленного предприятия в их совокупности с учетом наличия петель обратной связи;

2) необходимо строить имитационную модель, в которой имитируется деятельность целого промышленного рынка, а не одного предприятия, так как конкурентоспособность одного предприятия напрямую зависит от деятельности его конкурентов;

3) при исследовании промышленного предприятия необходимо особое внимание уделить институциональной среде промышленного рынка и ее влиянию на развитие и конкурентоспособность предприятия.

Исходя из выявленных предпосылок считаем целесообразным использовать комбинацию двух подходов — системной динамики и агентного моделирования. Агентный подход позволит спроектировать структуру отдельного предприятия, а нотация системной динамики — смоделировать зависимости внутри предприятий и влияние институциональной среды на них.

Имеющийся задел в области исследований промышленных предприятий позволяет систематизировать структуру конкурентоспособности промышленного предприятия, в состав которой входят конкурентоспособность продукции, стратегическое позиционирование, ресурсы предприятия и инновационная активность, о чем подробно сказано в работе Е. В. Кислицына [14], и представить интегральный показатель в виде (1):

$$K = \alpha \times K_{Prod}^{\beta_1} \times SP^{\beta_2} \times RE^{\beta_3} \times IA^{\beta_4}, \quad (1)$$

где K_{Prod} — конкурентоспособность продукции на рынке, SP — уровень стратегического позиционирования на рынке, RE — эффективность ресурсов предприятия, IA — инновационная активность предприятия, α, β — коэффициенты модели.

Эффективность ресурсов предприятия оценивается с использованием ресурсного подхода, нашедшего отражение в работе С. В. Ореховой и В. Ж. Дубровского [18], по формуле (2):

$$RE = \alpha \times \sum_{i=1}^6 \left(\beta_i \times \frac{V}{IR_i} \right), \quad (2)$$

где V — объем выручки, IR_i — объем инвестиций в i -й ресурс, α — коэффициент нормирования по-

казателя эффективности ресурсов, β_i — коэффициент важности ресурса ($\sum \beta_i = 1$).

Инновационная активность промышленного предприятия является важнейшей составляющей его конкурентоспособности, что доказано в трудах К. Фэнтези и С. Типу [2], К. Чжао и Б. Сана [9]. Она складывается из внутрифирменных инновационных факторов и воздействия институциональной среды. Говоря о влиянии институциональной среды промышленного рынка на инновационную активность функционирующих там предприятий, выделяют его конкурентную, научно-исследовательскую, финансовую и нормативно-правовую среды. При оценке конкурентной среды авторами предлагается использование концепции властной асимметрии, которая состоит из трех элементов: структурной, интеракционной и институциональной асимметрии, предложенной С. В. Ореховой, Е. В. Кислицыным и Ю. С. Баусовой [7] и представленной в формуле (4):

$$PA = SA \times IA \times IEA, \quad (4)$$

где SA — уровень структурной асимметрии, IA — уровень интеракционной асимметрии, IEA — уровень институциональной асимметрии.

Образовательная и научно-исследовательская среда также является фактором инновационной активности. Для оценки кадрового потенциала в рамках нашей работы рассматриваются количественные показатели выпускников вузов и их средний балл по направлениям подготовки, соотнесенным к видам деятельности по ОКВЭД. Для оценки научной деятельности в промышленном секторе используются количественные показатели защит диссертаций на соискание ученых степеней наук, соответствующих виду деятельности по ОКВЭД.

Предварительный вариант модели конкурентоспособности промышленного предприятия описан в работе Е. В. Кислицына [15], в которой, однако, не учтено несколько моментов:

1) данный вариант модели предполагает моделирование деятельности одного предприятия, учитывая деятельность других только косвенно (через экономические показатели конкуренции);

2) данный вариант модели моделирует деятельность предприятия и институциональной среды на одном концептуальном уровне, что фактически не отражает действительность: институциональная среда должна быть смоделирована на верхнем уровне, тогда как деятельность предприятий — на нижнем;

3) данный вариант модели использует только нотацию системной динамики, игнорируя наличие

иных типов зависимостей, кроме описанных причинно-следственными и потоковыми диаграммами.

Таким образом, в рамках настоящего исследования сделана попытка предложить принципиально иную структуру имитационной модели, основываясь на синтезе системной динамики и агентного подхода. Так, имитационная модель конкурентоспособности содержит два типа агентов — «Предприятие» и Main (институциональная среда). В агенте «Предприятие» необходимо разработать алгоритмы расчета четырех основных показателей, влияющих на конкурентоспособность, описанных в работе Е. В. Кислицына [14] (рис. 1). При этом последний показатель будет рассчитываться исходя из данных, полученных от агента Main.

