

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ

УДК 332.13

РОССИЙСКИЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ АГЕНТ- ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕПОЧЕК СОЗДАНИЯ СТОИМОСТИ*

Т. С. Аносова

RUSSIAN AND FOREIGN EXPERIENCE OF AGENT-ORIENTED MODELING OF INTER-REGIONAL CHAINS OF CREATION OF VALUE

T. S. Anosova

В исследовании проведен обзор российского и зарубежного опыта применения агент-ориентированного моделирования для функционирования межрегиональных цепочек создания стоимости. Определены возможности агент-ориентированного моделирования и его отличия от других методов имитационного моделирования, а именно системной динамики и дискретно-событийного моделирования, отражена специфика использования АОМ в моделировании цепочек создания стоимости. Сделан вывод о перспективности сочетания трех методов имитационного моделирования экономической системы любой сложности, в том числе и межрегионального взаимодействия. Обоснована необходимость учета пространственного фактора при моделировании цепочек создания стоимости для корректного и объективного отображения взаимодействия агентов.

агент-ориентированное моделирование, пространственная структура, цепочки создания стоимости, межрегиональное взаимодействие, методы имитационного моделирования.

The study provides an overview of Russian and foreign experience of using agent-based modeling for the functioning of interregional value chains. The possibilities of agent-based modeling and its differences from other methods of simulation modeling, namely, system dynamics and discrete-event modeling, are determined, the specifics of using ABM in modeling value chains are reflected. It is concluded that the combination of three methods of simulation modeling of an economic system of any complexity, including interregional interaction, is promising. The necessity of taking into account the spatial factor when modeling value chains for the correct and objective display of the interaction of agents has been substantiated.

agent-based modeling, spatial structure, value chains, inter-regional interaction, methods of simulation.

Введение

Агент-ориентированное моделирование (АОМ) относится к новому инструментарию по компьютерному моделированию различных экономических процессов макрорегиона, страны и мира в целом. АОМ дает новые возможности

* Статья подготовлена в соответствии с государственным заданием для ФГБУН ВолНЦ РАН по теме НИР № 0168-2019-0005 "Исследование факторов и методов устойчивого развития территориальных систем в изменяющихся мировых геополитических и геоэкономических условиях".

по представлению сложных явлений, происходящих в экономике. В последнее время особый научный интерес для ученых представляют исследования, связанные с проблемами экономического роста территорий [1]. В качестве одного из инструментов экономического роста может быть рассмотрено функционирование цепочек создания стоимости, которые характеризуются сложностью взаимосвязей предприятий друг с другом. Это приводит к необходимости корректного отражения цепочек создания стоимости в агент-ориентированном моделировании. Такой метод имитационного моделирования значительно упрощает работу по представлению экономических взаимосвязей предприятий друг с другом, так как с помощью агент-ориентированной модели можно проводить эксперименты для получения наиболее точных результатов.

Целью статьи является анализ российского и зарубежного опыта агент-ориентированного моделирования при формировании межрегиональных цепочек создания стоимости. В исследовании сделан акцент на обосновании необходимости учета пространственного фактора, поскольку этот аспект в экономических моделях играет важную роль, так как, по мнению ученых, "процесс выбора места размещения производства или места проживания стал в значительной степени децентрализованным, меняются степень взаимозависимости отдельных регионов и интенсивность их взаимодействий с внешним рынком" [2]. Это обуславливает необходимость применения в АО-моделях элементов геоинформационного подхода, а также учёта локализации агентов для наиболее точных расчетов и измерений (особенно для регионов страны). Кроме того, в статье отражена специфика агент-ориентированного моделирования по сравнению с другими видами имитационного моделирования. Использование в практической деятельности такого инструментария, как агент-ориентированное моделирование, способствует реалистичному представлению происходящих в экономике процессов. Одной из причин перехода к АО-моделям становится невозможность отобразить неравновесные состояния, процессы и изменения, происходящие в системе, а также достаточно сложную динамику межрегиональных моделей путем использования моделей "затраты-выпуск". В то же время агент-ориентированные модели можно применять к различным экономическим явлениям и отраслям экономики, тем самым устраняя недостатки традиционных моделей.

