

Преимущества применения методов агент-ориентированного моделирования к оценке эффективности деятельности организаций ракетно-космической промышленности

Advantages of using agent-based modeling methods to assess the effectiveness of the activities of organizations of the rocket and space industry

В статье рассмотрены основные принципы применения методов агент-ориентированного моделирования (далее – АОМ), выявлены ключевые преимущества использования методов АОМ для оценки финансово-экономического состояния организаций ракетно-космической отрасли. Сформулированы предложения в части проведения оценки состояния и планирования развития организаций ракетно-космической отрасли с применением АОМ.

The article discusses the basic principles of the application of agent-based modeling methods (hereinafter – ABM methods), identifies the key advantages of using ABM methods to assess the financial and economic condition of organizations of the rocket and space industry. Recommendations on the assessment of state and planning of the development of organizations of the rocket and space industry with the usage of ABM methods have been formulated.

Ключевые слова: ракетно-космическая отрасль, финансово-экономическое моделирование, агент-ориентированное моделирование

Keywords: rocket and space industry, financial and economic modeling, agent-based modeling



ЖАМКОВА ВАЛЕРИЯ СЕРГЕЕВНА

Начальник Управления экономики РКП,
АО «Организация «Агат»

E-mail: ZhamkovaVS@agat-roskosmos.ru

ZHAMKOVA VALERIYA

Head of Rocket and Space Industry Economics Directorate,
JSC "Organization "Agat"



ХРУСТАЛЕВ ЕВГЕНИЙ ЮРЬЕВИЧ

Д.э.н., профессор, заведующий Лабораторией имитационного моделирования взаимодействия экономических объектов ЦЭМИ РАН

E-mail: stalev@cemi.rssi.ru

KHRUSTALEV EVGENIY

Grand Ph.D. in Economics, Professor, Head of Laboratory of Simulation Modeling of Interaction of Economic Objects of the CEMI of the Russian Academy of Sciences

**ТОЧИЛКИНА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА**

Ведущий эксперт сводного отдела мониторинга и анализа финансово-экономического состояния организаций РКП Управления экономики РКП, АО «Организация «Агат»

E-mail: TochilkinaOS@agat-roscoms.ru

TOCHILKINA OLGA

Leading expert of Consolidated Department of Monitoring and Analysis of Financial and Economic Conditions of the Rocket and Space Industry Organizations of Rocket and Space Industry Economics Directorate, JSC "Organization "Agat"

Для цитирования: Жамкова В.С. Преимущества применения методов агент-ориентированного моделирования к оценке эффективности деятельности организаций ракетно-космической промышленности / В.С. Жамкова, Е.Ю. Хрусталева, О.С. Tochilkina // «Экономика космоса». – 2024. – № 10. – С. 42-54. – DOI 10.48612/agat/space_economics/2024.03.10.05

Введение

В условиях быстро меняющихся технологических трендов возникает необходимость в использовании современного экономико-математического инструментария для планирования и прогнозирования деятельности организаций ракетно-космической промышленности (далее – РКП). В настоящем исследовании приводятся преимущества использования методов АОМ с примерами его успешного внедрения на промышленных предприятиях. В статье описывается структура иерархической организации агентов АОМ, а также предлагается модель взаимодействия структурных элементов предприятий РКП, учитывающая влияние внешних шоков на каждого агента. Предполагается, что ее применение позволит оптимально использовать имеющиеся ресурсы, усовершенствовать производственный процесс и принимать обоснованные решения по управлению предприятиями РКП.

Обоснование необходимости применения методов агент-ориентированного моделирования для оценки финансово-экономического состояния и планирования деятельности организаций РКП

Финансовые проблемы российской РКП являются ожидаемым результатом накопившихся системных проблем отрасли и, можно сказать, очевидным индикатором их наличия. Причины убытков организаций РКП можно разделить на две большие группы: внешние и внутренние. Внешние причины связаны с резкими негативными изменениями внешней среды, такими как санкции и контрсанкции в сфере РКП, ставшие основным негативным внешним фактором в 2023 г. и остающиеся таковым по настоящее время. К внешним угрозам также относится риск срыва поставок импортной электронной компонентной базы. К внутренним причинам относятся внутриорганизационные возможности

предприятий, связанные с уровнем использования производственно-технологического, кадрового потенциалов, загрузки производственных мощностей, недостатком государственного финансирования и т.д.

Оценка финансово-экономического состояния и планирование деятельности организаций ракетно-космической отрасли в настоящее время осуществляется в основном с применением статических моделей (например, модифицированная модель прогнозирования банкротства Эдварда Альтмана). Однако в современных быстро меняющихся макроэкономических условиях (санкции, рост цен на ресурсы, ограничение поставок импортных комплектующих и т.д.) приоритетной является не только оперативность оценки финансово-экономического состояния организаций РКП, но и возможность быстрой корректировки производственного и финансового плана в ответ на внешние изменения. В большинстве адаптивных систем планирования (формирование планов на основе коррекции плана прошлого периода в зависимости от результатов функционирования системы) не реализована возможность реакции на непредвиденные события и перепланирование производственной программы в реальном времени.

Таким образом, возникает необходимость разработки моделей, позволяющих оперативно и точно оценивать финансово-экономическое состояние организации и создавать систему мер по предотвращению рисков банкротства и рисков невыполнения мероприятий гособоронзаказа (далее – ГОЗ) в заданные сроки с требуемым уровнем качества в соответствии с заявленным бюджетом. Одним из способов обеспечения адаптивности является реализация распределенных систем планирования производственных процессов промышленных организаций в реальном времени на основе имитационных моделей, в частности агент-ориентированных моделей.