Для расчета общего уровня конкурентоспособности промышленного предприятия используется системно-динамический подход. Сам показатель является мультипликативным, коэффициенты α и β рассчитываются эконометрическим путем по панельным данным (в рамках одного промышленного рынка за период 10 лет). Все основные показатели модели представляют собой динамические переменные, которые позволяют прописывать формулы прямо внутри них. В процессе имитации модели переменные будут изменять свои значения в динамике, что позволит проследить основные тенденции и спрогнозировать рост конкурентоспособности промышленного предприятия.

Эффективность ресурсов оценивается исходя из динамики основных видов ресурсов на предприятии и их влияния на эффективность функционирования исследуемого предприятия. Само изменение численности ресурсов задается с помощью потоковых диаграмм, где в качестве потоков рассматриваются прибытие ресурсов на предприятие и их выбытие за единицу времени (рис. 2).

Показатель стратегического позиционирования зависит от значений двух показателей конкуренции — индекса Бэйна и доли на рынке, которые представлены в модели в качестве динамических переменных. Однако здесь используется немного иной подход — для моделирования стратегических решений предприятия применяется диаграмма состояний, позволяющая смоделировать основные управленческие решения в области позиционирования на рынке. С помощью тривиальных

алгоритмов построена логика поведения агента, позволяющая: увеличить или уменьшить объемы производства (что повлечет за собой изменение доли на рынке), ввести новый вид продукта в производство (расширение ассортимента). В процессе дальнейших исследований предполагается расширение логики поведения агента в данной области. Для расчета доли рынка используются данные, подгружаемые из других агентов-предприятий.

Инновационная активность предприятия рассматривается на двух уровнях — внутриагентном и внешнем (влияние институциональной среды). Внутрифирменные факторы на данном этапе исследования зависят только от материально-технической базы предприятия (рис. 3).

Влияние институциональной среды комплексно отражено в соответствующей динамической переменной. Ее влияние складывается из четырех составляющих: конкурентная, научно-образовательная, финансовая и нормативно-правовая среда. Каждая из них представлена в виде такой же динамической переменной, изменяющейся под влиянием указанных ранее факторов (рис. 4).

Подобная архитектура имитационной модели содержит в себе основные аспекты функционирования предприятия и формирования его конкурентоспособности на промышленном рынке. Соединив агентный подход и нотацию системной динамики, имитационная модель позволит провести детальный анализ развития как отдельных предприятий, так и всего промышленного рынка в совокупности.

Таким образом, базируясь на имеющихся исследованиях в области имитационного моделирования экономических процессов и систем, мы обосновали инструментарий моделирования конкурентоспособности предприятия — агентное моделирование и системную динамику. Выделены основные составляющие конкурентоспособности промышленного предприятия. Особо отмечено влияние институциональной среды на рост конкурентоспособности предприятия. Разработанная архитектура агентной имитационной модели позволяет в дальнейшем наполнить ее эмпирическими данными и провести апробацию на примере любого промышленного рынка. В модели имеется возможность проведения простых экспериментов, а также расширять ее и подстраивать под любые промышленные предприятия и рынки.



Рис. 1. Структура показателя «конкурентоспособность»