В качестве теоретической базы используются научные труды российских и зарубежных исследователей, в которых отражена практическая значимость применения агент-ориентированного моделирования функционирования цепочек создания стоимости с учетом пространственного аспекта, являющегося одним из ключевых факторов для построения агентных моделей.

Понятие и специфика агент-ориентированного моделирования по сравнению с другими методами имитационного моделирования

Существуют различные методы имитационного моделирования, позволяющие решать разнообразные социальные и экономические задачи на разных уровнях абстракции (то есть отображение проблемы из реального мира в мир моделей). К основным из них относятся:

1. Системная динамика (СД) - представляет собой схему накопителей и потоков, дает общие оценки происходящих событий в системе и предполагает

высокий уровень абстракции (макроуровень). СД применяется, в основном, для анализа экономических явлений, а также для исследования происходящих изменений в системе. Такие явления рассматриваются в виде накопителей, потоков между ними, а также информации, определяющей величину этих потоков.

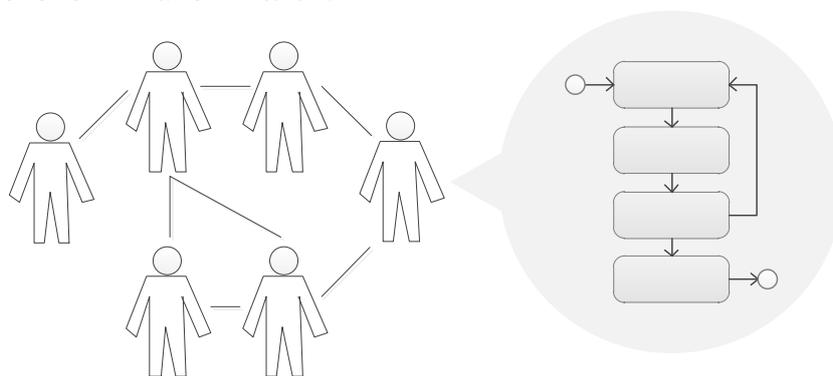
2. Дискретно-событийное моделирование (ДС) – моделирование, в основе которого лежит процесс обработки заявок, ресурсов и потоковых диаграмм из блоков, определяющих потоки заявок и использование ресурсов. Такой метод моделирования предполагает низкий и средний уровни абстракции (микро- и мезоуровень). Дискретно-событийное моделирование рассматривается как схема обработки заявок, которая представляет систему в виде последовательности дискретных операций, включающих в себя циркуляцию заявок через блоки потоковой диаграммы.

3. Агент-ориентированное моделирование – моделирование, в основе которого лежат индивидуальные правила поведения, прямое и не прямое взаимодействие, динамика среды. Модели децентрализованы, то есть нет централизованного места, в котором определялось бы поведение системы. Глобальное поведение формируется на основе деятельности поведения агентов, которые взаимодействуют с пространством и друг с другом. Агентное моделирование позволяет учесть любые возможные сложные конструкции и поведения агентов и применяется практически на любом уровне абстракции (низком, среднем, высоком).

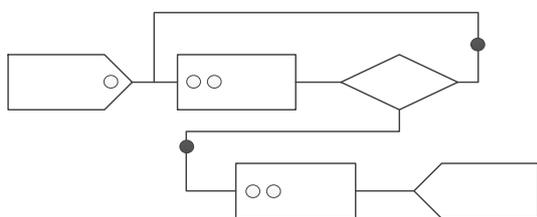
Агент-ориентированное моделирование является методом компьютерных симуляций, который основан на индивидуальном поведении агентов [3]. Совокупность агентов с определенным набором свойств позволяет проводить эксперименты реалистичных событий. В моделях экономических систем агентами могут выступать транспортные средства, регионы, отрасли, домохозяйства, фирмы и другие. Агентами можно назвать любые рассматриваемые в действительности объекты, для которых в рамках среды модели требуется корректная спецификация [4]. Среди свойств АОМ отмечают автономность (независимость агентов), неоднородность (различие агентов по параметрам/особенностям), ограниченную интеллектуальность агентов (агенты модели не могут познать нечто большее, выходящее за рамки макросреды модели), наличие среды пребывания агентов. Для общего представления изучаемых экономических процессов необходимо понимать логику поведения отдельных агентов.

