

## Применение социального моделирования с использованием агент-ориентированного подхода в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала

Владимир И. Абрамов <sup>1</sup>	wladi-mir.abramow@gmail.com	ORCID 0000-0001-5714-2358
Антон Н. Кудинов <sup>1</sup>	a.kudinov13@gmail.com	ORCID 0000-0001-8300-7061
Дмитрий С. Евдокимов <sup>1</sup>	dimaevd15@gmail.com	ORCID 0000-0001-8304-9448

<sup>1</sup> Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, Нахимовский проспект, 47, Москва, 117418, Россия

**Аннотация.** Агент-ориентированные модели (АОМ) и мультиагентные системы (МАС) могут использоваться для решения проблем во многих областях исследований – от естественных наук и информатики до экономики и социальных наук. Многие природные и социальные явления могут быть представлены в виде сложной имитации. Таким образом, с течением времени агентные модели и мультиагентные системы оказались действительно мощным инструментом в таких сферах, как экономика и торговля, здравоохранение, городское планирование и социальные науки. Кроме того, мультиагентная система может быть представлена как искусственное общество, аналогичное человеческому и состоящее из сущностей с характеристиками, сходными с человеческими, например, с точки зрения автономии и интеллекта. В основе АОМ лежит принцип объективной ориентированности, а также эволюции (обучения) агентов в процессе моделирования различных вариантов предлагаемых событий. Несмотря на всю кажущуюся простоту правил взаимодействия между агентами, получаемые результаты, как правило, неочевидны, а также вполне осмысленны и содержательны. АОМ могут быть разработаны как на микроуровне, так и представлять собой модели с множеством агентов на макроуровне. О концепции мультиагентных систем, которые сразу приобрели сторонников и поддержку как в научных кругах, так и в индустриальных сообществах, впервые заговорили в середине 1980-х годов. За последние 30 лет методология создания МАС постоянно совершенствовалась: активно развивались технологии и инструменты для ее продвижения и использования при управлении крупномасштабными сетевыми структурами (такими, как оборонные комплексы, энергетика, здравоохранение, транспорт, логистика, управление городским хозяйством, коллективная робототехника и пр.). Область применения МАС обширна. Анализ реализованных МАС доказывает, что в настоящее время инструмент является самой передовой технологией для управления любыми объектами, построенными на принципах самоорганизации. Однако, несмотря на всю очевидность позитивных перспектив внедрения технологии АОМ, число примеров ее успешного применения на сегодняшний день мало. В связи с этим, для дальнейшего распространения инструментария особенно актуально создание новых площадок для обсуждения международного опыта и совершенствования подхода к имитационному моделированию в целом. Создание открытого консорциума по агент-ориентированному моделированию, а также работа по содействию в разработке и коммуникации, распространению результатов исследований, осуществлению образовательной деятельности в совокупности позволят внести вклад в развитие агент-ориентированного моделирования. Проведенные в работе анализ и обзор существующей методологии социального моделирования с использованием агент-ориентированного подхода в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала, показали, что модели, отличающиеся сложными многоуровневыми процессами и взаимодействиями агентов, обладают более емкими программными конструкциями, которые зависят в большей степени от «тонкой» настройки самих агентов. Такие модели могут содержать и использовать объемный набор данных и в области экономических исследований, как правило, направлены на анализ и прогнозирование различных социально-экономических процессов на макроуровне.

**Ключевые слова:** агент-ориентированное моделирование, имитационное моделирование, мультиагентные системы, научно-технический прогресс, НИОКР, R&D, S&D, инновационные разработки

## Application of social modeling using agent based approach in scientific and technical development, implementation of R&D and maintenance of innovative potential

Vladimir I. Abramov <sup>1</sup>	wladi-mir.abramow@gmail.com	ORCID 0000-0001-5714-2358
Anton N. Kudinov <sup>1</sup>	a.kudinov13@gmail.com	ORCID 0000-0001-8300-7061
Dmitry S. Evdokimov <sup>1</sup>	dimaevd15@gmail.com	ORCID 0000-0001-8304-9448

<sup>1</sup> Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Nakhimovskiy prospect, 47, Moscow, 117418, Russia

Для цитирования

Абрамов В.И., Кудинов А.Н., Евдокимов Д.С. Применение социального моделирования с использованием агент-ориентированного подхода в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала // Вестник ВГУИТ. 2019. Т. 81. № 3. С. 339–357. doi:10.20914/2310-1202-2019-3-339-357

For citation

Abramov V.I., Kudinov A.N., Evdokimov D.S. Application of social modeling using agent based approach in scientific and technical development, implementation of R&D and maintenance of innovative potential. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2019. vol. 81. no. 3. pp. 339–357. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2019-3-339-357

**Abstract.** Agent based models (ABM) and multiagent systems (MAS) can be used to solve problems in many fields of research - from natural and computer to economics and social sciences. Many natural and social phenomena can be represented in form of complex simulations so over time agent models and multi-agent systems have proven to be a really powerful tool in areas such as economics and trade, health, urban planning and social sciences. In addition multi-agent systems can be represented as an artificial society similar to a human one and consisting of entities with characteristics similar to human ones, for example in terms of autonomy and intelligence. ABM are based on the principle of objective orientation as well as the evolution (training) of agents in the process of modeling various variants of the proposed events. Despite the apparent simplicity of the rules of interaction between agents the results are usually non-obvious and quite meaningful. ABM can be developed both at the micro level and represent models with multiple agents at the macro level. The concept of multi-agent systems which immediately gained followers and support in both scientific circles and industrial communities, first started talking in the mid-1980s. Over the past thirty years, the methodology of IAU creation has been constantly improved: technologies and tools for its promotion and use in the management of large-scale network structures (such as defense systems, energy, health, transport, logistics, urban management, collective robotics, etc.) have been actively developed. The scope of application of MAS is very wide. The analysis of implemented MAS proves that currently the tool is the most advanced technology for managing any objects built on the principles of self-organization. However, despite all the evidence of positive prospects for the introduction of AOM technology the number of examples of its successful application to date is small. In this regard creation of new platforms for discussion of international experience and improvement of the approach to simulation modeling in general is especially important for further dissemination of AMB and MAS. Creation of an open consortium for agent-oriented modeling as well as promotion of development, communication and dissemination of research results as well as implementation of educational activities together will contribute to the development of agent based modeling. The analysis and review of existing methodology of social modeling with use of agent based approach in the application to scientific and technical development, implementation of R&D and maintenance of innovative potential showed that models characterized by complex multi-level processes and interactions of agents have more capacious software structures which depend more on the "fine" tuning of the agents themselves. Such models can contain and use a voluminous set of data, and in the field of economic research tend to focus on the analysis and forecasting of various socio-economic processes at the macro level.

**Keywords:** agent based modeling, simulation modeling, multi-agent systems, scientific and technological progress, R&D, S&D, innovation

## Введение

Концепция мультиагентных систем (далее – МАС) в начале своей разработки базировалась на применении биологических принципов развития самой живой природы и человеческого общества (англ. bio-inspired – вдохновляемая биологией, живыми системами), которые базируются на принципе решения задач с помощью взаимодействий, лежащих в основе самоорганизации. Как следствие, эта концепция выглядела естественной, была понятна и привлекательна, и получила высокую оценку в научных и промышленных сообществах. Уже в 1990-е гг. к разработкам в области МАС были привлечены ведущие научные силы и ИТ-компании. В 1996 г. была создана общественная организация FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), задачей которой было научное обоснование стандартов в области агентов и МАС [20].

Сегодня появились новые эффективные методы для исследования и получения знаний об обществе. На первый план выходят агент-ориентированные модели (далее – АОМ), которые являются основой для создания искусственных обществ. Гипотеза о том, что «..познание через построение, через выращивание – это основной метод изучения общества, предусмотренный парадигмой агент-ориентированного подхода к моделированию социальных систем» еще раз доказывает важность и необходимость применения АОМ во всех областях жизнедеятельности человечества [1–3].

Среди современных инструментов имитации сложнейших социально-экономических систем агентный подход является наиболее гибким и приспособленным, поскольку поведение агентов создаваемого искусственного сообщества эволюционирует в процессе моделирования различных предлагаемых ситуаций, обеспечивая максимально возможное приближение к реальности. Выводы, которые получаются в результате экспериментов, можно отнести к максимально достоверным, так как модели, представляющие собой искусственное общество, могут быть разработаны как на микроуровне, так и включать в себя большое количество агентов, которые имитируют поведение системы на макроуровне. Добавление новых, а также изменение свойств и алгоритмов поведения уже существующих агентов, их обучение в процессе моделирования различных ситуаций, позволяет получать все новые и новые результаты исследований при постоянно возрастающем уровне достоверности и детализации самой модели. Особую актуальность мультиагентные системы приобретают при их использовании в управлении крупномасштабными объектами сетевой структуры, состоящей из множества относительно автономных участников, имеющих индивидуальные стимулы в процессе своей деятельности. Примером таких сложных систем могут послужить крупные энергетические, транспортные, логистические компании, оборонный комплекс, коллективная робототехника и др. [4, 10].

Агент-ориентированные модели уже доказали на практике свою эффективность и надежность. Множество работ зарубежных и отечественных исследователей посвящены изучению научной и государственной политики в области НИОКР. Их разработки позволяют проанализировать эффекты, получаемые от государственного финансирования исследований, связанных с инновационными и технологическими разработками для различных сфер государственного управления на различных уровнях.

Научная база НИОКР постоянно пополняется новыми перспективными разработками в области исследований и моделирования сложных социально-экономических процессов. В некоторых агентных моделях ученые применяют имитационный подход, где агенты выступают в роли исследователей и экспертов со стороны научно-государственных организаций. С помощью таких исследований возможно воспроизводить сценарные эксперименты с различными вариациями для оценки прогнозирования поведенческих особенностей исследователей, чьи работы выигрывают / проигрывают, а также экспертов, принимающих решения о результатах конкурсов. Проведение исследований в области конструктивного управления государственными ресурсами в области НИОКР играют важную роль в развитии научно-технического прогресса.

В настоящее время главными задачами всех систем управления обществом является обеспечение принятия быстрых и точных решений, а также составление долгосрочных прогнозов на основе анализа больших объемов информации. В контексте полноценного анализа исходных баз данных и учета всех факторов, оказывающих влияние на тот или иной процесс, а также построения максимально точных социально-экономических моделей для повышения эффективности управления, среди современных инструментов агент-ориентированные модели являются наиболее приспособленными и имеют ряд преимуществ таких, как:

- возможность обеспечения быстрого перехода от моно-модели к мульти-модели;
- способность агентов к рациональности и обучаемости;
- обеспечение максимальной реалистичности;
- наличие удобного интерфейса для визуализации экспериментов и проведения сценарных экспериментов;

- возможность проведения имитационных расчетов при различных заданных параметрах;
- применимость в использовании при управлении крупномасштабными объектами, основанными на принципах самоорганизации сетевой структуры;
- использование интуитивно понятных правил взаимодействия между агентами, позволяющих получить достоверные результаты [11, 13].

АОМ могут работать в симбиозе с другими технологиями, например, с ГИС-системами, позволяющими осуществлять пространственный анализ данных и наглядно отображать моделируемые процессы на географических картах. Так, например, разработанная модель землетрясений позволяет оценивать последствия подобных чрезвычайных ситуаций, а также проектировать оптимальные пути их ликвидации. В перспективе агентный подход позволит обеспечить идентификацию критических моментов времени, после наступления которых чрезвычайные последствия будут иметь необратимый характер (войны, обрушения рынка и т. д.) [15, 20].