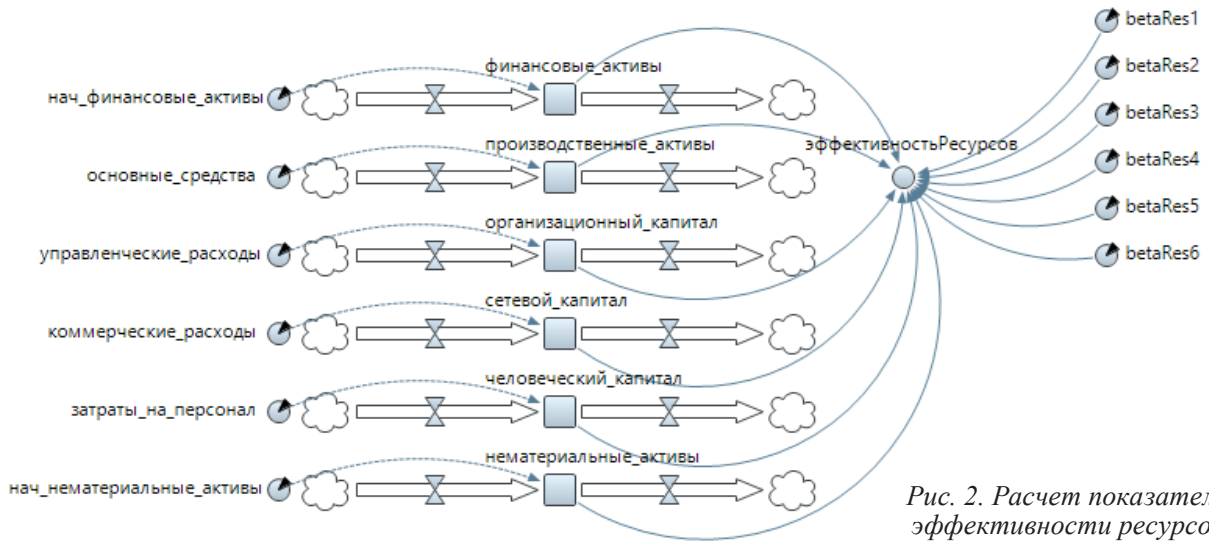


Рис. 2. Расчет показателя эффективности ресурсов



Рис. 3. Показатель внутрифирменной инновационной активности



Рис. 4. Моделирование влияния институциональной среды

Примечание: все рисунки — разработано автором.

Список литературы

1. Borshchev A., Karpov Y., Kharitonov V. Distributed Simulation of Hybrid Systems with AnyLogic and HLA // *Future Generation Computer Systems*. 2002. Vol. 18, № 6. P. 829—839.
2. Fantazy K., Tipu S. A. Exploring the relationships of the culture of competitiveness and knowledge development to sustainable supply chain management and organizational performance // *Journal of Enterprise Information Management*. 2019. Vol. 32, № 6. P. 936—963.
3. Forrester J. W. *Urban dynamics*. Waltham, MA: Pegasus Communications, 1969.
4. Forrester J. W. Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers // *Harvard Business Review*. 1958. Vol. 36. № 4. P. 37—66.
5. Lazareva N. V., Takhumova O. V., Krivokora Yu. N. Model Of Small Business Development And Its Competitiveness In Conditions Of Institutional Transformations // *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*. 2018. Vol. 9, № 6. P. 755—762.
6. Malcev N. V., Shaybakova L. F. Evaluation of the Innovative Activity Efficiency While Developing the Sectoral Technology Policy in the Region // *Smart Technologies and Innovations in Design for Control of Technological Processes and Objects: Economy and Production*. FarEastCon. 2019. Vol. 138. P. 858—868.
7. Orekhova S. V., Kislitsyn E. V., Bausova Yu. S. Study of Power Asymmetry in Industry Markets: A Russian Case // *Journal of Applied Economic Sciences*. 2018. Vol. 13. № 5 (59). P. 1181—1190.
8. Orekhova S. V., Kislitsyn E. V. Influence of power asymmetry on economic growth of industry markets: A Russian case // *Espacios*. 2019.
9. Zhao X., Sun B. The influence of Chinese environmental regulation on corporation innovation and competitiveness // *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 112. P. 1528—1536.
10. Бабина О. И. Имитационная модель склада промышленного предприятия по производству бетона // *Бизнес-информатика*. 2015. № 1 (31). С. 41—50.
11. Гальперова Е. В., Гальперов В. И. Моделирование поведения активного потребителя на основе агентного подхода // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2017. № 4 (8). С. 28—38.
12. Горелова Г. В., Мандель М. В. Имитационное моделирование как инструмент исследования регионального рынка труда // *Вестник Адыгейского государственного университета*. Сер. 5: Экономика. 2012. № 4 (111). С. 230—240.
13. Заернюк В. М., Анашкина Е. Н. Пути решения проблемы просроченной задолженности банков по розничным кредитам // *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. 2014. № 43 (229). С. 17—26.
14. Кислицын Е. В. Системный анализ конкурентоспособности инновационного потенциала промышленного предприятия // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2019. Т. 25, № 9. С. 114—122.
15. Кислицын Е. В. Конструирование имитационной модели конкурентоспособности и инновационной активности промышленного предприятия // *Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе*. 2019. № 3 (31). С. 5—19.
16. Куликова О. М. Оптимизация процессов планирования и использования ресурсов в сфере здравоохранения РФ // *Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий*. 2016. № 4 (20). С. 27—32.
17. Лычкина Н. Н. Синергетика и процессы развития в социально-экономических системах: поиск эффективных модельных конструкций // *Бизнес-информатика*. 2016. № 1 (35). С. 66—79.
18. Орехова С. В., Дубровский В. Ж. Специфика российской модели управления ресурсами фирмы // *Журнал экономической теории*. 2016. № 4. С. 113—124.
19. Радаев А. Е., Левенцов В. А. Системы поэтапного имитационного моделирования производственных процессов // *Организатор производства*. 2011. № 3 (50). С. 30—33.
20. Рамазанов Р. Р. Агентное моделирование формирования населенных пунктов // *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика*. Сер.: Экономика. 2016. № 3 (17). С. 76—82.
21. Шульц Д. Н., Якупова И. Н. Агентное моделирование влияния микроструктуры на свойства экономики // *Журнал экономической теории*. 2016. № 1. С. 70—81.