Традиционные методы моделирования не могут учитывать всю сложность динамики социально-экономических процессов и явлений, в то время как модели на основе агента не имеют ограничений: агентное моделирование предлагает сосредоточиться на отдельных объектах, их поведении и взаимодействии. АОМ – это шаг вперед в понимании принципов работы сложных процессов, в том числе и экономических. Этот вид моделирования открывает новые возможности, являясь альтернативой традиционным и уже устоявшимся методам экономического анализа. С помощью малых ресурсов в АОМ можно достичь результата, для вычисления которого понадобилось бы использование суперкомпьютера и методов численной математики.

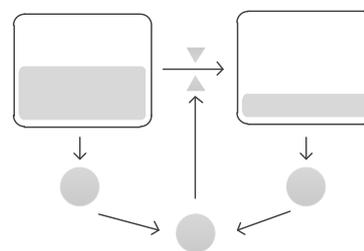
АОМ, несомненно, обладает наиболее широкими преимуществами по сравнению с другими методами, однако моделирование на основе синтеза трех методов позволит учитывать в моделях все уровни абстракции. Так, например, программный продукт AnyLogic позволяет комбинировать агентное моделирование с другими методами, а именно с системной динамикой и дискретно-событийным моделированием. Эти виды моделирования позволяют добавлять блоки для различного рода операций. Системная динамика, дискретно-событийное моделирование и агент-ориентированное моделирование позволяют смоделировать экономическую систему любой сложности (рисунок 1). Для этого используются различные языки моделирования, среди которых можно выделить диаграммы процессов, диаграммы состояния, блок-схемы и диаграммы потоков и накопителей.



Агентное моделирование



Дискретно-событийное



Системная динамика

Рисунок 1 – Многоподходное моделирование

Figure 1 - Multi-approach modeling

Источник: официальный сайт программного продукта AnyLogic. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/>

Сочетание трех методов имитационного моделирования допускает возможность их комбинирования таким образом, чтобы достоинства одних методов уравновешивали недостатки других.

Агент-ориентированный метод, учитывая его многочисленные достоинства, позволит для моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости задействовать большое количество взаимодействующих агентов, а также менять параметры и правила их поведения, что способствует получению более точного результата моделируемой ситуации в экономике.

Российский опыт агент-ориентированного моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости

В своих работах российские исследователи в отражении межрегиональных взаимосвязей различных типов агентов для функционирования цепочек создания стоимости применяют агент-ориентированное моделирование с акцентом на пространственную структуру. В работе В. И. Сулова, Д. А. Доможирова[5] и их коллег рассматривается агент-ориентированная многорегиональная межотраслевая модель (АОМММ), в которой взаимодействие экономических агентов осуществляется путем использования пространственного фактора. Отличительными чертами данной модели являются учет географического расположения агентов, а также совместимость с межрегиональной моделью "затраты-выпуск", что говорит о таком ее свойстве как преемственность. Авторы исследования отмечают тот факт, что моделирование экономики страны практически невозможно учитывать без пространственного аспекта, непосредственно влияющего на динамические процессы в экономике. Такую возможность представления пространства, по их мнению, наиболее вероятно реализовать с помощью пространственной АО-модели. Предлагаемая исследователями модель включает в себя три макрорегиона (Запад, Центр, Восток), которые образованы 77 административно-территориальными единицами. Это, по мнению авторов, обеспечивает максимальную детализацию пространства. Домохозяйства, фирмы и власти, являющиеся микроэкономическими агентами, взаимодействуют друг с другом, тем самым изменяя макропараметры экономического пространства страны. Результаты моделирования анализируются по статистике, собираемой в разрезе макрорегионов, отраслей и экономики в целом: объемы, производство, прибыль, рентабельность, потребительские доходы.