Таким образом, агент-ориентированное моделирование становится все более эффективным и востребованным инструментом для ученых, изучающих социальные и социально-экономические процессы. Моделирование, несмотря на свою трудоемкость, позволяет прогнозировать такие сложные социальные процессы, как, например, осуществление государственной политики, поведение большой группы экономических субъектов, диффузия знаний и инноваций и т. д. [2, 19].

### Материалы и методы

В последние десятилетия экономика и производство подверглись значительным потрясениям и структурным изменениям. Помимо стандартных производственных факторов, таких как капитал и рабочая сила, в настоящее время особое внимание должно быть уделено уровню технического прогресса, технологическому аспекту производства, каналам передачи знаний и др. Потребность в применении имитационного подхода, являющегося одним из наиболее перспективных и активно развивающихся инструментов в моделировании, наблюдается в настоящее время не только на уровне государства, но и частных коммерческих организаций. Структурные изменения в управлении организации требуют лучшего понимания процесса производства знаний и их передачи внутри отраслей и между ними, роли

и эффективности институтов передачи знаний, таких как университеты, центры трансфера технологий и консалтинговые компании. Более того, в некоторых организациях агент-ориентированный подход уже используется для обеспечения принятия управленческих решений в отношении сложных взаимосвязанных процессов [17].

На современном этапе все шире пропагандируется использование вычислительных методов в качестве замены или дополнения традиционных методов исследования, в частности, для изучения социальных явлений, производных от организованной сложности. Многие традиционные подходы к моделированию (математические и статистические) приняты за основу абстракции макроуровня. В подобных моделях внимание акцентируется преимущественно на предположения высокого уровня (государства, отрасли и т. п.), и поэтому обычно инкапсулируют основу тех процессов, которые они призваны объяснять. И наоборот, агент-ориентированный подход зачастую избегает промежуточных объяснений, пытаясь воспроизвести макро-поведение путем изменения характера поведения и взаимодействий микро-агентов. Агентные архитектуры становятся намного проще в построении из-за развития объектно-ориентированных языков программирования, в связи с чем модели мультиагентного или распределенного искусственного интеллекта становятся все более популярными.

Таким образом, многие природные и искусственные явления можно представить в виде мультиагентных систем, которые со временем стали действительно мощным инструментом для моделирования и понимания явлений в различных областях науки и техники. Однако, несмотря на то, что имитационное моделирование развивается уже много лет, их фактическое внедрение все еще находится на ранних стадиях. С конца 90-х гг. было разработано множество имитационных платформ. Некоторые из них уже перестали существовать, в то время как другие продолжают выпускать новые версии программного обеспечения для их совершенствования. С другой стороны, исследовательское сообщество, занимающееся продвижением агент-ориентированного моделирования, по-прежнему занято созданием новых более совершенных платформ. Такое количество различного программного обеспечения приводит к высокой степени неоднородности в методологии построения имитационных

моделей. Таким образом, общая проблема заключается в том, каким образом заинтересованные в использовании мультиагентных систем исследователи должны выбирать, какую платформу использовать, чтобы извлечь наибольшую выгоду из технологии имитационного моделирования. В последнее время такой выбор все чаще зависит от авторитетных обзорных статей, нежели чем от накопленного опыта использования или распространенности платформы. На сегодняшний день в большинстве случаев мультиагентные системы описывают лишь основные характеристики нескольких классов агентов, даже не давая никакой классификации самих систем в целом. Ниже (таблица 1) представлена классификация, основанная на универсальных критериях сравнений и оценки, самых популярных платформ для моделирования, используемых учеными-исследователями в области агент-ориентированного моделирования.

Выбор программного обеспечения для проектирования агент-ориентированных моделей является важным этапом исследования, так как у каждой из платформ есть свои ярко выраженные плюсы и минусы, а также особенности, которые надо учитывать при работе с интерфейсом выбранной платформы [20].

Мультиагентный подход привлекателен тем, что он может охватить весь спектр ментальных моделей. Этот подход является внутренне гибким и включает в себя множество преимуществ, таких как простота масштабирования и расширения. Данные преимущества недостижимы в случаях, когда модели получены из абстракций более высокого уровня, так как требуют учета всех факторов, оказывающих влияние на наблюдаемый процесс или систему. Важно отметить, что агентный подход может быть использован не только в качестве эффективной замены математических моделей с использованием дифференциальных уравнений, наоборот, их комбинирование может быть использовано для моделирования непрерывных или дискретных процессов, в равной степени поддающихся линейному или нелинейному моделированию. Кроме того, подобные модели могут быть эффективно использованы на одном или нескольких уровнях детализации для обеспечения интуитивно понятного (в т. ч. визуального) представления процессов, представляющих интерес для исследователей и лиц, ответственных за принятие решений [14].

Таблица 1.

## Разновидности имитационных платформ и их особенности

Table 1.

## Varieties of simulation platforms and their features

Платформа Software	Краткое описание и особенности платформы	General description and software features
1	2	3
Agent Factory	Платформа в целом разделена на две части: поддержка развертывания агентов на ноутбуках, настольных компьютерах и серверах; поддержка развертывания агентов на ограниченных устройствах, таких как мобильные телефоны и датчики	Software is divided into two parts: support for agent deployment on laptops desktops and servers; and support for agent deployment on limited devices such as mobile phones and sensors
AgentBuilder	Имитационная платформа, которая может быть использована в многочисленных случаях моделирования. Является kqml-совместимым интегрированным набором инструментов для построения интеллектуальных программных агент-ориентированных моделей	A simulation software that can be used in numerous simulation cases. Is a kqml-compatible integrated set of tools for building intelligent software agent based models
AgentScape	Платформа была создана для проектирования крупномасштабных, разнородных и распределенных мультиагентных систем	Software was created for the design of large-scale, heterogeneous and distributed multi-agent systems
AGLOBE	Платформа, предназначенная для проведения сценарных экспериментов с возможностью учета пространственного расположения агентов	Software designed for scenario experiments with the possibility of taking into account spatial arrangement of agents
AnyLogic	Платформа с различными модификациями для моделирования, которая поддерживает не только агент-ориентированное моделирование общего назначения, но и системную динамику и процессно-ориентированный (дискретно-событийный) подход к моделированию	Software with various modifications for modeling that supports not only General-purpose agent based modeling but also system dynamics and discrete-event modeling approach
Cormas	Платформа моделирования, основанная на среде программирования VisualWorks, которая позволяет разрабатывать приложения на объектно-ориентированном языке Smalltalk. Предопределенные сущности corma – это универсальные классы Smalltalk, из которых путем классификации и уточнения пользователи могут создавать определенные сущности для своей собственной модели	A modeling platform based on the VisualWorks programming environment that allows you to develop applications in the Smalltalk object-oriented language. CORMA predefined entities are generic Smalltalk classes from which by classification and refinement users can create specific entities for their own model
Cougaar	Обладает функционалом для проектирования архитектуры когнитивного агента и представляет собой финансируемую DARPA мультиагентную платформу с открытым исходным кодом, которая предлагает специальные возможности для решения логистических задач	Software has the functionality to design a cognitive agent architecture and is an open-source DARPA-funded multi-agent platform that offers special capabilities for logistics tasks
CybelePro	Предоставляет своим пользователям надежную высокопроизводительную инфраструктуру для быстрой разработки и развертывания крупномасштабных высокопроизводительных мультиагентных систем	Provides its users with a robust, high-performance infrastructure for the rapid development and deployment of large-scale, high-performance multi-agent systems
EMERALD	Программное средство, предлагающее уникальные средства для выстраивания связей между агентами в семантической сети с использованием сторонних доверенных сервисов аргументации	Software tool that offers unique tools for building relationships between agents in a semantic network using third-party trusted argumentation services
GAMA	Платформа моделирования, целью которой является предоставление экспертам, программистам и ученым комплексной среды для разработки агент-ориентированных моделей и проведения пространственных мультиагентных симуляций	Simulation software that aims to provide experts, programmers and scientists with a comprehensive environment for developing agent based models and performing spatial multi-agent simulations
INGENIAS	Инструмент для разработки мультиагентных систем, поддерживающий методологию INGENIAS. INGENIAS продвигает модельный подход, основанный на использовании INGENME (INGENIASMeta-Editor) – инструмента для создания автономных визуальных редакторов с помощью языка XML	Multi-agent system development tool supporting the INGENIAS methodology. INGENIAS promotes a model approach based on the use of INGENME (INGENIASMeta-Editor), a tool for creating stand – alone visual editors using the XML language
JACK	Успешная кроссплатформенная среда для создания, запуска и интеграции коммерческих мультиагентных систем. Она построена на логической основе BDI (убеждения / желания / намерения)	Successful cross-platform environment for building, running and integrating commercial multi-agent systems. It is built on the logical basis of BDI (beliefs/desires/intentions)

Продолжение табл. 5. | Continuation of table 5.

1	2	3
JADE	Фреймворк, полностью реализованный на языке программирования Java, упрощающей реализацию мультиагентных систем с помощью программного обеспечения, которое соответствует спецификациям фонда интеллектуальных физических агентов FIPA	Framework fully implemented in the Java programming language that simplifies the implementation of multi-agent systems with software that complies with the specifications of the FIPA intelligent physical agent Foundation
Jadex	Средство, разработанное на логической основе BDI, которое обеспечивает легкое конструирование агента с помощью многоуровневого моделирования. Позволяет проектировать интеллектуальных программных агентов с помощью языков программирования XML и Java	BDI logic-based tool that enables easy agent design through multi-level modeling. Allows you to design intelligent software agents using the XML and Java programming languages
JAMES II	Чистый (без внешних зависимостей) Java фреймворк для моделирования и симуляции. ПО архитектурно реализовано в виде плагина, кратко названного "plug'n'simulate" и обеспечивающего максимальную гибкости модели	Pure (no external dependencies) Java framework for modeling and simulation. Software is architecturally implemented as a plug-in briefly called "plug'n'simulate", and provides maximum flexibility of the model
JAS	Является полуплатформой для построения агентных моделей, но выступает в качестве полноценной платформы. JAS – это инструмент моделирования, специально разработанный для имитационного агент-ориентированного моделирования	It is a semi-platform for building agent models, but acts as a full-fledged platform. JAS is a simulation tool specifically designed for agent based simulation
Jason	Полноценный интерпретатор расширенной версии AgentSpeak – агент-ориентированного логического языка программирования BDI, реализованного на языке Java	A full-fledged interpreter of the extended version of AgentSpeak – agent based logical programming language BDI, implemented by Java language
JIAC	Основанная на языке программирования Java архитектура и фреймворк, облегчающий разработку и эксплуатацию крупномасштабных распределенных приложений и служб. Платформа поддерживает проектирование, внедрение и развертывание мультиагентных систем	Java programming language-based architecture and framework that facilitates the development and operation of large-scale distributed applications and services. The platform supports the design, implementation and deployment of multi-agent systems
MaDKit	Модульная и масштабируемая мультиагентная платформа с открытым исходным кодом, написанная на языке Java и построенная на основе организационной модели AGR (агент / группа / роль)	A modular and scalable open source multi-agent platform written in Java and built on the AGR (agent/group/role) organizational model
MASON	Быстрый, легко расширяемый, дискретный инструмент мультиагентного динамического моделирования в среде программирования Java, выступающий в качестве платформы для имитационного моделирования	A fast, easily extensible, discrete multi-agent dynamic modeling tool in the Java programming environment that acts as a simulation platform
NetLogo	Мультиагентная программируемая среда моделирования, используемая студентами, преподавателями и исследователями по всему миру. Платформа позволяет исследовать эмерджентные явления, обладает обширной библиотекой моделей	A multi-agent programmable simulation environment used by students, teachers and researchers around the world. The platform allows to study emergent phenomena, has an extensive library of models
Repast	Представляет собой семейство передовых, свободных и открытых платформ моделирования, которые в совокупности находятся в непрерывном развитии на протяжении более 14 лет	It is a family of advanced, free and open modeling platforms that together have been in continuous development for over 14 years
SeSAm	Универсальная среда для разработки и моделирования мультиагентных моделей. Его основной целью является предоставление ученым возможностей рассматривать модели с помощью визуального программирования	Universal environment for development and modeling of multi-agent models. Its main purpose is to enable scientists to view models through visual programming
Swarm	Первый программный инструмент, созданный имитационного для моделирования, был разработан в институте Санта-Фе в 1994 г. Swarm был специально разработан для применения имитационного моделирования в научных исследованиях	First software tool created by simulation was developed at the Santa Fe Institute in 1994. Swarm was specifically designed to apply simulation in scientific research

**Агент-ориентированные модели научно-технического развития, реализации НИОКР и поддержания инновационного потенциала**

Агент-ориентированные модели, отличающиеся сложными многоуровневыми процессами и взаимодействиями агентов, обладают более емкими программными конструкциями, которые зависят в большей степени от «тонкой» настройки самих агентов. Такие модели могут содержать и использовать объемный набор данных, и в области экономических исследований, как правило, направлены на анализ и прогнозирование различных социально-экономических процессов на макроуровне. Далее в работе приведен анализ и обзор существующей методологии социального моделирования с использованием агент-ориентированного подхода в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала.