Сведения об авторе

Кислицын Евгений Витальевич — кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных технологий и статистики Уральского государственного экономического университета, Екатеринбург, Россия. kev@usue.ru

Bulletin of Chelyabinsk State University.

2020. № 10 (444). *Economic Sciences. Iss. 70. Pp. 129—136.*

DEVELOPMENT OF THE ARCHITECTURE OF AN AGENT SIMULATION MODEL OF INDUSTRIAL ENTERPRISE COMPETITIVENESS

E. V. Kislitsyn

Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia. kev@usue.ru

The relevance of this research is justified by the fact that many works in modern economic science devoted to research on competitiveness contain serious theoretical justifications, but there is practically no empirical testing of them. The purpose of this research is to develop the architecture of an agent — based simulation model of industrial enterprise competitiveness. The method of assessing the competitiveness of an industrial enterprise leads to evaluating its four components: the competitiveness of products in the market, the level of strategic positioning, the efficiency of the enterprise's resources and innovation activity. Based on the method of calculating the competitiveness of an enterprise, the author suggests building a multi — pass simulation model that uses both system dynamics notation and individual building blocks-agents. Industrial enterprises and the institutional environment are considered as agents. Algorithms for calculating the main indicators of competitiveness have been developed inside the agent. In general, this simulation model architecture allows you to conduct research on any industrial market in the Russian Federation.

Keywords: *competitiveness, simulation modeling, industrial enterprise, system dynamics, agent modeling.*

References

1. Borshchev A., Karpov Y., Kharitonov V. (2002) *Future Generation Computer Systems*, vol. 18, no. 6, pp. 829—839.
2. Fantazy K., Tipu S. A. (2019) *Journal of Enterprise Information Management*, vol. 32, no. 6, pp. 936—963.
3. Forrester J. W. (1969) *Urban dynamics*. Waltham, MA, Pegasus Communications.
4. Forrester J. W. (1958) *Harvard Business Review*, vol. 36, no. 4, pp. 37—66.
5. Lazareva N. V., Takhumova O. V., Krivokora Yu. N. (2018) *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 6, pp. 755—762.
6. Malcev N. V., Shaybakova L. F. (2018) *Smart Technologies and Innovations in Design for Control of Technological Processes and Objects: Economy and Production. FarEastCon*, vol. 138, pp. 858—868.
7. Orekhova S. V., Kislitsyn E. V., Bausova Yu.S. (2018) *Journal of Applied Economic Sciences*, vol. 13, no. 5 (59), pp. 1181—1190.
8. Orekhova S. V., Kislitsyn E. V. (2019) *Espacios*.
9. Zhao X., Sun B. (2016) *Journal of Cleaner Production*, vol. 112, pp. 1528—1536.
10. Babina O. I. (2015) *Business Informatics*, no. 1 (31), pp. 41—50 [in Russ.].
11. Gal'perova E. V., Gal'perov V. I. (2017) *Informacionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii*, no. 4 (8), pp. 28—38 [in Russ.].
12. Gorelova G. V., Mandel' M. V. (2012) *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 5: Ekonomika*, no. 4 (111), pp. 230—240 [in Russ.].
13. Zaernyuk V. M., Anashkina E. N. (2014) *Finansovaya analitika: problemy i resheniya*, no. 43 (229), pp. 17—26 [in Russ.].

14. Kislitsyn E. V. (2019) *Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 25, no. 9, pp. 114—122 [in Russ.].
15. Kislitsyn E. V. (2019) *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve*, no. 3 (31), pp. 5—19 [in Russ.].
16. Kulikova O. M. (2016) *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informacionnyh tekhnologij*, no. 4 (20), pp. 27—32 [in Russ.].
17. Lychkina N. N. (2016) *Business Informatics*, no. 1 (35), pp. 66—79.
18. Orekhova S. V. Dubrovskij V. Zh. (2016) *Zhurnal ekonomicheskoy teorii*, no. 4, pp. 113—124 [in Russ.].
19. Radaev A. E., Levencov V. A. (2011) *Organizator proizvodstva*, no. 3 (50), pp. 30—33 [in Russ.].
20. Ramazanov R. R. (2016) *Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovanie, ekonomika. Seriya: Ekonomika*, no. 3 (17), pp. 76—82 [in Russ.].
21. Shul'c D. N., Yakupova I. N. (2016) *Zhurnal ekonomicheskoy teorii*, no. 1, pp. 70—81 [in Russ.].