В других публикациях авторов по АОМММ [2] пространственный аспект рассматривается как непрерывно меняющееся явление. Исследователи ставят перед собой цель рассмотреть в АОМ экономические процессы в пространстве. По их мнению, пространственный фактор дает возможность представить асимметричное пространство любой конфигурации, что является преимуществом агент-ориентированного моделирования перед традиционными подходами. В рассмотренной ими модели агенты распределены в координатах (широта, долгота), они имеют географическую локацию в непрерывном пространстве и учитывают свои координаты и координаты тех агентов, с которыми взаимодействуют. Пространственная структура здесь представляется транспортными издержками. Ученые предлагают дальнейшие перспективы развития модели в пространственном аспекте, а именно предполагается наделить агентов возможностью менять свою локализацию. Для этого требуется введение финансовой системы как нового типа агентов, чтобы увеличивать капитал фирм за счет инвестиций. Также исследователи предлагают ввести как отдельную отрасль транспорт, выделив в модели транспортные фирмы, что повлечет за собой изменение механизма торговли.

В публикации Д. А. Доможирова и Н. М. Ибрагимова рассмотрены методы обработки результатов экспериментов, проведенных на базе пространства той же модели "затраты-выпуск", а также приведены

межрегиональные и межотраслевые таблицы [6, 7]. Исследователи провели эксперимент, в ходе которого определяли влияние "сопротивления пространства" (измеряемого уровнем транспортных затрат) на связность многорегиональной экономики. На основе таблиц было выявлено, что транспортные издержки влияют на структуру использования продукции региона, а именно: увеличение транспортных издержек приводит к тому, что продукция потребляется, в основном, внутри региона, тем самым становятся выше региональные коэффициенты и ниже межрегиональные (на основе анализа леонтьевских мультипликаторов). Это приводит к ослаблению межрегионального взаимодействия. В то же время снижение транспортных издержек приводит к укреплению взаимных поставок региона.

Ученые Института экономики и организации промышленного производства СО РАН и Новосибирского национального исследовательского государственного университета в своем исследовании [8] предлагают в качестве развития АО-многорегиональной модели "затраты-выпуск" внедрение нового типа агента-государства, включение в модель которого обосновано добавлением в пространственную АО-модель различных видов налогов, среди которых авторы отмечают НДС, подоходный налог, налог на прибыль, страховые взносы, а также обеспечение трансфертом других типов агентов. В работе сделан акцент на поиск оптимальных уровней налоговых ставок при нескольких вариантах, а именно, одновременное пропорциональное изменение ставок и изменение отдельных ставок налогов в отдельности.

Исследователи Ульяновского государственного университета отмечают важность понимания регулирования взаимодействий экономических агентов для возможности управления процессом образования цепочек создания стоимости, что в значительной степени отразится на конкурентоспособности региона [9]. Особое внимание уделяется одному из этапов цепочки создания стоимости, а именно, дистрибуции продукции. Кластерная структура разбивается на два типа: агенты, формирующие добавочную стоимость в процессе производства продукции (поставщики), и агенты, формирующие добавочную стоимость в процессе дистрибуции продукции (торговые агенты). Сложность в АО-моделировании структуры сети дистрибуции кластерных систем состоит в неоднородности хозяйственных отношений между участниками экономических кластеров, поэтому предлагается упрощение модели путем рассмотрения агентов, участвующих при формировании добавочной стоимости на этапе дистрибуции конечной продукции. В данном случае к таким агентам относят торговых агентов. В качестве используемых подходов и методов авторы ссылаются на зарубежных исследователей для описания поведения между производителями и поставщиками.