АОМ – метод имитационного моделирования, иссле-

дующий поведение децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом. Аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу-вверх»). Каждому элементу: оборудованию, ресурсу и т.д. ставится в соответствие программный агент, выступающий от имени своего элемента. Эти программные объекты способны анализировать ситуацию, принимать решения, взаимодействовать с другими агентами, вести переговоры друг с другом для разрешения возникающих конфликтов и затем информировать систему и пользователя о результатах своих действий.

Задачи, выполняемые в системе планирования ресурсов, имеют различный характер и должны быть запланированы, и затем выполнены в реальном времени. Таким задачам также могут ставиться в соответствие агенты. Таким образом, все сообщество агентов может быть представлено в виде динамической сети задач и ресурсов, представляющей из себя сеть потребностей и возможностей (далее – ПВ сеть). Агенты в ПВ сети образуют мультиагентную систему, состоящую из одной или более групп агентов, конкурирующих или сотрудничающих друг с другом с целью выполнить общую задачу таким образом, чтобы увеличить ценность принимаемых решений для системы в целом. Поведение мультиагентной системы планирования определяется не одним детерминированным алгоритмом, а возникает или формируется эволюционным путем из взаимодействия составляющих ее агентов.

Среди основных преимуществ АОМ можно выделить, во-первых, возможность оперативного реагирования на изменения во внешней среде, что в текущих условиях чрезвычайно актуально, а во-вторых, возможность учесть влияние на моделируемую систему в целом (проект, организация, группа организаций и т.п.) изменения любого из агентов «нижнего уровня» (ресурсы, оборудование, кадры и т.п.) в каждый момент времени. Эти преимущества позволяют использовать методы АОМ не только для оценки эффективности деятельности организаций РКП в целом, хотя и здесь методы АОМ обладают преимуществом точности оценки перед другими методами, применяющимися в настоящее время и указанными выше. Наиболее широко потенциал АОМ может быть раскрыт при использовании соответствующих моделей для определения источников неэффективности деятельности среди элементов структуры РКП, степени их влияния на эффективность деятельности организаций РКП и для оперативного перепланирования деятельности организаций РКП в ответ на негативные внешние воздействия.

АОМ, следовательно, может стать инструментом для повышения эффективности деятельности организаций РКП.

АОМ является подмножеством более широкого класса методов моделирования, целью которого является воспроизведение поведения реальных систем или процессов – имитационного моделирования. АОМ представляет собой один из способов создания имитационных моделей, который особенно эффективен для систем с множеством взаимодействующих и самостоятельных компонентов (агентов). Оно включает в себя различные методы: элементы теории игр, сложных систем, мультиагентных систем и эволюционного программирования, методы Монте-Карло и др. Например, методы Монте-Карло (группа статистических методов, использующих случайные числа и вероятностные распределения для решения математических задач) могут применяться в АОМ для моделирования сложных систем, учета случайного поведения агентов, проведения статистического анализа на основе большого количества симуляций и диапазона возможных исходов модели.

Примером применения метода Монте-Карло служит моделирование процесса наращивания объема выпуска продукции военного назначения в условиях диверсификации ее производства. В основе подхода лежит использование имитационного «розыгрыша» (моделирования) и оценка статистических закономерностей распределения выходных параметров моделей исследуемого процесса [1].

Модель АОМ РКП: подходы к моделированию, основные элементы модели и их взаимосвязи

Наличие большого объема достоверных данных позволяет разработать агент-ориентированную модель РКП, учитывающую взаимную зависимость показателей производственной, экономической и финансово-хозяйственной деятельности, текущее и планируемое состояние (как отрасли в целом, так и каждого предприятия в отдельности) [2]. Последующее внедрение таких моделей позволит существенно увеличить точность и достоверность построения прогнозных вариантов развития предприятий отрасли.

При агент-ориентированном моделировании РКП следует учесть, что агенты образуют иерархически связанную структуру: отрасль – предприятие – структурные элементы предприятия (последние представлены в целях данной статьи укрупненно, при дальнейшей детализации в ходе разработки модели каждый структурный элемент может быть представлен как совокупность агентов более низкого уровня). Иерархическая связь проявляется таким образом, что действия агентов-структурных эле-

ментов влияют на состояние агентов-предприятий, а действия агентов-предприятий, в свою очередь, влияют на состояние агента-отрасли РКП [3]. При этом на каждого агента оказывает воздействие внешняя среда.

Агент-ориентированные модели могут быть разработаны для следующих уровней:

- государственная программа, федеральный проект;
- проект по разработке и производству изделий ракетно-космической техники (далее – РКТ);
- головной исполнитель контракта;
- предприятие, выполняющее мероприятия в части реализации нескольких проектов.

Для целей данной статьи была рассмотрена агент-ориентированная модель для предприятия, выполняющего мероприятия в части реализации нескольких проектов (рис. 1).

Для уровня реализации задач в рамках выполнения предприятием этапов проекта АОМ целесообразно применить для оценки оптимальной загрузки ресурсов предприятия в целях обеспечения выполнения заданий в срок. Агентами здесь являются группы ресурсов подразделения. Целью является равномерная загрузка группового ресурса (трудовые ресурсы, производственно-технологические ресурсы, материальные, др.) на заданном интервале времени с учетом последовательности производственного процесса по разработке и изготовлению продукции РКТ. При моделировании должны учитываться ограничения по объему выполняемых работ заданного типа.

Анализ деятельности предприятий РКП позволяет построить следующую ПВ сеть (рис. 2).