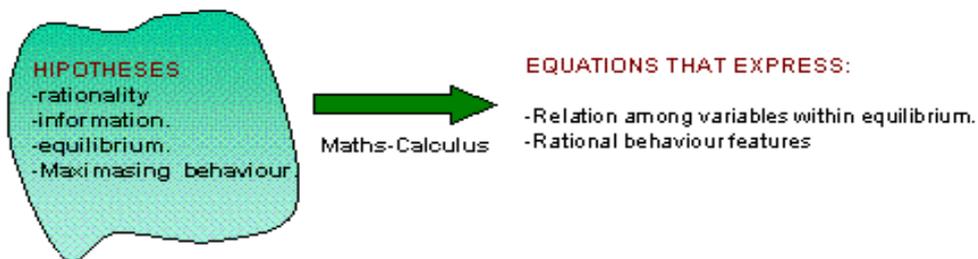
**Моделирование когнитивного обучения в эволюционных средах**

Эволюционные механизмы являются адекватным подходом к анализу отраслевой динамики в экономике, основанной на знаниях, поскольку они могут достоверно отражать реакцию на происходящие инновационные процессы, технологические изменения и генерацию новых знаний. Но для того, чтобы формализовать указанные выше механизмы, исследователям

необходим методологический инструментарий, поддерживающий их теоретический анализ. В работе, посвященной когнитивному обучению в эволюционных средах [25], авторы пришли к выводу, что агрегированное поведение экономических агентов должно возникать исходя из принципа ограниченной рациональности в поведении, а также эндогенного характера обучения, которое должно соответствовать некоторым стилизованным фактам из когнитивной науки и психологии. Мультиагентные системы в данном контексте – это методология, которая выполняет некоторые из приведенных выше требований. Они предлагают альтернативный способ моделирования когнитивного обучения в эволюционных средах, который согласуется с некоторыми основными понятиями когнитивной науки. В разработанной модели агенты наделены как декларативными, так и процедурными знаниями. Авторы использовали подход для построения эволюционных моделей инновационных отраслей, где фирмы учатся изменять свои решения о бюджете НИОКР, производстве, технологии и т. д.

На основе эволюционного подхода в работе рассматриваются две методологии (рисунок 1). Первая – это неоклассическая, преимущество которой обычно заключается в применении экономико-математических средств. Вторая – это эволюционное моделирование, применение которого стало распространяться в начале 80-х гг.

Neoclassical methodology: Hypotheses and optimisation.



Evolutionary methodology: micro-foundations and computer simulation.

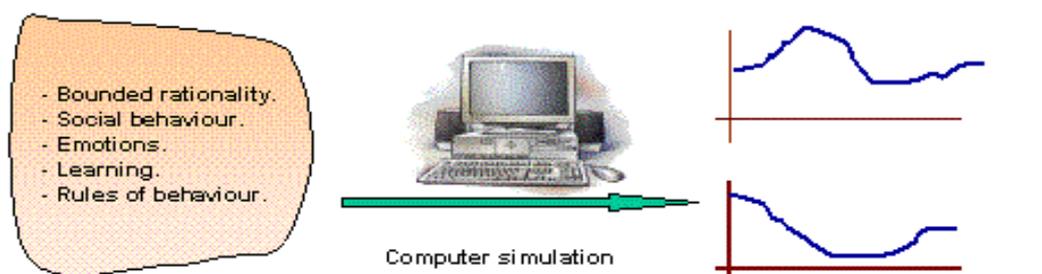


Рисунок 1. Неоклассическая и эволюционная методологии исследований [25]

Figure 1. Neoclassical and evolutionary research methodology [25]

К отдельному инструменту имитационного моделирования можно отнести когнитивное мультиагентное моделирование. Методология, которая используется для моделирования эволюционных сред, основывается на соответствующих идеях эволюционной экономики, искусственного интеллекта, вычислительной экономики и когнитивной науки (рисунок 2). Мультиагентные системы относятся к области распределенного искусственного интеллекта

и позволяют специалисту в области моделирования сосредоточиться на индивидуальном поведении агентов.

С помощью имитационного моделирования можно лучше понять отношения между микро-основами и агрегатным поведением сложных систем, а также исследовать, при каких условиях сложность поведения на микроуровне нивелируется на макроуровне.

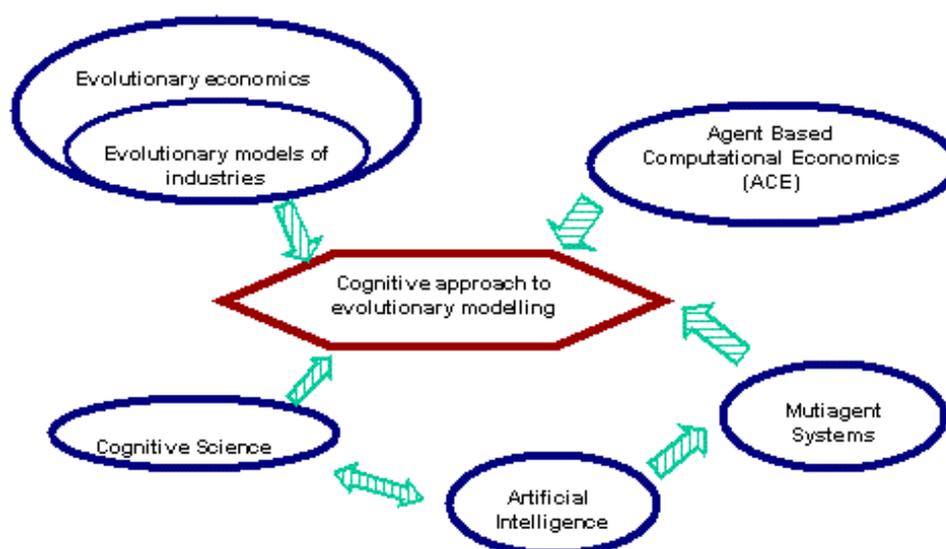


Рисунок 2. Когнитивный подход к эволюционному моделированию [26]  
Figure 2. Cognitive approach to evolutionary modeling [26]

Предложенный в статье методологический подход был успешно использован для построения отраслевых моделей, воспроизводящих некоторые эмпирические формализованные эволюционные факторы инновационных и высокотехнологичных открытий. Данный подход полезен для моделирования в области финансовых рынков, экономической географии, управления природными ресурсами и др. [5, 25].

Наряду с вопросом социального взаимодействия, между учеными-исследователями задача защиты авторских прав остается актуальным вопросом в настоящее время. Так, Конституция Соединенных Штатов Америки уполномочивает Конгресс принимать законы об авторских правах для содействия созданию знаний в обществе и, в частности, научных знаний. Было проведено множество экономических исследований в области авторского права, однако вопрос влияния законодательства на создание самих знаний до сих пор остается недостаточно изученным. Одна из разработанных агент-ориентированных моделей показала эффекты взаимодействия ученых-исследователей [18]. Авторами исследования было сделано предположение, что, по большей части, ограничение авторского права препятствует ученым в создании новых знаний.

Однако, результаты моделирования показали, что продление срока действия авторских прав способствует, а не препятствует данному процессу. Кроме того, количество ученых, публикующих материалы с защищенным авторским правом, как правило, превосходит число тех, кто не создает потенциального напряжения между индивидуальными стимулами и общественным благом.

Исследование показало, что постепенно число научных публикаций растет. «Larsen and Ins» оценили в 4,7% прирост от общего количества научных публикаций в период с 1997 по 2006 гг. Политики заинтересованы в содействии более высокому темпу роста знаний в обществе, поскольку это способствует продвижению и развитию страны. В качестве важного политического инструмента Конституция Соединенных Штатов наделила Конгресс правом принимать законы об авторских правах для содействия прогрессу науки и искусств, обеспечивая на ограниченное время авторов и изобретателей исключительным правом на их соответствующие произведения и открытия [18].

### Модель самоорганизующихся инновационных сетей

В работе [16] приведены результаты разработки модели, в которой агентами являются фирмы, а также такие политические акторы, как исследовательские лаборатории, организации и т. д. При этом, каждый агент обладает собственной базой знаний, которую он использует для создания «артефактов», которые, как он надеется, станут инновациями. Успех «артефактов» оценивается «оракулом», который оценивает каждый «артефакт», используя критерий, недоступный агентам. Агенты могут следовать стратегиям улучшения своих «артефактов» либо самостоятельно (путем их постепенного улучшения или радикального изменения), либо путем поиска партнеров для получения дополнительных знаний.

Выбранная платформа для моделирования может быть применена в различных сферах, в частности к четырем различным тематическим исследованиям проекта «Самоорганизующиеся Инновационные Сети» (Self-Organizing Innovation Networks – SEIN), и может использоваться для

оценки экономических или социологических перспектив развития инновационных сетей.

Отправной точкой для концептуализации инновационной сети являются акторы, которыми в основном являются фирмы, занятые научными исследованиями и разработками (НИОКР). Кроме того, в модели присутствуют политические акторы, венчурные капиталисты, а также университеты и государственные научно-исследовательские институты, которые преодолевают разрыв между прикладными и фундаментальными исследованиями.

Агенты в модели трансформируют способы генерации потенциальных инноваций, которые оцениваются «оракулом» для оценки успешности инноваций (рисунок 3). Если расположенные к сотрудничеству субъекты успешно находят потенциального партнера, который готов сотрудничать, между ними образуется партнерство. На основе партнерских отношений могут развиваться устойчивые инновационные сети, включающие двух или более субъектов. Эти процессы сотрудничества влияют на обучение акторов, изменяя существующие возможности и создавая новые.