Зарубежный опыт агент-ориентированного моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости

В работах зарубежных авторов большое внимание уделено многообразию агент-ориентированного моделирования межрегиональных взаимодействий агентов. В работе [10] греческих исследователей описывается пространственная агент-ориентированная модель, основанная на экономических агентах. В качестве агентов авторы выделяют домохозяйства, фирмы, центральные и

местные органы власти. В данной АО-модели учитывается поведение фирм, которые стремятся максимизировать прибыль, инвестиции и активы из нескольких регионов, включая эндогенные внутригородские и междугородние транспортные расходы. Агенты центральных и местных органов власти занимаются решением вопросов территориального развития. К возможностям АОМ авторы относят моделирование сложных взаимодействий в дискретном времени домохозяйств и фирм с учетом их местоположения и транспортных решений. Через последовательные итерации получают дискретное (пошаговое) моделирование эволюционного пути городских процессов. Однако АОМ допускает возможность отклонения результатов от прогнозирования в связи с ограниченной рациональностью агентов, разной степенью интеллектуальности, автономии и других немаловажных характеристик.

Авторами предлагается такая пространственная агент-ориентированная модель, которая включает различные решения о местоположении агентов, транспортировке и их взаимодействии (домохозяйств, фирм, правительств в системе городской агломерации). В рассматриваемой модели домохозяйство может выбирать место проживания и место работы в другом регионе (рисунок 2). Такие действия агентов обусловлены различными факторами, среди которых выделяют стоимость жилья и продукции, заработную плату и налоги.

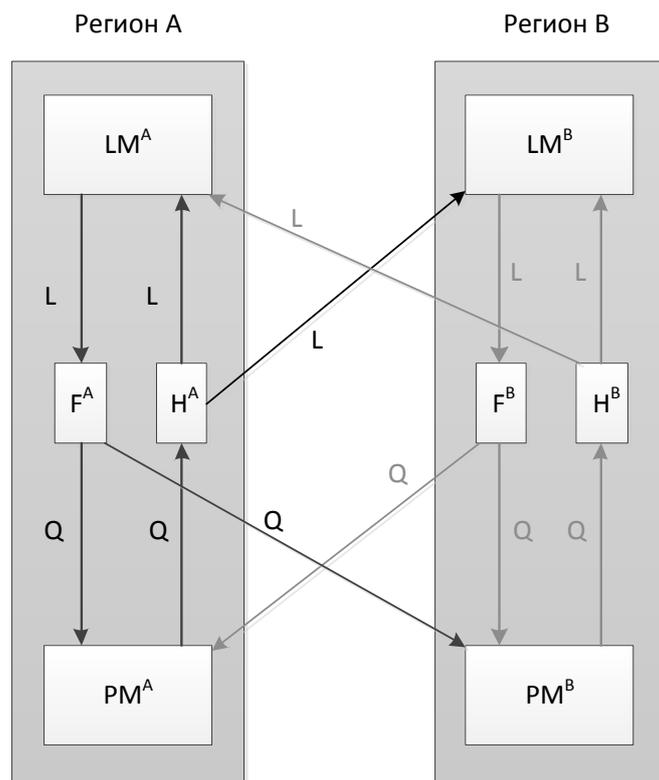


Рисунок 2 – Межрегиональное взаимодействие на примере двух регионов

Figure 2 - Interregional interaction on the example of two regions

Примечание: F – фирма; H – домохозяйство; PM и LM – рынок товаров и труда.

Источник: [10].

Целью агентов (фирмы и домохозяйства), в первую очередь, является максимизация своей прибыли и "полезность". Ввиду эндогенных изменений внутри региона, связанных с местными условиями, агенты вынуждены

постоянно менять свое решение относительно выбора местоположения. Такая корректировка выбора осуществляется путем сравнения всех соответствующих факторов и параметров во всех регионах. Агенты (центральные и местные органы власти) в рамках своих полномочий могут регулировать такие параметры, как ставки налогов на доходы домохозяйств, на добавленную стоимость (НДС), а также осуществлять государственные инвестиции.