Равновесие данной ПВ сети является условием опти-

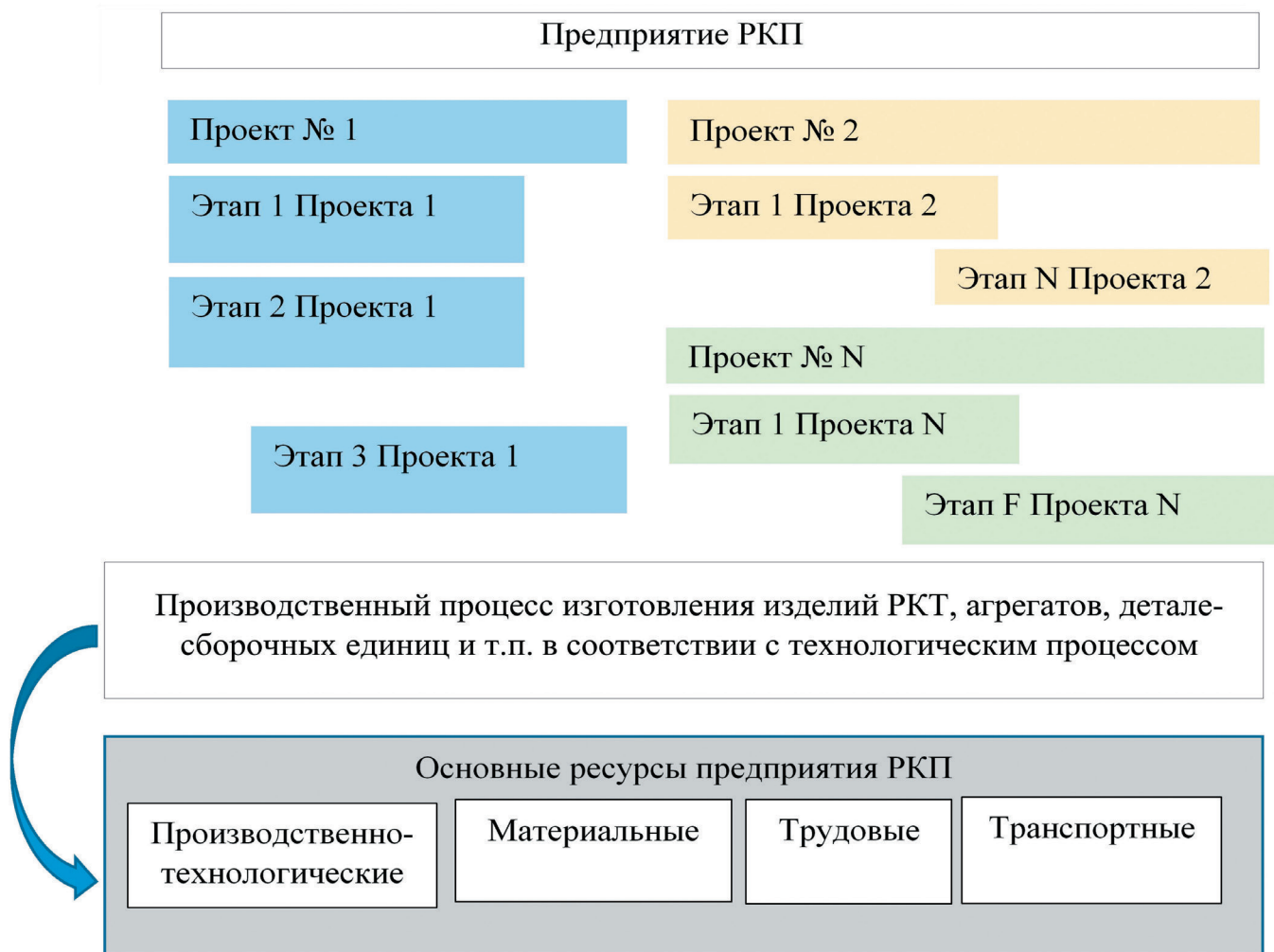


Рис. 1. Укрупненная структура деятельности предприятия по изготовлению изделий (агрегатов, ДСЕ и др. составных частей РКТ) в рамках выполнения этапов проектов. Источник: составлено авторами по результатам исследования

мальности расчетных параметров АОМ-модели.

Важным понятием АОМ является функция удовлетворенности агента. Это функция, отражающая состояние агента в текущий момент времени. Функция удовлетворенности может быть: а) бинарной и принимающей значение 0, если агент нуждается в каком-либо ресурсе и 1, если агенту всего достаточно, или б) непрерывной на промежутке от 0 до 1, в этом случае функция отражает степень удовлетворенности агента. Например, если структурный элемент «Производство» в текущий момент времени имеет все необходимые для производства ресурсы (работники, оборудование, технологии, комплектующие), то функция удовлетворенности его агента равна 1; если же какого-то ресурса недостаточно для производства, то функция удовлетворенности агента «Производство» приравнивается 0. Другой пример: если у структурного элемента «Финансы» в текущий момент времени имеется возможность удовлетворить финансовые потребности только агента «Кадры», при наличии финансовых потребностей также у агента «Склад», то функция удовлетворенности агента «Финансы» примет значение от 0 до 1 (в зависимости от объемов соответствующих финансовых потребностей).

Функции удовлетворенности агентов определяют поведение агентов: при максимальном значении функции агент действует «по умолчанию», согласно установленному алгоритму, при минимальном – направляет запросы о потребности в каком-либо ресурсе связанным с ним агентам, являющимся источниками соответствующих ресурсов.

Равновесие ПВ сети на уровне предприятия РКП определяется решением задачи максимизации функции удовлетворенности агента «Предприятие», которая складывается из (взвешенной) суммы функций удовлетворенности агентов, соответствующих структурным элементам («Финансы», «Производство», «Кадры» и т.д.).

Рассмотрим моделирование поведения агентов более подробно и формализовано.