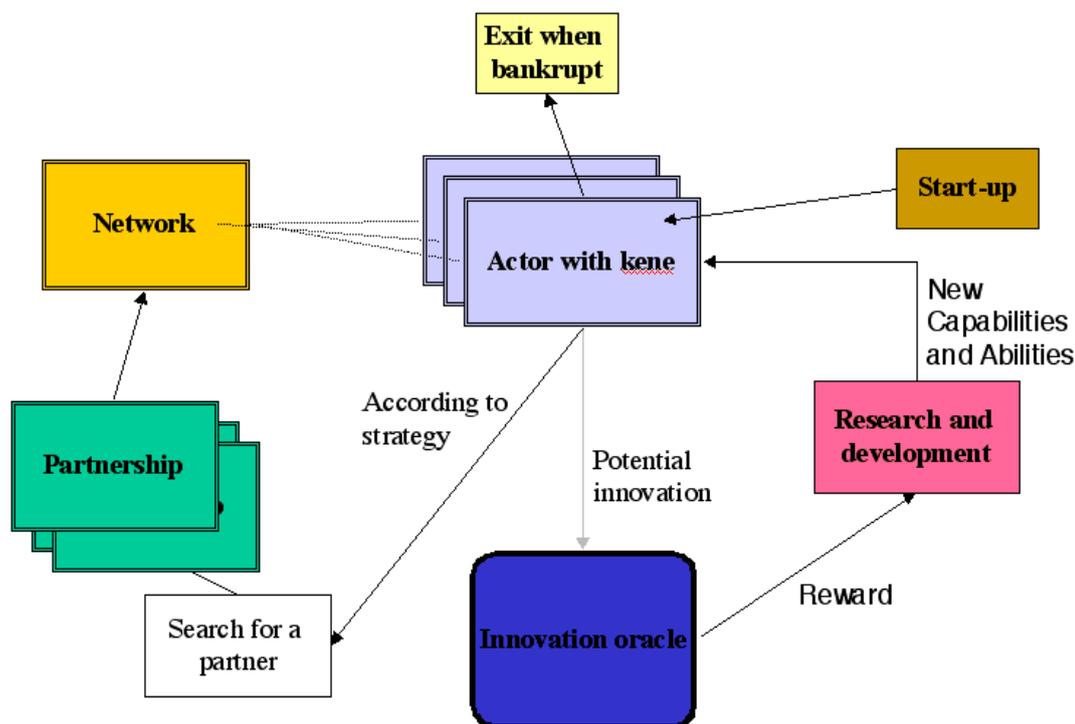


Рисунок 3. Структура модели самоорганизующихся инновационных сетей [16]

Figure 3. Structure of the model of self-organizing innovation networks [16]

Когда инновация оказывается успешной, вознаграждение распределяется в соответствии с конкретным механизмом вознаграждения по предусмотренным в модели правилам сотрудничества. Затем вознаграждение может быть инвестировано в дальнейшие исследования.

Если агент не может сам успешно внедрять инновации и проводить исследования, он становится «банкротом» и в конечном итоге «умирает».

Что касается выводов, которые можно сделать исходя из модели, то становится очевид-

ным, что процесс принятия решений в целом приобретает более высокую степень легитимности. Работа с компьютерным моделированием означает включение современных инструментов форсайта в «арсенал» лиц, принимающих решения: это показывает, что политические институты действительно заботятся о последствиях принятия решений [16].

### **Модель генерации новых знаний и технологий**

В исследовании [9] понятие «инновация» было рассмотрено в качестве эмерджентного свойства динамики сложных систем. Для этого авторы разработали агент-ориентированную имитационную модель экономики, в которой системное взаимодействие знаний между разнородными агентами имеет решающее значение для рекомбинантного генерирования новых технологических знаний и внедрения инноваций. В частности, модель позволяет исследовать, как влияют на инновационное поведение такие архитектурные, организационные и институциональные факторы, как пространственное распределение фирм и способы охраны прав интеллектуальной собственности. Фирмы в модели рассматриваются как агенты, которые реагируют на неожиданные события. Их реакция может быть адаптивной или творческой в зависимости от локализованного контекста действия. Реакция агентов может привести к внедрению инноваций, повышающих производительность, если организация системы такова, что реактивные агенты могут фактически воспользоваться преимуществами внешних знаний, имеющихся в инновационной системе, в которую они встроены. При таком подходе внешние знания являются необходимым вкладом в генерацию новых знаний наряду с внутренней исследовательской деятельностью.

При выбранном подходе организация системы играет решающую роль в оценке шансов отдельных фирм на фактическое внедрение инноваций, поскольку она дает доступ к внешним знаниям, наряду с внутренней учебной и исследовательской деятельностью. Внедрение инноваций анализируется как результат системного взаимодействия знаний между ближайшими агентами, которые обладают функцией рациональности и формами творческой реакции. Творческая реакция агентов может привести к внедрению инноваций, повышающих производительность. Это происходит только тогда, когда структурные, организационные и институциональные характеристики системы таковы, что агенты, реагируя на неравновесные условия, могут реально воспользоваться преимуществами

внешних знаний, имеющихся в инновационной системе, в которую они встроены, для генерирования новых технологических знаний. При этом агентный подход позволил исследовать влияние альтернативных организационных особенностей систем, а именно различных конфигураций режимов прав интеллектуальной собственности и различных архитектурных конфигураций региональной структуры, в которой происходит взаимодействие знаний, на темпы внедрения технологических инноваций. Результаты моделирования показали, что распространение знаний способствует возникновению творческих реакций и, следовательно, приводит к увеличению темпов внедрения технологических инноваций [9].

### **Модель социальных последствий от внедрения инноваций в виртуальной исследовательской среде**

Попытка прогнозирования развития научного сообщества была предпринята в работе [27], посвящённой социальным последствиям от внедрения инноваций в виртуальной исследовательской среде, согласно которой происходящие изменения в научной среде и исследовательской практике благодаря Интернету имеют потенциал для повышения качества как когнитивных, так и социальных аспектов в науке и технике. Новые виды результатов исследований, способы научной коммуникации и новые механизмы циркуляции знаний, а также расширенные возможности для повторного использования результатов в сочетании с новыми подходами к оценке результатов исследований, оказывают глубокое воздействие на социальную систему науки.

В разрезе модели научная среда функционирует как система со специализацией и разделением труда между ее научными агентами (исследователями). Агенты-ученые используют систему разделения труда для взаимодействия, а также генерации новых знаний. При этом агенты-ученые не конкурируют за распределение информационных ресурсов, то есть знания в модели сами по себе являются неконкурентными благами. Агенты имеют возможность использовать любые ресурсы научных знаний практически бесплатно – им не нужно осуществлять обмен с другими агентами для личного научно-производственного процесса.

Второй тип агентов в модели выполняет функцию финансирования научных исследований путем сбора данных о репутации агентов-ученых и распределения ограниченного вознаграждения (денег) за научный труд в соответствии с репутационными рангами. В простом случае руководители исследований могут быть классифицированы как агенты, ответственные

за финансирование. В более общем случае менеджерами могут являться агенты другого типа со своими собственными правилами поведения. Последним типом агентов в модели являются издатели, которые отвечают за получение репутационных данных путем обработки результатов деятельности агентов-ученых.

В модели агенты-ученые имеют возможность выбирать ресурсы для собственного производственного процесса, при этом для получения научного результата они должны формировать связи между научными результатами и выбранными ресурсами. При этом данные об этих связях могут быть доступны для других агентов. Моделью предусмотрен сбор статистики о взаимодействиях между агентами, которые произошли в момент «общения» с другими агентами и / или в результате появления новых инновационных продуктов.

Необходимо совершенствовать инструменты агентного моделирования, чтобы понять, как возможна интеграция механизмов научного познания в работу сложных сетевых структур путем идентификации и связывания объектов исследования. Важно отметить, что исследования с помощью компьютерного имитационного моделирования позволяют выявить возможные социальные эффекты от использования различных данных и подходов к оценке исследовательских программ [27].

#### **Модель государственного регулирования научно-технического прогресса**

В исследовании [8], посвященном оценке эффектов государственной политики в области НИОКР, приводится иллюстрация поведенческой структуры и вычислительной логики предложенной модели, затем предлагается имитационный эксперимент, в котором осуществляется эффект общего уровня НИОКР при фиксированном объеме государственной поддержки, а также анализируется топология сети компаний. Разработанная модель направлена на изучение всплесков инновационной активности в сетевой структуре, имитирующей научное сообщество, а также позволяет оценить действия государственных органов, оказывающих влияние на научное сообщество с помощью выделения грантов и субсидий [23]. Проведенный имитационный эксперимент показал, что высокий уровень кластеризации агентов, скорее всего, сопровождается уменьшением медианы общей производительности НИОКР. Поскольку особенность НИОКР фирмы (т. е. часть общих НИОКР, не зависящая от побочных эффектов) несколько увеличивается, можно заключить, что положительные эффекты межфирменных

побочных эффектов при наличии заданного объема поддержки оказывают значительное влияние в рамках менее централизованных сетей. Это может поставить под сомнение вывод, предполагающий, что более крупные внешние эффекты НИОКР должны с большей вероятностью возникать, когда несколько компаний-победителей получают поддержку [8].

#### **Модель обратной связи между государственными органами и научными сообществами**

Другая имитационная модель, представленная в работе исследователей из Южной Кореи [21], учитывает обратные связи между государственными органами и научным сообществом, которые проявляются в виде горизонтальных потоков информации между учреждениями. При этом, у государства есть стремление снизить объем инвестирования в сферу науки и образования. Это приводит к тому, что государственные учреждения отказываются от автономии. Вследствие этого возникают дополнительные внешние угрозы. Разработанная агент-ориентированная модель с использованием программного обеспечения «Blanche» наглядно продемонстрировала, как государственные учреждения могут автономно и интерактивно строить, стандартизировать и управлять совместимыми ИТ-системами, используемыми в научных организациях. Государственные учреждения представлены в модели в виде популяции агентов, и каждое такое учреждение выполняет свои собственные функции и задачи. При этом, для отслеживания воздействия гетерогенных систем на совместное решение задач агентами-учреждениями используется производственная функция. Между учреждениями возникают следующие характеры взаимодействия:

- сходство;
- взаимность;
- центральность;
- приоритетность миссии;
- взаимозависимость;
- транзитивность.

В ходе взаимодействия агентов-учреждений между собой используются вышеперечисленные шесть механизмов в различных интерпретациях. В модели представлены пять вариантов альтернативной политики, которые были сформированы в процессе использования трех заданных функций – формирование портфеля инвестиций в ИТ, стандартизация и межучрежденческая деятельность.

Результаты моделирования показали, что низкий уровень инвестиций в эти системы

значительно улучшает функциональную совместимость агентов. Таким образом, стандартные системы могут существенно расширить возможности сетевых взаимодействий, не требуя радикальных изменений в области централизованного управления между государственными учреждениями [3,21].

В связи с тем, что отбор исследований происходит на конкурсной основе, такая форма распределения средств всегда влечет к растущему недовольству со стороны ученых, чьи проекты не смогли получить поддержку. Как результат, некоторые действительно важные проекты остаются без финансирования и перестают существовать. Экспертная оценка широко распространена в современной науке. Однако, несмотря на то, что существует множество аргументов в пользу такого метода отбора как самого эффективного и необходимого компонента в науке, экспоненциальный рост исследовательского сообщества, давление на «количественную гонку» публикаций и растущую незащищенность от заимствований, а также конкуренция за исследовательские гранты, привели к увеличению числа сторонников, описывающих слабые стороны такого подхода. Одним из наиболее частых обвинений в адрес системы экспертного обзора является аргумент в пользу того, что она препятствует подлинным инновациям. Наличие более совершенных инструментов интеллектуального анализа данных позволяет заинтересованным сторонам в принципе контролировать многие аспекты процесса и способствовать лучшему пониманию взаимодействия различных факторов. В работе [28] была предпринята попытка теоретического осмысления некоторых аспектов процесса отбора перспективных исследовательских проектов с помощью идеализированной агент-ориентированной модели, описывающей эффекты экспертной оценки, проводимой «несовершенными» агентами, обладающими эгоистическими стимулами. Результаты модели позволили прийти к выводу, что проведение экспертиз нуждается в тщательном мониторинге для борьбы с их негативными последствиями.