Ученые Фрайбургского университета в своем исследовании [11] описывают многоагентную систему, которая глобально координирует работу сложной многоэтапной цепочки создания стоимости. Они отмечают, что цепочка создания стоимости состоит из нескольких взаимосвязанных организационных единиц, которые используют сырье в качестве ресурсов и за счет добавления рабочей силы и знаний повышают ценность производимой ими продукции.

Авторы предлагают программный инструмент "Avalanche", который использует общедоступные библиотеки Java "MobileAgent". Местоположения агентов распределены по сети TCP/IP, и агенты самостоятельно перемещаются из одного места в другое в поиске сделок, в то же время они сотрудничают и поддерживают координацию бизнес-процессов.

Все агенты используют стратегию согласования, которая носит эвристический характер и зависит от стохастических переменных, значения которых определяются во время создания агента. Ключевой переменной любого агента является капитал, служащий не только средством вычисления и хранения "денежных" единиц при покупке или продаже, но также фактором относительного успеха агента. Успех агента в целом может быть измерен в экономических (эффективность Парето) или технических (вычислительная эффективность) терминах. Однако авторы отмечают недостаток такого метода моделирования, который состоит в том, что на интерпретацию результатов оказывают существенное влияние аспекты вычислительной реализации (из-за использования стандартизированных библиотек мобильных агентов и протоколов согласования). Но при этом техническая открытость приложения и невысокая сложность отдельных агентов уравнивают этот недостаток.

Другая, не менее интересная, с точки зрения реализации цепочки создания стоимости с помощью агентов, агент-ориентированная модель представлена в работе [12] исследователей Федерального университета Рио-де-Жанейро. Они предлагают внедрение обучающихся агентов (R-Learning), чтобы сократить время на построение модели, поскольку большая часть времени требуется на определение правил и разработку достоверных моделей. Агентная модель отображает цепочки создания стоимости нефтяной промышленности. Ее возможности довольно многообразны: представление произвольных объемов цепочек создания стоимости в нефтяной отрасли (от логистики внутри предприятия до систем снабжения с различными видами транспортировки); представление параметров системы, требующих калибровки или экспертного ввода; взаимодействие между элементами без необходимости внедрения сложных правил взаимосвязи; учет особенностей нефтяной промышленности (время подготовки резервуаров). Элементы модели и их взаимодействия авторы представляют в виде поясняющей схемы (рисунок 3).