Агент «Отгрузка». Данный агент отражает состояние выполнения производственной программы. Ресурсами для агента являются изделия РКТ, включенные в производственную программу на текущий период. Обозначив функцию удовлетворенности агента как F_{ot} , получим:

$$F_{ot} = \begin{cases} 0, & Q_{it} < QN_{it} \\ 1, & Q_{it} \geq QN_{it} \end{cases}, \forall i \in [1; K] \quad (1)$$

где:

- Q_{it} – количество i -го вида продукции, которая изготовлена по состоянию на момент времени t ;
- QN_{it} – количество i -го вида продукции, которая должна быть изготовлена по состоянию на момент

времени t согласно плану;

- K – количество выпускаемых предприятием видов продукции.

Таким образом, $F_{ot} = 0$, если производство отстает от плана, и $F_{ot} = 1$, если оно соответствует или опережает план. В случае, если $F_{ot} = 0$, т.е. когда имеется отставание от плана по какому-либо виду продукции, агент «Отгрузка» направляет запрос агенту «Производство» с указанием недостающего количества изделий. При моделировании учитывается приоритетность изделий, поставки которых осуществляются в рамках ГОЗ, для обеспечения первоочередности запроса этой продукции агентом «Отгрузка». Это может быть реализовано с помощью весовых коэффициентов, которые присваиваются каждому виду производимой продукции.

Агент «Производство». Данный агент отражает производственный процесс изготовления изделий РКТ. Ресурсами для агента являются технологии, оборудование, работники и комплектующие. Функция удовлетворенности агента, обозначаемая F_{pt} , равна

$$F_{pt} = \begin{cases} 0, & R_{jt} < RN_{jt} \\ 1, & R_{jt} \geq RN_{jt} \end{cases}, \forall j \in [1; M], \quad (2)$$

где:

- R_{jt} – количество j -го вида ресурса, которое имеется в наличии на производстве в момент времени t ;
- RN_{jt} – количество j -го вида ресурса, необходимое в момент времени t для выполнения производственных операций согласно плану производственной программы;
- M – количество потребляемых на предприятии ресурсов.

Таким образом, функция удовлетворенности приравнивается 0 в момент времени t , если в этот период для реализации технологического процесса (на любой стадии) не хватает какого-либо ресурса, и 1, если ресурсов достаточно или имеется запас. В случае, если $F_{pt} = 0$, агент «Производство» направляет запросы с указанием недостающего количества:

- агенту «Склад» – комплектующих или материалов;
- агенту «Кадры» – работников определенной квалификации [4];
- агенту «Технологии» – технологической оснастки, специального оборудования;
- агенту «Техническое обеспечение» – производственных мощностей.

Следует отметить, что агент «Производство» может состоять из более низкоуровневых агентов, таких как «НИР», «ОКР», «серийное производство», взаимодействие которых осуществляется по аналогичному принципу.