Экспертная оценка в области финансирования науки является неотъемлемой частью любого исследования, которое подается на грант. Значительная часть финансирования исследований и разработок (НИОКР) распределяется через конкурсные программы, в рамках которых сравниваются и оцениваются предложения по исследованиям на предмет их превосходства, ожидаемых результатов и вероятности завершения. Одно из наиболее важных различий в использовании экспертной оценки в конкурентных схемах финансирования по сравнению

с публикацией статей заключается в том, что хорошая статья, отклоненная одним журналом, почти всегда в конечном итоге будет опубликована где-то, тогда как отсутствие грантовой поддержки в большинстве случаев приведет к полному прекращению исследования. Конкурентный характер процесса, обусловленный медленным ростом имеющихся средств (в лучшем случае) и экспоненциальным ростом числа исследователей, делает подготовку предложений и получение грантов вопросом выживания для многих ученых [2, 28].

#### **Модель оценки негативных эффектов от результатов экспертных комиссий**

В агент-ориентированной модели [11], разработанной с целью анализа поведенческого фактора ученых при получении негативных оценок от экспертных комиссий, была рассмотрена дилемма сотрудничества с позиции теории игр. Модель позволила оценить, как различные стратегии распределения ресурсов влияют на качество экспертной оценки деятельности ученых, занимающихся одновременно и публикацией своих научных результатов, и рецензированием других работ. Результаты показали, что предвзятость и качество публикаций в значительной степени зависят от мотивации рецензента, в то время как чрезмерная конкуренция может привести к минимизации предвзятости публикаций. В то время как чрезмерная конкуренция может привести к минимизации предвзятости публикаций. Определенный уровень конкуренции способствует обеспечению высокого качества публикаций, особенно когда ученые осуществляют рецензирование на основании мотивов взаимопомощи.

В представленной модели была выдвинута гипотеза о различных поведенческих стратегиях ученых и манипуляциях в институциональной среде. Для «поведенческих стратегий» использовались правила для принятия решений о распределении ресурсов, которые ученые могли бы получить, выбирая между «инвестированием» в собственные труды или в рецензирование. Под «институциональной установкой» подразумевается определенный набор стимулов, обеспечиваемых научной политикой или рыночными механизмами, которые формируют и ограничивают поведение ученых. С целью проведения сценарных экспериментов для расчета кумулятивных скользящих средних значений смещения оценок качества публикаций (рисунок 4) было выполнено более 100 запусков для каждой комбинации поведенческих стратегий и институциональных условий, при этом для каждого повторения в модели предусмотрено 500 шагов, которые агенты проходят при каждом прогоне.

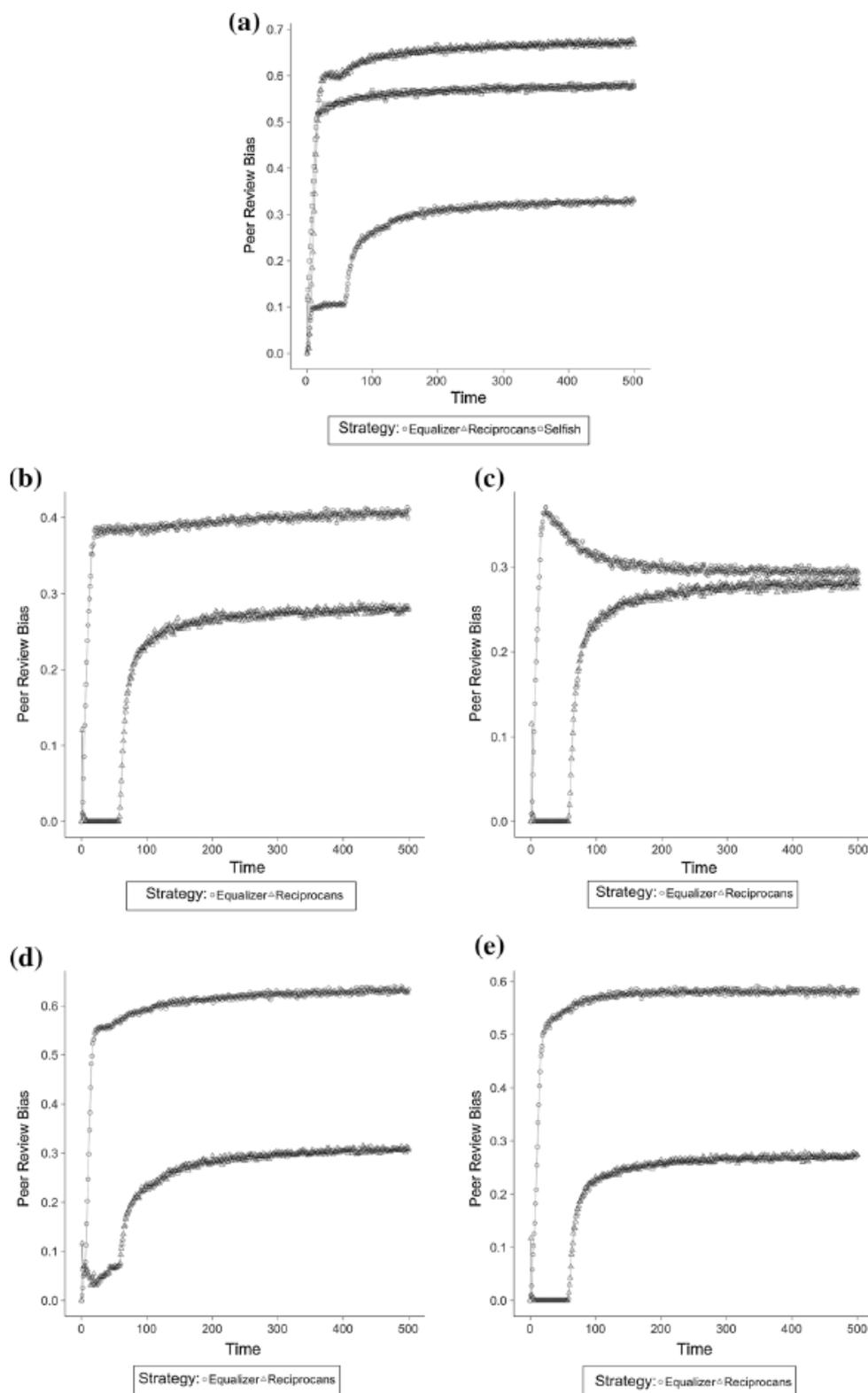


Рисунок 4. Эволюция смещения оценок во времени для каждого сценария институциональной среды (результаты усреднены): *a* – нет сопоставления; *b* – стремление к публикации – объективная самооценка; *c* – стремление к публикации – самоуверенная самооценка; *d* – стремление к получению результатов – объективная самооценка; *e* – стремление к получению результатов – самоуверенная самооценка [11]

Figure 4. Evolution of evaluation bias over time for each institutional setting (results averaged over 100 repetitions for each scenario): *a* – no comparison; *b* – strive for publication – objective self-evaluation; *c* – strive for publication – overconfident self-evaluation; *d* – strive for excellence – objective self-evaluation; *e* – strive for excellence – overconfident self-evaluation [11]

Результаты существенно изменились, когда авторы предположили, что агенты корректировали свои усилия на основе среднего качества опубликованных работ. В этом случае влияние стратегий ученых на предвзятость оценок было обратным. Отклонение, генерируемое уравнительной стратегией, увеличилось до 40,56%, в то время как предположение о возвратно-поступательной стратегии значительно уменьшило его, таким образом генерируя наименьшее общее отклонение (27,86%).

Стратегия выравнивания обеспечила высокое качество публикации, хотя и меньшее, чем в предыдущем случае. В то время как стратегия возвратно-поступательного движения продемонстрировала худшие качественные показатели по всем сценариям. Это было вызвано тем, что при указанной стратегии агенты-авторы с меньшей вероятностью выделяли ресурсы на проверку качества своих работ. Некачественные рецензии, в свою очередь, негативно сказались на среднем качестве публикуемых работ, поскольку значительное количество высококачественных работ было несправедливо отклонено. Интересно, что в целом благодаря высокому уровню рецензирования были подготовлены некоторые очень качественные работы, которые не были подвержены необъективным рецензиям. С другой стороны, склонность возвратно-поступательных агентов к более справедливому распределению своих усилий изначально устраняла любую предвзятость. Показатель предвзятости начал незначительно возрастать в момент, когда агенты стали снижать свои усилия, направленные на рецензирование. Тем не менее, общее несбалансированное распределение ресурсов на рецензирование привело к получению наихудшего значения показателя среднего качества опубликованных работ по всем сценариям.

Предположение о чрезмерной самоуверенности агентов смягчало воздействие стратегий на предвзятость оценки, но приводило к получению значительно отличающихся качественных результатов исследований. Это было вызвано тем, что агенты-авторы с большей вероятностью воспринимали, что их отклоненные статьи были более высокого качества, чем опубликованные, в результате чего они начали уделять больше внимания рецензированию. Тем не менее, небольшое количество агентов редко испытывали отказы в первый период моделирования, в конечном итоге достигая самых высоких уровней качества работ. Данная группа агентов создала самый высокий результат высшего качества во всех сценариях, что компенсировало более низкие усилия других агентов по рецензированию и поддерживало качество публикации относительно высоким вместе с низкой предвзятостью оценки.

### Модель распределения финансирования научных исследований

Дальнейшее развитие исследований в области выявления более совершенного и справедливого способа распределения финансовых средств на научные исследования представлено в работе [7], посвященной агент-ориентированной модели «INFSO-SKIN», разработанной с целью обеспечения генеральной дирекции по информационному обществу и средствам массовой информации Европейской комиссии (DGINFSO – Directorate General for the Information Society and Media) инструментом для предварительной оценки возможных стратегий финансирования в рамках проекта «Horizon 2020». На основе большого набора данных, фиксирующих детали финансируемых проектов, была создана имитационная модель для воспроизведения и оценки стратегий финансирования организаций и проектов, а также результирующих сетевых структур программы «Commission's Framework 7» (FP7). Для решения оценочных вопросов DGINFSO эта модель, экстраполированная в будущее без каких-либо изменений в текущей политике, используется в качестве ориентира для дальнейших экспериментов, основанных на фактических данных. На основе базового сценария были проверены следующие примеры изменений политики:

- что делать, если были внесены изменения в тематический охват программы?
- что делать, если были внесены изменения в инструменты финансирования?
- что было бы, если бы были внесены изменения в общий объем финансирования программы?
- что, если будут внесены изменения в целях расширения участия малых и средних предприятий (МСП)?

Кооперационные процессы в области НИОКР иногда представляют технически сложные иерархические цепочки. Участники таких сетевых структур участвуют в совместной исследовательской и учебной деятельности, результаты которой выражаются в виде публикаций и патентов. Так, в модели агенты в проектных консорциумах случайным образом распределяются по подразделам научных проектов и объединяют свои знания. Каждые три месяца они выпускают «готовый продукт», который может быть изданием или патентом.

Участие малого и среднего предпринимательства (МСП) в модели повышает вероятность возникновения радикальных инноваций. Для этого была предусмотрена возможность обмена конечными результатами между кооперирующимися агентами с целью моделирования процесса передачи знаний (рисунок 5).