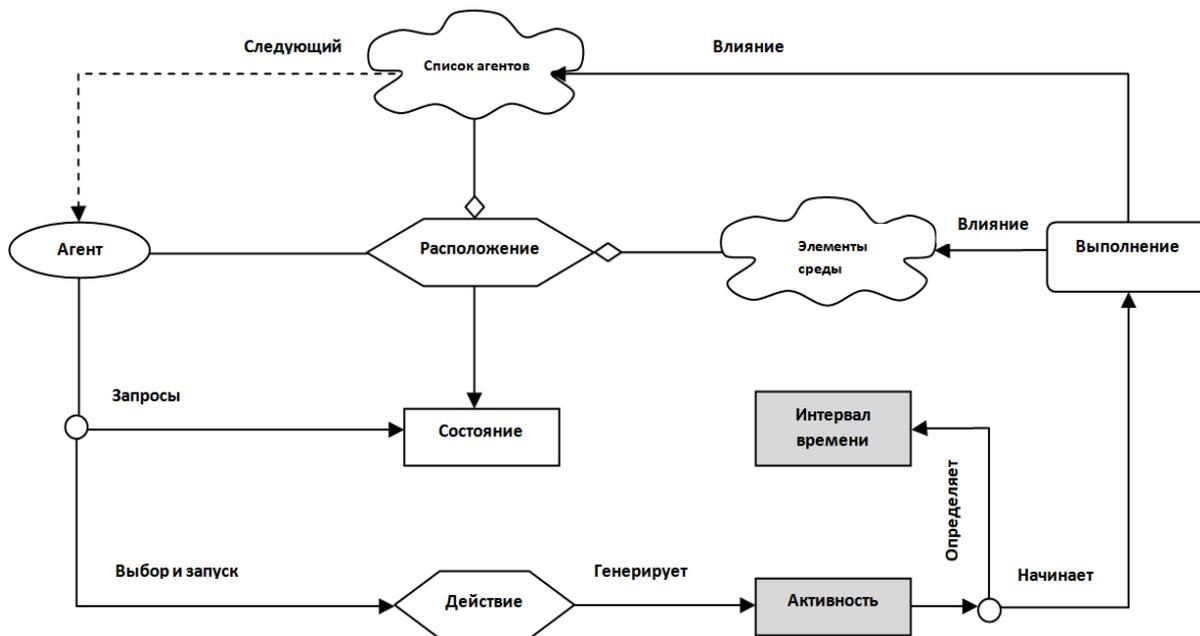


Рисунок 3 – Элементы модели и их взаимодействия
Figure 3 - Model elements and their interactions

Источник: [12].

Исследователи отмечают свойства, присущие агентам, а именно, интерактивность и адаптивность. Моделирование цепочки создания стоимости нефти предусматривает определение основных элементов, которые отображают процессы, непосредственно связанные с этапом хранения, преобразования и транспортировки. По запросу моделирования агенты должны выполнять действия. Простые агенты могут иметь только одно доступное действие. Агенты, для которых доступно более одного действия, должны выбирать, какое из них в какое время и последовательности будет выполняться. В качестве агентов в модели рассматриваются: вход и выход, предложение, транспортное средство, передача, планировщик трубопроводов, группа транспортных средств. Сценарии моделирования осуществляют проверку различных емкостей хранения, размеров флота и скорости потока для цепочки поставок нефти с различными видами транспорта (суда, грузовики, трубопроводы).

В работе других авторов [13] рассматривается агент-ориентированное моделирование цепочки поставок агропродовольственных товаров. Агропродовольственные цепочки поставок являются сложными и динамическими процессами, со временем претерпевающими различного рода изменения. Такие цепочки поставок включают в себя большое количество субъектов, каждый из которых пытается максимизировать свою прибыль и прибыль цепочки в целом. Агенты могут динамически поддерживать взаимосвязанные процессы принятия решений, что способствует их применению в цепочке поставок. Этот метод моделирования в значительной степени позволяет наблюдать за поведением каждого участника цепочки поставок с течением времени. Для моделирования при помощи агентов цепочек поставок авторы используют два подхода многоагентного моделирования (JADE и NetLogo). Агенты способствуют заинтересованным сторонам цепочки поставок

минимизировать затраты, повысить гибкость и избежать единой точки отказа при продолжительной работе. При использовании двух агентных платформ исследователи провели сравнение в ходе построения агропродовольственной цепочки поставок. По их мнению, обе платформы могут использоваться для реализации агропродовольственных цепочек поставок, однако каждой из них присущи свои преимущества и недостатки. На программном уровне JADE является более сложной платформой по сравнению с NetLogo ввиду требования достаточного опыта программирования. Но, с другой стороны, JADE обеспечивает высокий уровень эффективности и гибкости, что говорит о повышенной надежности модели. Платформа NetLogo в силу своего простого пользовательского интерфейса не требует опыта знания основ программирования и ориентируется на быструю разработку моделей с многочисленными готовыми к использованию расширениями.