Агенты «Склад», «Кадры», «Технологии»,

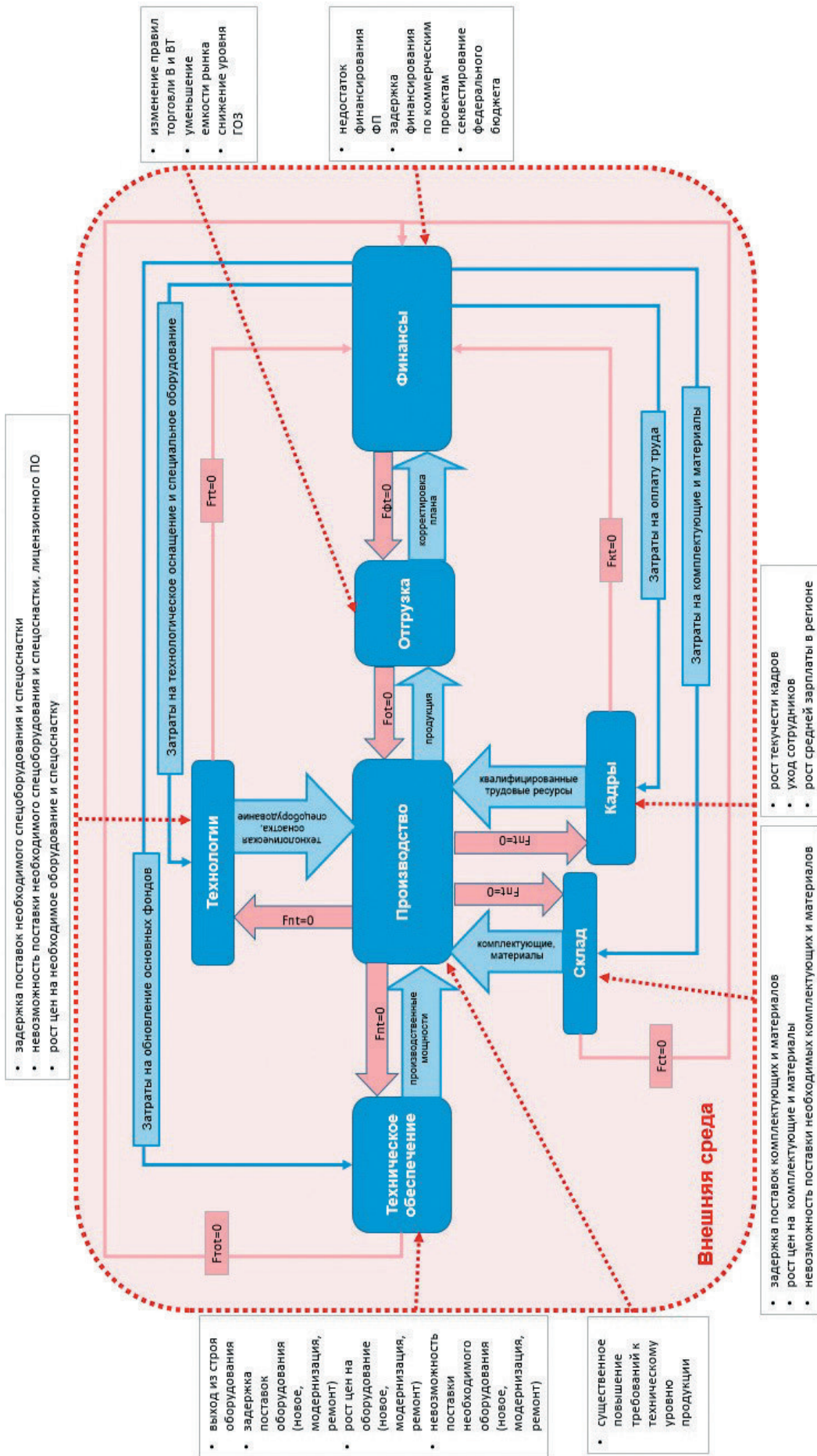


Рис. 2. Взаимодействие агентов внутри ПВ сети (упрощенное представление).
Источник: составлено авторами по результатам исследования

«Техническое обеспечение». Данные агенты отражают процесс снабжения производства необходимыми ресурсами. Ресурсами для агентов являются финансы, позволяющие обеспечить бесперебойное снабжение. Функции удовлетворенности агентов F_{c_t} , F_{k_t} , F_{t_t} и F_{to_t} приравниваются 0 в момент времени t , если имеющихся в их распоряжении финансовых средств недостаточно для удовлетворения запросов агента «Производство» и 1, если их достаточно или имеется запас.

В случае, если функция удовлетворенности какого-либо агента из этой группы равна 0, этот агент направляет запросы агенту «Финансы» с указанием недостающих объемов средств.

Агент «Финансы». Данный агент отражает ограничения ПВ системы. Ресурсом для агента является выручка предприятия. Функция удовлетворенности агента F_{Φ_t} нулевая, если выручки недостаточно для удовлетворения потребностей всех агентов, для которых агент «Финансы» является источником ресурсов, и равна 1, если выручки достаточно:

$$F_{\Phi_t} = \begin{cases} 0, & V_t < \sum_{p=1}^P W_{pt} \\ 1, & V_t \geq \sum_{p=1}^P W_{pt} \end{cases}, \quad (3)$$

где:

- V_t – выручка, имеющаяся в момент времени t ;
- W_{pt} – сумма, необходимая для удовлетворения потребностей агента p в финансовых ресурсах в момент времени t ;
- P – количество агентов (в данном случае их 4: кадры, технологии, склад и техническое обеспечение).

Источник ресурса для агента «Финансы» зависит, во-первых, от объема финансирования проектов, в которых участвует предприятие, во-вторых, от объема ГОЗ и, в-третьих, от корректности составления производственной программы. Поэтому если $F_{\Phi_t} = 0$, агент направляет два запроса: один внешнему агенту

«Федеральная программа» с указанием необходимого объема дофинансирования, и второй – агенту «Отгрузка» с запросом коррекции производственной программы.

Данная модель, как было указано выше, позволяет учитывать воздействие внешней среды в любой момент времени. Помимо уже упомянутого объема финансирования по федеральным программам и проектам, которое, хотя и является внешним, однако гипотетически оно может быть предсказано и на него в определенных границах можно повлиять, может быть учтено внешнее воздействие непредсказуемого характера [5; 10]. Например, цены на сырье и комплектующие могут вырасти, работники могут увольняться ввиду появления более привлекательных вакансий, поставка импортных комплектующих может быть задержана или прекращена, оборудование для производства может выходить из строя из-за аварийных ситуаций, поставки нового оборудования могут задерживаться и т.д. Таким образом, каждый агент ПВ-сети может быть подвержен внешнему воздействию.

Анализ и сопоставление отраслевой отчетности РКП (например, отчетности по форме 1-ГОЗ) с данными из других источников позволяют построить упрощенную матрицу вероятностей и последствий наступления неблагоприятных внешних событий. Ранжирование вероятностей наступления событий и существенности последствий может осуществляться в соответствии с Национальным стандартом Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 17666-2021 «Менеджмент риска. Космические системы» и другими национальными стандартами¹ в области оценки риска².

Целесообразно на первых этапах моделирования учитывать при моделировании наиболее вероятные внешние события с наиболее ощутимыми последствиями. В дальнейшем по мере усложнения модели в нее включается возможность реагирования и на менее вероятные и значимые внешние воздействия.

Степень риска/ Тяжесть последствий	Средняя	Высокая
Маловероятно	<ul style="list-style-type: none"> • рост показателя текучести кадров; • нерациональное использование производственных мощностей; • нарушение правил и сроков эксплуатации техники; 	<ul style="list-style-type: none"> • неготовность организаций к участию в кооперации; • снижение уровня технологической независимости

¹ Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 ноября 2021 г. N 1485-ст.

² Например, ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Методы оценки риска (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 01.12.2011 N 680-ст) и ГОСТ Р ИСО/МЭК 31000-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент риска. Принципы и руководство (утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 10.12.2019 N 1379-ст).