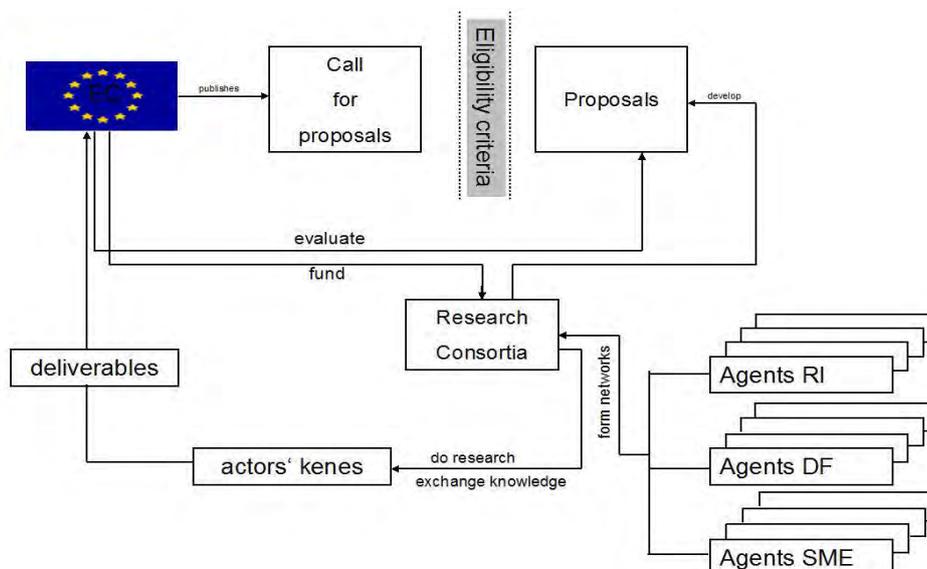


Рисунок 5. Блок-схема кооперационных процессов [7]  
 Figure 5. A block diagram of the cooperation processes [7]

Результаты обозначенных имитационных экспериментов показали некоторые вероятные сценарии развития политики финансирования проектов в рамках программы «Horizon 2020» [7].

Коммерческая составляющая агентного подхода постепенно набирает обороты и используется в организациях, которые ставят перед собой задачу увеличения прибыли.

Моделирование, как и любая наука, развивается за счет получения новых открытий и знаний. Именно инновационные преобразования в области моделирования продвигают эту науку с появлением новых вычислительных методов.

Разработка методов и стратегий для обоснованного анализа научно-инновационной политики критически важна для способности каждой страны извлекать выгоду из инвестиций в НИОКР. Для более глубокого понимания сложных социальных процессов, влияющих на рост и формирование научных направлений, а также развитие с течением времени разнородной рабочей силы, необходим системный и целостный подход. В работе представлена агент-ориентированная модель и рассмотрена исследовательская программа по разработке сложных адаптивных систем для упрощения изучения стимулов, стратегий, мобильности и стабильности научно обоснованной инновационной экосистемы при одновременном изучении способов поддержания устойчивости различных научных организаций [31].

Предлагаемые стратегии строятся и расширяются на основе агент-ориентированного моделирования и имитационных исследований, которые включают такие процессы, как образование и мобильность в глобальных научных сообществах. Популяционные модели должны исследовать факторы и вычислительные

механизмы, которые могут помочь объяснить изменения во времени различных типов агентов.

Построенная модель зарекомендовала свою эффективность в исследовании динамики численности населения, которая могла бы объяснить динамику изменений на рынке труда. Развитие имитационного подхода позволит в перспективе обнаруживать наиболее вероятные экзогенные и эндогенные факторы, объясняющие наблюдаемые эмпирические данные (рисунок 6). В частности, агентное моделирование позволяет воспроизвести историческую динамику роста численности рабочей силы, а также демографические изменения.

Дальнейшие перспективы моделирования должны быть направлены на совершенствование политики по сохранению устойчивости рынка труда, в том числе в сфере науки. Эти усилия могли бы привлечь внимание к основополагающей динамике, которая создает творческую и разнообразную научно обоснованную инновационную экосистему, помочь выявить вопросы, которые предполагают дальнейшие исследования, и стимулировать сбор данных, необходимых для ответа на них. Предлагаемые стратегии строятся и расширяются на основе агентного моделирования и имитационных исследований, которые включают пограничные процессы, такие как обучение, инновации и мобильность в глобальных научных сообществах [22, 31].

Несмотря на то что научно-исследовательские проекты зачастую направлены на решение стратегических государственных задач, в настоящее время повышается спрос в НИОКР и со стороны коммерческих организаций. В связи с этим рассмотрим агент-ориентированные модели, имитирующие процесс распространения инноваций в частном секторе экономики.

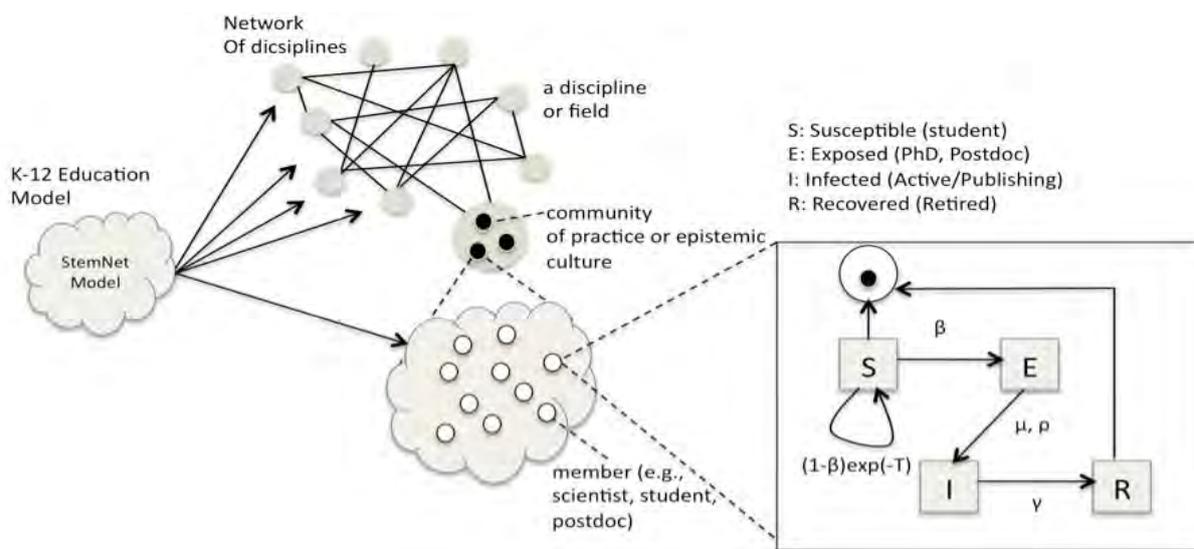


Рисунок 6. Модель сетевой инновационной экосистемы [31]

Figure 6. Scientific Discourse as a Network of SEIR Models [31]

### Модель инновационного развития отраслей

Имитационная модель, связанная с динамикой развития отрасли по управлению инновациями и НИОКР, была разработана с целью оценки динамики научно-технического прогресса в различных отраслях экономики [26]. Отрасли в модели рассматриваются как совокупность организаций и потребителей, а агрегированное поведение формируется вследствие решений, принимаемых отдельными фирмами. Фирмы обладают набором ресурсов и возможностей. Наиболее актуальными являются: совокупный капитал, активы, максимальные производственные мощности и тенденции инвестиций в исследования и разработки (НИОКР). Фирмы преследуют экономическую цель, в частности рентабельность активов, которая тесно связана с дивидендной политикой. Стратегические решения организаций – это модели инвестирования

в процессные и продуктовые инновации, а также решение остаться или уйти из отрасли. При этом агентами-потребителями формируются групповые запросы на два типа продуктов: новые и старые.

В процессе выполнения модели происходит реализация двух типов продуктов. Один из них «Old good» связан с устаревшей технологией. Другой «New good» является более новым и технологически превосходящим. Когда инновационные проекты фирм увенчаются успехом, новый продукт становится востребованным, а самый устаревший продукт исчезает. Таким образом, происходит постепенное устаревание произведенных продуктов. При этом, продукты и технологии связаны между собой, причем каждый продукт изготавливается с использованием различных технологий (рисунок 7).

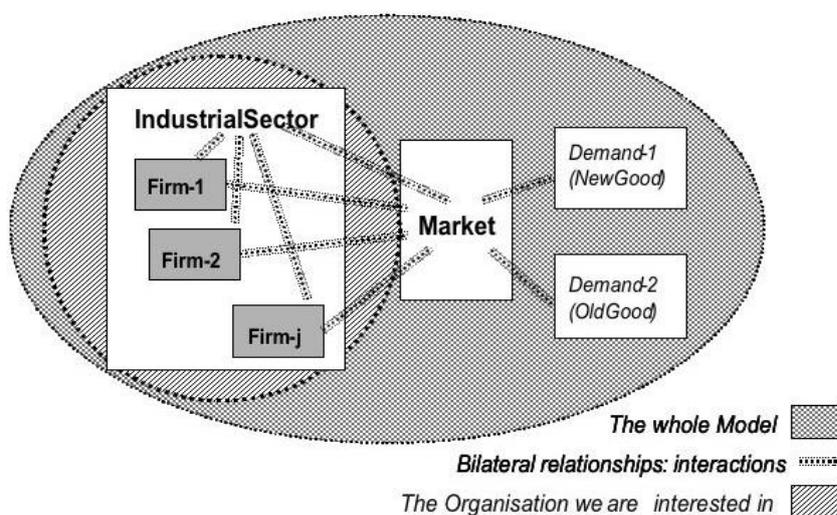


Рисунок 7. Структура модели управления инновациями и НИОКР [26]

Figure 7. Structure of innovation and R&D management model [26]

В каждом секторе, благодаря общим отраслевым расходам на НИОКР и взаимосвязям с другими секторами, в каждый момент времени имеется портфель инновационных проектов, которые могут быть разработаны фирмами. Эти проекты называются технологией, и каждый из них имеет числовой код. Технические особенности этих проектов зависят от состояния науки и технологий, имеющих отношение

к промышленному сектору. Но в любом случае, чтобы проект был успешным и получил широкое признание в отрасли, необходимо выполнить два условия. Во-первых, фирма должна инвестировать достаточно денег, чтобы иметь возможность развивать его. Во-вторых, промышленность будет принимать проекты только с достаточной инновационной составляющей (рисунок 8).