Заключение

Проанализировав агент-ориентированные модели российских и зарубежных исследователей, можно сделать вывод, что такой метод имитационного моделирования в значительной степени позволяет построить модель любой сложности и конфигурации. В качестве агентов межрегионального взаимодействия для функционирования цепочек создания стоимости мировые исследователи чаще всего используют домохозяйства и фирмы различных отраслей. Важно подчеркнуть, что дальнейшие исследования по усовершенствованию АО-моделей они связывают с внедрением новых агентов, например, агента-государства для введения налоговой системы и агента-транспорта для регулирования механизма торговли (АОМММ "затраты-выпуск"). Обобщение работ авторов показало, что внедрение пространственной структуры в агент-ориентированных моделях является несомненным преимуществом, так как пространственные АО-модели дают возможность размещать агентов в координатах, изменять транспортные издержки и налоги в зависимости от местоположения агентов, регулировать выбор места жительства и места работы агентами и другое. Для построения АО-модели межрегионального взаимодействия необходимо корректно определить типы и количество основных агентов, их параметры, правила поведения и механизм взаимодействия. Помимо этого, требуется учитывать программные средства, с помощью которых создаются агент-ориентированные модели. При выборе программного продукта следует обращать внимание на их возможности (например, сочетание АОМ с другими методами имитационного моделирования для наиболее детального представления взаимодействия агентов друг с другом и с окружающей средой), а также навыки программирования разработчиков.

В наших дальнейших исследованиях планируется использование такого инструментария для моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости. На наш взгляд, учитывая опыт использования агент-ориентированного моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости, необходимыми требованиями при разработке такой АО-модели являются именно использование статистических данных, а также применение геоинформационного подхода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Проблемы экономического роста территории: монография / Т. В. Ускова и др. – Вологда: Ин-т социально-экономического развития территорий РАН, 2013. – 170 с.
2. Опыт агент-ориентированного моделирования пространственных процессов в большой экономике / В. И. Суслов и др. // Регион: Экономика и Социология. - 2014. - № 4(84). - С. 32-54.
3. Агент-ориентированные модели: мировой опыт и технические возможности реализации на суперкомпьютерах / В. Л. Макаров и др. // Вестник Российской академии наук, - 2016. – Т. 86, № 3. - С. 252–262.
4. Макаров В. Л., Бахтизин А. Р. Новый инструментарий в общественных науках - агент-ориентированные модели: общее описание и конкретные примеры // Экономика и управление. - 2009. - № 12(50). - С. 13-25.
5. Агент-ориентированная многорегиональная модель "затраты-выпуск" российской экономики / В. И. Суслов и др. // Экономика и математические методы. - 2016. - Т. 52, № 1. - С. 112-131.
6. Интеграция подхода "затраты-выпуск" в агент-ориентированное моделирование. - Ч. 1. Методологические основы / Д. А. Доможиров и др. // Мир экономики и управления. - 2017. - Т. 17, № 1. - С. 86-99.
7. Интеграция подхода "затраты-выпуск" в агент-ориентированное моделирование. – Ч. 2. Межрегиональный анализ в искусственной экономике / Д. А. Доможиров и др. // Мир экономики и управления. - 2017. - Т. 17, № 2. - С. 14-25.
8. Суслов В. И., Новикова Т. С., Цыплаков А. А. Моделирование роли государства в пространственной агент-ориентированной модели // Экономика региона. - 2016. - Т. 12, вып. 3. - С. 951-965.
9. Сеницын А. О., Цыганов А. В. Моделирование структуры сети дистрибуции кластерных систем // Вестник Воронежского гос. ун-та. Серия: Экономика и управление. - 2019. - № 1. - С. 50-55.
10. Tsekeris T., Vogiatzoglou K., Bekiros S. Multi-regional agent-based modeling of household and firm location choices with endogenous transport costs //ERSA conference papers. – Louvain-la-Neuve, 2011.
11. Eymann T., Padovan B., Schoder D. Simulating value chain coordination with artificial life agents // In Proceedings of the 3rd Intl. Conference on Multi-Agent Systems (ICMAS'98). - IEEE CS Press, Los Alamitos, 1998. – P. 423-424.
12. Oil industry value chain simulation with learning agents/ FullerD.et al. // Computers & Chemical Engineering. – 2018. - Vol. 111. – P. 199-209.
13. Keramydas C., Aidonis D., Bechtsis D. Agent-Based Simulation for Modeling Supply Chains: A Comparative Case Study // International Journal of New Technology and Research (IJNTR). – 2016. - Vol. 2, Issue10. - P. 36-39.