Степень риска/ Тяжесть последствий	Средняя	Высокая
Маловероятно	<ul style="list-style-type: none"> моральный и физический износ оборудования; рост себестоимости продукции и ОКР; наличие убыточных / находящихся в предбанкротном состоянии организаций кооперации; недостаточная развитость системы выбора поставщиков, отсутствие альтернатив в кооперации 	
Вероятно	<ul style="list-style-type: none"> невозможность / сложность закупки лицензионного программного обеспечения; секвестирование бюджетов федеральных целевых программ; ухудшение ситуации с отечественной компонентной базой 	<ul style="list-style-type: none"> нарушение логистических цепочек

Табл. 1. Упрощенная матрица вероятностей и последствий.
Источник: составлено авторами по результатам исследования

При моделировании внешних воздействий необходимо учитывать вероятностный характер наступления внешних событий [6]. Например, при расчете длительности задержки поставок комплектующих или материалов могут быть использованы функции распределения вероятностей длины задержки поставок. Функция распределения показывает, с какой вероятностью задержка поставок составляет меньше определенного срока [7]:

$$F(X) = P(X \leq x), \quad (4)$$

где:

- $F(X)$ – функция распределения вероятности величины X ;
- $P(X \leq x)$ – вероятность того, что задержка срока поставок оборудования составит меньше x дней;
- X – случайная величина, обозначающая задержку срока поставок комплектующих.

Эта функция либо строится на основе ретроспективных данных (при условии, что таких данных достаточно), либо делается допущение о нормальности распределения длительности задержки поставок (при недостатке данных). Сценарное моделирование с учетом внешних воздействий может осуществляться либо с участием пользователя (система находит равновесие и ждет пользовательского ввода данных по возмущениям внешней среды), либо автоматически (т.е. с просчетом всех возможных вариантов) [8]; выбор конкретного варианта

осуществляется в ходе разработки модели. После получения информации по внешним воздействиям модель начинает поиск новых условий равновесия.

Таким образом, взаимодействие агентов в ПВ-сети осуществляется непрерывно, пока не будет достигнуто равновесие. Для каждого момента времени в модели рассчитывается ряд параметров и показателей, которые сами по себе представляют интерес с точки зрения анализа механизмов формирования эффективности предприятий РКП.

При этом в случае, если в какой-то этап выполнения проекта неблагоприятные внешние воздействия приводят к тому, что первоначальный производственный план не может быть выполнен при тех трудозатратах, затратах материалов, комплектующих, «затратах» оборудования и технологий, которые были в него заложены, первоначальный план корректируется. При корректировке модель исходит из следующих предпосылок:

1. Выполнение ГОЗ в установленный срок и в установленном объеме является приоритетом, т.е. ресурсы в первую очередь будут направляться на производство в рамках ГОЗ.
2. При корректировке должны задействоваться все имеющиеся резервы (увеличение загрузки производственных мощностей, сверхурочная работа).
3. Если резервов недостаточно для выполнения производственного плана в предусмотренный срок,

оценивается возможность привлечения дополнительных ресурсов (закупка дополнительного оборудования, найм дополнительных сотрудников).

Следует отметить, что для реализации возможности корректировки планов в реальном времени необходимо, чтобы данные по производственному процессу также предоставлялись в реальном времени. Так, для корректировки годового плана в течение года необходимо использовать в модели данные текущего года по загрузке производственных мощностей, численности основного производственного персонала и т.д. В текущих условиях возможность предоставления данных в реальном времени реализуется лишь по части показателей.

Подход к расчетам

Для верификации и апробирования первоначальная версия АОМ может быть построена с использованием ретроспективных данных по показателям деятельности РКП.

Целью апробации является проверка работоспособности и адекватности разработанной модели с использованием реальных данных. При расчетах используются

показатели деятельности РКП по производству, финансам, кадрам и т.д. [9]. Результатом вычислений является определение значения функций удовлетворенности каждого агента в каждый момент времени, для которого доступны отчетные данные. При этом могут быть использованы следующие показатели по соответствующим формам отчетности (табл. 2).

Эти показатели являются входными данными для модели. В процессе моделирования на их основе и с их использованием в каждый момент времени могут быть рассчитаны выходные данные – показатели, позволяющие оценить эффективность деятельности предприятий РКП – такие как производительность труда, рентабельность, фондоотдача и другие показатели [11]. Модель позволит определить механизмы и степень влияния внутренних и внешних факторов на показатели эффективности деятельности предприятий РКП.

Примеры успешного внедрения АОМ на промышленных предприятиях

Применение АОМ на ряде российских и зарубежных предприятий машиностроения позволило принимать

Агент	Статистические показатели, определяющие функцию удовлетворенности агентов	Форма отчетности
«Отгрузка»	Объем отгруженной продукции (предусмотрено контрактами, выполнено)	1-ВП, 1-А,1-Б, 1-ПО
	Плановый объем производства, фактический объем производства, объем реализованной продукции	1-НК
	Объем поставок и производства продукции на экспорт	1-экспорт
	Задано к выпуску продукции, авансировано, факт сдачи, срыв срока	Мониторинг ПГН, 1-ГОЗ
«Производство»	Среднегодовая производственная мощность, средний уровень загрузки производственных мощностей	БМ, 1-ПМ
	Количество и состав оборудования	11-в, 11-с
	Основной производственный персонал, цеховой персонал, трудоемкость	1-к, 1-а, 1-б, 1-ВП
	Сырье, материалы, комплектующие, работы и услуги сторонних организаций	СР, 1-предприятие, 3-смета

«Производство»	Количество РИД, используемых в производстве	РИД-1
	Используемые технологии	1-технология
«Техническое обеспечение»	Амортизационные отчисления	СР
	Количество и состав оборудования	11-в, 11-с
	Сведения о приобретенном и модернизированном оборудовании, количество оборудования, плановые инвестиции	ПБ-5
«Технологии»	Прямые затраты на специальную технологическую оснастку, специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ, подготовка и освоение производства	СР, 1-технология
«Кадры»	Затраты на оплату труда	СР
	Затраты на обучение персонала	11-к
	Кадровый резерв	8-к
	Принято в штат	3-к
	Среднемесячная заработная плата	7-к
«Склад»	Структура цены продукции, договорные цены	3-смета
	Сырье, материалы, комплектующие, работы и услуги сторонних организаций	СР, 1-предприятие
	Объем импорта	1-импорт
«Финансы»	Прибыль, выручка, кредиторская задолженность, дебиторская задолженность, амортизация, долгосрочные займы, краткосрочные займы	Бухгалтерская отчетность
	Авансировано, задолженность госзаказчика, использование кредитных средств, кредиторская задолженность	1-ГОЗ

Табл. 2. Показатели статистической отчетности предприятий РКП, используемые для расчетов при апробации моделей АОМ «Предприятие» и АОМ «Проект».
Источник: составлено авторами по результатам исследования

более обоснованные решения, оптимизировать производственные процессы, что в конечном итоге привело к росту эффективности предприятий.