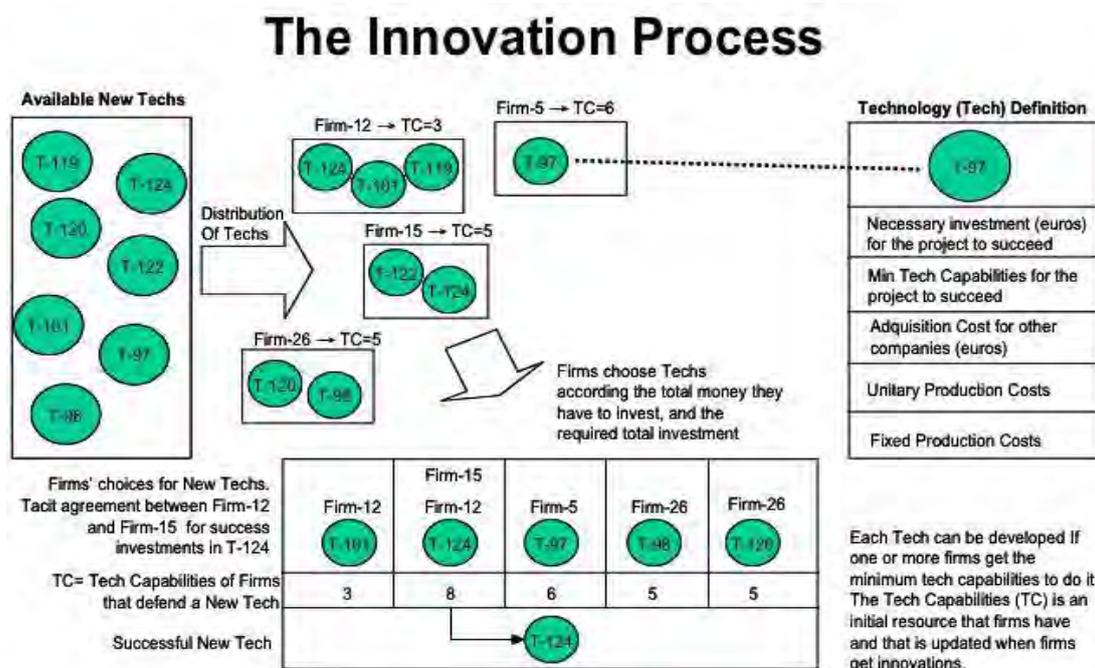


Рисунок 8. Архитектура инновационного процесса в модели [26]

Figure 8. The architecture of the innovation process in the model [26]

В модели возникают ситуации блокировки и зависимости агентов от выбранного пути. Ранний успех инвестиций в НИОКР позволяет фирмам сохранять разрыв между конкурентами в освоении новых технологий, которым трудно его сократить, даже если они тратят большой объем финансовых средств на НИОКР. В то же время у компаний-лидеров нет никакой гарантии долгосрочного успеха, поскольку другие фирмы, реализующие быстрые стратегии, могут захватить более высокую долю рынка, если они имеют достаточно финансовых и кадровых ресурсов для улучшения своих производственных технологий. В модели используются схемы «одобрения Кознов» для моделирования когнитивного обучения фирм. Эта методология основана на теории когнитивной науки и позволяет моделировать обучение путем исследования, использования и имитации знаний [30].

Исследованием были учтены идеи из эволюционной экономики в контексте жизненного цикла продукта для объяснения и воспроизведения основных наблюдаемых фактов в динамике

жизненного цикла инновационной продукции с точки зрения роста и падения действующих фирм, коэффициентов концентрации, расходов на НИОКР и траектории развития отрасли. Таким образом, была показана полезность мультиагентных систем в промышленном эволюционном моделировании и оценке политики [3, 26].

#### Модель инновационных рынков сбыта

В исследовании, посвященном вопросу коммерческой составляющей использования инноваций на рынках сбыта [24], используются алгоритмы взаимосвязи занятости и инноваций, а также изучается эффект сокращения рабочих мест ввиду их замещения автоматическими системами и внедрения новых технологий. Хотя влияние инноваций на занятость уже несколько лет является спорным вопросом, эта экономическая задача особенно актуальна в настоящее время. В современном мире огромное количество технологических достижений угрожают разрушить рынок труда, поскольку они могут значительно автоматизировать труд работников.

Таким образом, в работе было представлено качественное исследование динамики, лежащей в основе взаимосвязи между инновациями и занятостью, с использованием агент-ориентированного подхода.

Ее наполнение количественными эмпирическими данными позволит в перспективе получить количественные результаты в части прогноза будущих уровней занятости в обществе.

Итак, в модели, разработанной с помощью языка «Python», среда, представляющая экономику, населена фирмами, способными осуществлять либо продуктовые инновации (ведущие к открытию новых задач, требующих человеческого труда), либо процессные инновации (ведущие к автоматизации задач, ранее выполненных человеком). Проведенный анализ позволил сделать три вывода, справедливых в данном контексте.

Первый вывод заключается в том, что уровень занятости в экономике зависит от потенциала автоматизации задач и типа инноваций, выполняемых фирмами (при этом продуктовые инновации оказывают положительное влияние на занятость, а процессные инновации – отрицательное). Во-вторых, в модели была выявлена склонность фирм к производству готовой продукции и процессным инновациям. Таким образом, потенциал автоматизации задач приводит к стабилизации уровня занятости в экономике в целом. Третий вывод заключается в том, что более высокие уровни технологических инноваций и более низкий уровень инновационности продуктов приводят к более интенсивному снижению доли заработной платы, а также к более широкому разрыву между ростом производительности труда работников и ростом заработной платы [24].

### **Результаты**

Обзор имитационных моделей в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала позволяет сделать вывод об эффективности агент-ориентированного подхода в данной области. Успешность применения данного инструмента подтверждается наличием множества разработок отечественных и зарубежных исследователей, которые позволяют проводить детальную оценку эффективности принимаемых решений государственными органами власти, использовать механизмы прогнозирования ситуаций на основе исходных данных и т. д.

В моделях зарубежных авторов продемонстрированы выводы на основе прогнозных сценариев и сформированы отчетные таблицы, где можно ознакомиться с итоговыми данными, полученными после калибровки моделей.

Этот универсальный инструмент можно назвать наиболее подходящим для проведения исследований благодаря:

- возможности обеспечения быстрого перехода от мономодели к мультимодели;
- способности агентов к рациональности и обучаемости;
- обеспечению максимальной реалистичности;
- наличию удобного интерфейса для визуализации экспериментов и проведения сценарных экспериментов;
- возможности проведения имитационных расчетов при различных заданных параметрах;
- применимости в использовании при управлении крупномасштабными объектами основанными на принципах самоорганизации, сетевой структуры;
- использованию интуитивно понятных правил взаимодействия между агентами, позволяющих получить достоверные результаты.

Таким образом, агент-ориентированное моделирование становится все более эффективным и востребованным инструментом, а его многофункциональность позволяет формировать объективные выводы на основе сценарных экспериментов.

### **Обсуждение**

В связи с наличием большого числа различных платформ для разработки агент-ориентированных моделей, в работе была приведена информация о наиболее часто используемых программных средствах, которые, тем не менее, обладают собственными недостатками, и требуют дальнейшего совершенствования.

Исследователи также отмечают, что существует совсем небольшое количество площадок для демонстрации возможностей инструмента агентных моделей. Агент-ориентированные модели очень активно популяризируются в мире для проведения экспериментов, а мероприятий для проведения открытых дискуссионных форумов мало. Для устранения данной проблемы требуется наращивание популярности использования этого эффективного инструмента.

Проведенные в работе анализ и обзор существующей методологии социального моделирования с использованием агент-ориентированного подхода в приложении к научно-техническому развитию, реализации НИОКР и поддержанию инновационного потенциала показали, что модели, отличающиеся сложными многоуровневыми процессами и взаимодействиями агентов, обладают более емкими программными конструкциями, которые зависят в большей степени от «тонкой» настройки самих агентов. Такие модели могут содержать и использовать объемный набор данных и в области экономических исследований,

как правило, направлены на анализ и прогнозирование различных социально-экономических процессов на макроуровне.

### Заключение

Социальное моделирование с применением имитационного подхода является эффективным инструментом для достижения научных и государственных целей, поскольку может отражать поведение и взаимодействие организмов, человеческих субъектов и институтов. Для изучения сложных социальных систем уже широко используются агент-ориентированные модели (АВМ). Однако, в связи с трудностью параметризации и анализа их полезность иногда оказывается ограниченной. Настало время критически осмыслить современное состояние исследований, чтобы оценить, в какой степени потенциал агентного моделирования можно использовать для получения общей информации и поддержки принятия конкретных управленческих решений. Для этого на основе практики моделирования в областях научно-технического развития, реализации НИОКР и поддержания инновационного потенциала, в работе были рассмотрены достигнутые результаты и возникшие проблемы, связанные с разработкой соответствующих агент-ориентированных моделей. С целью преодоления возникающих проблем необходимы совместные усилия сообщества разработчиков моделей по содействию, развитию и использованию таких стратегий, как подходы на основе широкого участия, стандартные протоколы для обмена информацией, обмен исходным

кодом, а также инструменты и стратегии для разработки и анализа моделей. Таким образом, могут быть достигнуты позитивные результаты в процессе создания новой передовой методологии проектирования агент-ориентированных моделей, которая позволит более эффективно развивать общую теорию и практические решения в данной области [6, 29].

Агент-ориентированные модели являются естественным и перспективным инструментом для улучшения понимания и повышения способности прогнозировать и успешно управлять накопленными технологическими и информационными данными. В связи с этим, агентное моделирование широко используется для представления и анализа структурных изменений в области научно-технического развития. Ключевой вывод работы состоит в том, что агентный подход следует рассматривать не только в качестве эвристического инструмента для изучения различных явлений, получения системного понимания и проверки гипотез, но и в качестве инструмента управления и поддержки принятия решений для конкретных тематических исследований [5, 13, 28].

### Благодарности

Исследование выполнено по программе фундаментальных исследований РАН «Многофакторные вызовы и риски перехода к новому этапу научно-технологического и экономического развития России: фундаментальные и прикладные проблемы».

### Литература

- 1 Абрамов В.И., Евдокимов Д.С. Разработка комплекса агент-ориентированных моделей системы государственных закупок стран Евразийского континента // Проблемы теории и практики управления. 2019. С. 15–23.
- 2 Дьячук П.П., Дьячук П.П., Карабалыков С.А., Шадрин И.В. Диагностика неустойчивых когнитивных состояний активных агентов // Нейроинформатика-2016: сборник научных трудов: в 3 частях. М.: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2016. С. 259–270.
- 3 Коголовский М.Р., Калинин Л.А. Концептуальное и онтологическое моделирование в информационных системах // Программирование. 2009. Т. 35. № 5. С. 3–25.
- 4 Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв. Агенториентированные модели. М.: Экономика, 2013. 295 с.
- 5 Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сушко Е.Д., Абрамов В.И. Компьютерное моделирование в управлении экономикой (методологическая основа для стратегического планирования) // Государственный аудит. Право. Экономика. 2017. № 3.
- 6 Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
- 7 Ahrweiler P., Schilperoord M., Pyka A., Gilbert N. Modelling Research Policy: Ex-Ante Evaluation of Complex Policy Instruments // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. V. 18 (4). № 5. doi: 10.18564/jasss.2927
- 8 Angelini A., Cerulli G., Cecconi F., Miceli A. et al. R&D Subsidization Effect and Network Centralization: Evidence from an Agent-Based Micro-Policy Simulation // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. V. 20 (4). № 4. doi: 10.18564/jasss.3494
- 9 Antonelli C., Ferraris G. Innovation as an Emerging System Property: An Agent Based Simulation Model // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2011. V. 14 (2). № 1.
- 10 Bousquet F., Trébuil G., Hardy B. Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia Los Bacos (Philippines). International Rice Research Institute. 2005. 360 p.
- 11 Bianchi F., Grimaldo F., Bravo G., Squazzoni F. The peer review game: an agent-based model of scientists facing resource constraints and institutional pressures. Springer, 2018. doi: 10.1007/s11192-018-2825-4
- 12 Brinner R. The 1985 DRI Model: An Overview, in Data Resources Review of the US Economy. Lexington, 1985.
- 13 Epstein J., Axtell R. Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. Washington, D.C.: MIT Press / Brookings Institution, 1996.
- 14 Goldspink C. Methodological Implications Of Complex Systems Approaches to Sociality: Simulation as a foundation for knowledge // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2002. V. 5. № 1.

- 15 Goto Y., Takeuchi I., Kakumoto S. Integrated earthquake disaster simulation systems for the highly networked information society // Proc. of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, 2004. P. 2793. URL: [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_2793.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2793.pdf)
- 16 Gilbert N., Pyka A., Ahrweiler P. Innovation Networks – A Simulation Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001. V. 4. № 3.
- 17 Haag G., Liedl P. Modelling and Simulating Innovation Behaviour within Micro-based Correlated Decision Processes // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001
- 18 Haydari S., Smead R. Does Longer Copyright Protection Help or Hurt Scientific Knowledge Creation? // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. V. 18 (2). № 23. doi: 10.18564/jasss.2720
- 19 Janssen A., Alessa L., Barton M., Bergin S. et al. Towards a Community Framework for Agent-Based Modelling // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2008
- 20 Kravari K., Bassiliades N. A Survey of Agent Platforms // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. doi: 10.18564/jasss.2661
- 21 Lee S. Simulation of the Long-Term Effects of Decentralized and Adaptive Investments in Cross-Agency Interoperable and Standard IT Systems // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2010. V. 13 (2). № 3. doi: 10.18564/jasss.1488
- 22 Law A.M., Kelton W.D. Simulation Modeling and Analysis. New York: McGraw-Hill, 1991.
- 23 Monticino M.G., Brooks E., Cogdill T., Acevedo M. et al. Applying a Multi-Agent Model to Evaluate Effects of Development Proposals and Growth Management Policies on Suburban Sprawl // Proc. of the International Environmental Modelling and Software Society, Summit on Environmental Modelling and Software. Burlington, 2006. URL: [http://www.math.unt.edu/~monticino/papers/multi-agent\\_development.pdf](http://www.math.unt.edu/~monticino/papers/multi-agent_development.pdf)
- 24 Neves F., Campos P., Silva S. Innovation and Employment: An Agent-Based Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. V. 22 (1). № 8. doi: 10.18564/jasss.3933
- 25 Pajares J., Hernández-Iglesias C., López-Paredes A. Modelling Learning and R&D in Innovative Environments: a Cognitive Multi-Agent Approach // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2004. V. 7. № 2.
- 26 Pajares J., López A., Hernández C. Industry as an Organisation of Agents: Innovation and R&D Management // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2003. V. 6. № 2.
- 27 Parinov S., Neylon C. Science as a Social System and Virtual Research Environment // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2011. V. 14 (4). № 10. doi: 10.18564/jasss.1835
- 28 Sobkowicz P. Innovation Suppression and Clique Evolution in Peer-Review-Based, Competitive Research Funding Systems: An Agent-Based Model // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. V. 18 (2). № 13. doi: 10.18564/jasss.2750
- 29 Schulze J., Müller B., Groeneveld J., Grimm V. Agent-Based Modelling of Social-Ecological Systems: Achievements, Challenges, and a Way Forward // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. V. 20 (2). № 8. doi: 10.18564/jasss.3423
- 30 Tsekeris T., Vogiatzoglou K. Multi-Regional Agent-Based Economic Model of Household and Firm Location and Transport Decisions // Proc. of the 10th STRC Swiss Transport Research Conference. Monte Verita, 2010. URL: <http://www.strc.ch/conferences/2010/Tsekeris.pdf>
- 31 Yilmaz L. Toward Multi-Level, Multi-Theoretical Model Portfolios for Scientific Enterprise Workforce Dynamics // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2011. V. 14 (4). № 2. doi: 10.18564/jasss.1853

### References

- 1 Abramov V.I., Evdokimov D.S. Development of a complex of agent-based models of the public procurement system of the countries of the Eurasian continent. Problems of management theory and practice. 2019. pp. 15–23. (in Russian).
- 2 Dyachuk P.P., Dyachuk P.P., Karabalykov S.A., Shadrin I.V. Diagnosis of unstable cognitive states of active agents. Neuroinformatics 2016: collection of scientific papers: in 3 parts. Moscow, National Research Nuclear University MEPhI, 2016. pp. 259–270. (in Russian).
- 3 Kogalovsky M.R., Kalinichenko L.A. Conceptual and ontological modeling in information systems. Programming. 2009. vol. 35. no. 5. pp. 3–25. (in Russian).
- 4 Makarov V.L., Bakhtizin A.R. Social modeling is a new computer breakthrough. Agent-based models. Moscow, Economics, 2013. 295 p. (in Russian).
- 5 Makarov V.L., Bakhtizin A.R., Sushko E.D., Abramov V.I. Computer simulation in economic management (methodological basis for strategic planning). State audit. Right. Economy. 2017. no. 3. (in Russian).
- 6 Tarasov V.B. From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, computer science. Moscow, Editorial URSS, 2002. 352 p. (in Russian).
- 7 Ahrweiler P., Schilperoord M., Pyka A., Gilbert N. Modelling Research Policy: Ex-Ante Evaluation of Complex Policy Instruments. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. vol. 18 (4). no. 5. doi: 10.18564/jasss.2927
- 8 Angelini A., Cerulli G., Cecconi F., Miceli A. et al. R&D Subsidization Effect and Network Centralization: Evidence from an Agent-Based Micro-Policy Simulation. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. vol. 20 (4). no. 4. doi: 10.18564/jasss.3494
- 9 Antonelli C., Ferraris G. Innovation as an Emerging System Property: An Agent Based Simulation Model. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2011. vol. 14 (2). no. 1.
- 10 Bousquet F., Trébuil G., Hardy B. Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia Los Bacos (Philippines). International Rice Research Institute. 2005. 360 p.
- 11 Bianchi F., Grimaldo F., Bravo G., Squazzoni F. The peer review game: an agent-based model of scientists facing resource constraints and institutional pressures. Springer, 2018. doi: 10.1007/s11192-018-2825-4
- 12 Brinner R. The 1985 DRI Model: An Overview, in Data Resources Review of the US Economy. Lexington, 1985.
- 13 Epstein J., Axtell R. Growing Artificial Societies: Social Science From the Bottom Up. Washington, D.C., MIT Press / Brookings Institution, 1996.
- 14 Goldspink C. Methodological Implications Of Complex Systems Approaches to Sociality: Simulation as a foundation for knowledge. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2002. vol. 5. no. 1.
- 15 Goto Y., Takeuchi I., Kakumoto S. Integrated earthquake disaster simulation systems for the highly networked information society. Proc. of the 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, 2004. pp. 2793. Available at: [http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13\\_2793.pdf](http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/13_2793.pdf)
- 16 Gilbert N., Pyka A., Ahrweiler P. Innovation Networks – A Simulation Approach. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001. vol. 4. no. 3.

- 17 Haag G., Liedl P. Modelling and Simulating Innovation Behaviour within Micro-based Correlated Decision Processes. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2001.
- 18 Haydari S., Smead R. Does Longer Copyright Protection Help or Hurt Scientific Knowledge Creation? Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. vol. 18 (2). no. 23. doi: 10.18564/jasss.2720
- 19 Janssen A., Alessa L., Barton M., Bergin S. et al. Towards a Community Framework for Agent-Based Modelling. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2008
- 20 Kravari K., Bassiliades N. A Survey of Agent Platforms. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. doi: 10.18564/jasss.2661
- 21 Lee S. Simulation of the Long-Term Effects of Decentralized and Adaptive Investments in Cross-Agency Interoperable and Standard IT Systems. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2010. vol. 13 (2). no. 3. doi: 10.18564/jasss.1488
- 22 Law A.M., Kelton W.D. Simulation Modeling and Analysis. New York: McGraw-Hill, 1991.
- 23 Monticino M.G., Brooks E., Cogdill T., Acevedo M. et al. Applying a Multi-Agent Model to Evaluate Effects of Development Proposals and Growth Management Policies on Suburban Sprawl. Proc. of the International Environmental Modelling and Software Society, Summit on Environmental Modelling and Software. Burlington, 2006. Available at: [http://www.math.unt.edu/~monticino/papers/mult-agent\\_development.pdf](http://www.math.unt.edu/~monticino/papers/mult-agent_development.pdf)
- 24 Neves F., Campos P., Silva S. Innovation and Employment: An Agent-Based Approach. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2019. vol. 22 (1). no. 8. doi: 10.18564/jasss.3933
- 25 Pajares J., Hernández-Iglesias C., López-Paredes A. Modelling Learning and R&D in Innovative Environments: a Cognitive Multi-Agent Approach. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2004. vol. 7. no. 2.
- 26 Pajares J., López A., Hernández C. Industry as an Organisation of Agents: Innovation and R&D Management. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2003. vol. 6. no. 2.
- 27 Parinov S., Neylon C. Science as a Social System and Virtual Research Environment. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2011. vol. 14 (4). no. 10. doi: 10.18564/jasss.1835
- 28 Sobkowicz P. Innovation Suppression and Clique Evolution in Peer-Review-Based, Competitive Research Funding Systems: An Agent-Based Model. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2015. vol. 18 (2). no. 13. doi: 10.18564/jasss.2750
- 29 Schulze J., Müller B., Groeneveld J., Grimm V. Agent-Based Modelling of Social-Ecological Systems: Achievements, Challenges, and a Way Forward. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2017. vol. 20 (2). no. 8. doi: 10.18564/jasss.3423
- 30 Tsekeris T., Vogiatzoglou K. Multi-Regional Agent-Based Economic Model of Household and Firm Location and Transport Decisions. Proc. of the 10th STRC Swiss Transport Research Conference. Monte Verita, 2010. Available at: <http://www.strc.ch/conferences/2010/Tsekeris.pdf>
- 31 Yilmaz L. Toward Multi-Level, Multi-Theoretical Model Portfolios for Scientific Enterprise Workforce Dynamics. Journal of Artificial Societies and Social Simulation. 2011. vol. 14 (4). no. 2. doi: 10.18564/jasss.1853

### Сведения об авторах

### Information about authors

**Владимир И. Абрамов** к.э.н., старший научный сотрудник, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, Нахимовский проспект, 47, Москва, 117418, Россия, [wлади-mir.abramow@gmail.com](mailto:wлади-mir.abramow@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-5714-2358>

**Антон Н. Кудинов** к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, Нахимовский проспект, 47, Москва, 117418, Россия, [a.kudinov13@gmail.com](mailto:a.kudinov13@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-8300-7061>

**Дмитрий С. Евдокимов** аспирант, младший научный сотрудник, лаборатория компьютерного моделирования социально-экономических процессов, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, Нахимовский проспект, 47, Москва, 117418, Россия, [dimaevd15@gmail.com](mailto:dimaevd15@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-8304-9448>

**Vladimir I. Abramov** Cand. Sci. (Econ.), senior researcher, laboratory of computer modeling of social and economic processes, Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Nakhimovsky prospect, 47, Moscow, 117418, Russia, [wлади-mir.abramow@gmail.com](mailto:wлади-mir.abramow@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-5714-2358>

**Anton N. Kudinov** Cand. Sci. (Phys.-Math.), senior researcher, laboratory of computer modeling of social and economic processes, Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Nakhimovsky prospect, 47, Moscow, 117418, Russia, [a.kudinov13@gmail.com](mailto:a.kudinov13@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-8300-7061>

**Dmitry S. Evdokimov** graduate student, junior researcher, laboratory of computer modeling of social and economic processes, Central Economics and Mathematics Institute, RAS, Nakhimovsky prospect, 47, Moscow, 117418, Russia, [dimaevd15@gmail.com](mailto:dimaevd15@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0001-8304-9448>

### Вклад авторов

### Contribution

**Владимир И. Абрамов** консультация в ходе исследования  
**Антон Н. Кудинов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме

**Дмитрий С. Евдокимов** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Vladimir I. Abramov** consultation during the study  
**Anton N. Kudinov** review of the literature on an investigated problem

**Dmitry S. Evdokimov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

### Конфликт интересов

### Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 10/07/2019	После редакции 26/07/2019	Принята в печать 10/08/2019
Received 10/07/2019	Accepted in revised 26/07/2019	Accepted 10/08/2019