Пример 1. В 2012 году на предприятии General Electric после модернизации производственного процесса возникла необходимость увеличивать объемы выпуска продукции в условиях неопределенности, при этом

требовалось снижать себестоимость товаров. Каждый день на производстве отслеживалось более 27 000 статистических показателей, и был необходим инструмент для их обработки и получения ответов на появляющиеся вопросы и проверки предположений.

Специалисты GE выбрали в качестве такого инструмента комбинацию агент-ориентированного и имита-

ционного моделирования, что позволило им создать систему поддержки для принятия решений в реальном времени с более точными прогностическими способностями на долгосрочном плане по сравнению с традиционными аналитическими методами. Модели GE использовались для определения пропускной способности производственных систем, анализа их динамики, определения узких мест, планирования этапов запуска и расширения производства. Система также использовалась для оценки соотношения цена/прибыль инвестиций и оптимизации производства и способствовала постоянному улучшению производственных процессов.

Разработанный инструмент позволил GE принимать обоснованные решения на основе отслеживания рабочих процессов в реальном времени, что впоследствии привело к увеличению пропускной способности производственного комплекса и снижению издержек.

Пример 2. Немецкий автомобилестроительный гигант из Штутгарта использовал АОМ для оптимизации производственных процессов на своем заводе. Агент-ориентированная модель успешно показала себя, позволив протестировать и подтвердить эффективность проекта по внедрению мобильных роботов до начала его финансирования. Также с помощью модели был проведен анализ работы штата из более 70 человек, в результате удалось увеличить эффективность на 5% и определить пути дальнейшего роста эффективности.

Разработчики заложили в модель такие принципы, как гибкость, масштабируемость, использование реальных данных и быстрая адаптируемость. В результате модель получилась универсальной и быстро настраиваемой под изменяющиеся условия производства. Например, если на заводе внедряют новые технологии, это можно будет легко добавить в существующую модель. Кроме того, ее можно масштабировать, чтобы отразить работу других заводов. Разработчики использовали модульный подход, чтобы обеспечить адаптируемость модели к стремительно меняющимся в современном мире производственным условиям. Поэтому инновации и модифицированные рабочие процессы можно смоделировать отдельно, а затем интегрировать в общую модель для анализа. Данная модель предоставляет 90% расчетов по оценке эффективности производства, которые раньше при планировании осуществлялись вручную. Это экономит время и позволяет провести дополнительные проверки без дополнительных трудозатрат.

Заключение

Подводя итог, можно отметить следующие основные преимущества методов АОМ:

1. В отличие от других применяемых в планировании и прогнозировании деятельности РКП методов, методы АОМ позволяют оценить не только ключевые финансовые показатели эффективности деятельности организаций (рентабельность, оборачиваемость капитала и т.п.), но и показатели эффективности производственно-хозяйственной деятельности (производительность труда, максимально возможный выпуск продукции/загрузка мощностей, затраты на 1 руб. произведенной продукции, фондовооруженность, энергоэффективность, материалоемкость и др.).
2. Применение АОМ позволяет провести оценку параметров распределения ресурсов (организаций, проектов, отрасли в целом), обеспечивающих достижение максимальных показателей эффективности.
3. Применение АОМ предполагает учет влияния внешней среды. Примером влияющих внешних воздействий могут послужить данные об изменении стоимости ресурсов и проектов, изменении графика выполнения поставок материалов, отказе оборудования и пр., часть из которых может прогнозироваться, часть – несут совершенно случайный характер. Возможность в реальном времени наблюдать этапы выполнения проекта, своевременно выявлять угрозы и формировать мероприятия по их устранению будет полезна как для мониторинга выполнения проекта, так и для оценки эффективности деятельности организаций.
4. Наличие исходных статистических данных позволяет построить агент-ориентированную модель для предприятий РКП. Модель может быть сконструирована гибкой и адаптируемой, с учетом влияния внешних воздействий. Такая модель позволит более рационально использовать имеющиеся ресурсы, оптимизировать производство и принимать более обоснованные управленческие решения по управлению предприятиями РКП.

Список литературы

1. Батьковский А. М. Моделирование процесса наращивания объема выпуска продукции военного назначения при диверсификации ее производства / А. М. Батьковский, М. А. Батьковский, П. В. Кравчук, Е. Ю. Хрусталеv. – Текст: электронный // Original Research Journal. – 2023. – Т. 12, № 9. – URL: <http://edj.ru/article/16-02-23> (дата обращения: 09.12.2024).
2. Макаров В. Л. Ситуационное моделирование – эффективный инструмент для стратегического планирования и управления / В. Л. Макаров, А. Р. Бахтизин, Е. Д. Сушко. – Текст: непосредственный // Управленческое консультирование. – № 6. – 2016. – С. 26–39.
3. Акбердина В. В. Иерархическая агент-ориентированная модель управления промышленным комплексом / В. В. Акбердина, А. Ф. Шориков. – Текст: непосредственный // Журнал «Управленец». – Т. 13, № 6. – 2022. – С. 2-14.
4. Ларин С. Н. Использование модульных технологий обучения для моделирования ключевых компетенций специалистов с учетом квалифицированных требований / С. Н. Ларин, Н. А. Соколов, Е. Ю. Хрусталеv. – Текст: непосредственный // Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского международного конгресса. – 2022. – С. 41-51.
5. Коровин Г. Б. Агент-ориентированная модель цифровизации промышленности региона / Г. Б. Коровин. – Текст: непосредственный // Журнал «Вестник Забайкальского государственного университета». – Т. 28, № 7. – 2022. – С. 104–114.
6. Смирнова Е. А. Методы принятия решений в транспортной логистике с учетом закона распределения вероятностей / Е. А. Смирнова, В. А. Нос. – Текст: непосредственный // Журнал «Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)». – 2019. – № 3 (67). – С. 33-40.
7. Орлов А. И. Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков при создании ракетно-космической техники / А. И. Орлов. – Текст: непосредственный // Научный журнал КубГАУ. – № 102 (08). – 2014. – С. 78-111.
8. Шориков А. Ф. Прогнозирование и минимаксное оценивание состояний производственной системы при наличии рисков / А. Ф. Шориков. – Текст: непосредственный // Журнал «Прикладная информатика». – 2022. – Т. 17, № 4. – С. 97–112.
9. Исаков И. С. Автоматизация сбора данных о финансово-хозяйственной деятельности предприятий отрасли / И. С. Исаков, В. С. Жамкова, А. М. Фомичев. – Текст: непосредственный // Журнал «Экономика космоса». – 2023. – № 3 (5). – С. 42-48. – DOI: 10.48612/agat/space_economics/2023.02.05.04.
10. Кормаченко П. Б. Развитие методики оценки финансовых рисков от невыполнения ГОЗ на предприятиях ОПК: магистерская диссертация / П. Б. Кормаченко; Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Институт экономики и управления, Кафедра финансов, денежного обращения и кредита. – Екатеринбург, 2021. – 103 с. – Библиогр.: С. 94-100 (65 назв.). – Текст: электронный. – URL: <https://elar.ufu.ru/handle/10995/98216> (дата обращения: 09.12.2024).
11. Кислицын Е. В. Разработка архитектуры агентной имитационной модели конкурентоспособности промышленного предприятия / Е. В. Кислицын. – Текст: непосредственный // Журнал «Вестник Челябинского государственного университета». Экономические науки. Вып. 70. – 2020. – № 10 (444). – С. 129-136.

List of literature

1. Batkovsky A. M. Modeling of the process of increasing the volume of military products with the diversification of its production / A. M. Batkovsky, M. A. Batkovsky, P. V. Kravchuk, E. Y. Khrustalev. – Text: electronic // Original Research Journal. – 2023. – Vol. 12, № 9. – URL: <http://edj.ru/article/16-02-23> (accessed: 09.12.2024).
2. Makarov V. L. Situational modeling is an effective tool for strategic planning and management / V. L. Makarov, A. R. Bakhtizin, E. D. Sushko. – Text: direct // Management consulting. – № 6. – 2016. – pp. 26-39.
3. Akberdina V. V. Hierarchical agent-based model of industrial complex management / V. V. Akberdina, A. F. Shorikov. – Text: direct // Journal “Manager”. – Vol. 13, № 6. – 2022. – pp. 2-14.
4. Larin S. N. The use of modular learning technologies for modeling key competencies of specialists taking into account qualified requirements / S. N. Larin, N. A. Sokolov, E. Y. Khrustalev. – Text: direct // Higher school: scientific research. Materials of the Interuniversity International Congress. – 2022. – pp. 41-51.
5. Korovin G. B. Agent-based model of digitalization of industry in the region / G. B. Korovin. – Text: direct // Journal “Bulletin of the Trans-Baikal State University”. – Vol. 28, № 7. – 2022. – pp. 104-114.
6. Smirnova E. A. Decision-making methods in transport logistics taking into account the law of probability distribution / E. A. Smirnova, V. A. Nos. – Text: direct // Journal “Bulletin of the Rostov State University of Economics (RINH)”. – 2019. – № 3 (67). – pp. 33-40.
7. Orlov A. I. Additive-multiplicative model of risk assessment in the creation of rocket and space technology / A. I. Orlov. – Text: direct // Scientific journal of KubGAU. – № 102 (08). – 2014. – pp. 78-111.
8. Shorikov A. F. Forecasting and minimax assessment of the state of the production system in the presence of risks / A. F. Shorikov. – Text: direct // Journal of Applied Informatics. – 2022. – Vol. 17, № 4. – pp. 97-112.

9. Isakov I. S. Automation of data collection on financial and economic activities of industry enterprises / I. S. Isakov, V. S. Zhamkova, A.M. Fomichev. – Text: direct // Journal “Space Economics”. – 2023. – № 3 (5). – pp. 42-48. – DOI: 10.48612/agat/space_economics/2023.02.05.04.
10. Kormachenko P. B. Development of a methodology for assessing financial risks from non-fulfillment of state obligations at defense industry enterprises: master’s thesis / P. B. Kormachenko; Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Institute of Economics and Management, Department of Finance, Monetary Circulation and Credit. – Yekaterinburg, 2021. – 103 p. – Bibliography: pp. 94-100 (65 titles). – Text: electronic. – URL: <https://elar.ufu.ru/handle/10995/98216> (accessed: 09.12.2024).
11. Kislitsyn E. V. Development of the architecture of an agent-based simulation model of the competitiveness of an industrial enterprise / E. V. Kislitsyn. – Text: direct // Journal “Bulletin of the Chelyabinsk State University”. Economic sciences. Issue. 70. – 2020. – № 10 (444). – pp. 129-136.

Рукопись получена: 06.12.2024

Рукопись одобрена: 12.12.2024