

*Н.В. Кошуняева, аспирант,  
Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова  
А.Г. Тутыгин., к.т.н.,  
доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии,  
Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова*

## **АНАЛИЗ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АГЕНТНОГО И ДИСКРЕТНО-СОБЫТИЙНОГО МЕТОДОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТНОГО ТИПА**

*В статье производится сравнительная характеристика двух основных подходов имитационного моделирования: дискретно-событийного и агентного, определяются достоинства и недостатки каждого из них. В результате анализа указанных методов делается вывод о целесообразности применения гибридного метода (дискретно-событийного и агентного) при моделировании логистических систем.*

***Ключевые слова:** агентное моделирование, дискретно-событийное моделирование, имитационное моделирование, логистика, AnyLogic.*

В настоящее время имитационное моделирование находит широкое применение в различных областях. Выделяют три метода имитационного моделирования: агентное, дискретно-событийное и системная динамика. Дискретно-событийное моделирование является общим подходом для системной инженерии, поскольку исследователь может программировать различные состояния системы, чтобы получать необходимую информацию о поведении рассматриваемой системы. Моделирование на основе агентов, как известно, широко используется в экологии, политике, экономике, логистике и других науках, где исследователь может запрограммировать определенное поведение для сущностей, а затем наблюдать, как моделирование производит взаимодействия между многими сущностями.

Большинство типов моделей сводятся к тому, чтобы смотреть на систему “сверху вниз” или “снизу вверх”. Дискретно-событийное моделирование смотрит вниз на систему, моделируя возникновение ожидаемых событий. И наоборот, агентное моделирование рассматривает функциональность системы, чтобы увидеть, какие производятся действия.

Агентное моделирование представляет собой относительно новую парадигму имитационного моделирования, появившуюся в 90-х гг., которая применяется для исследования и оптимизации децентрализованных систем. В

таких системах динамика функционирования определяется индивидуальной активностью членов группы, а не глобальными правилами и законами. Агентное моделирование – это вычислительный инструмент, который может производить систему функционирования, программируя отдельные элементы системы. Агент – это отдельная сущность, обладающая активностью и представляющая социальные субъекты, которыми могут быть люди, животные, организации или любая отдельная система. Эти агенты должны быть гибкими и способными функционировать независимо от своего окружения. Кроме того, они могут быть гетерогенными, автономными и «ограниченно рациональными». Ограниченно рациональный агент обладает некоторой доступной ему информацией, которую он использует, действуя в рамках набора правил. Таким образом, агент не всегда действует рационально, поскольку он может не располагать достаточной информацией для принятия обоснованного решения. Поэтому ограниченно рациональные агенты являются хорошим выбором для моделирования реалистичных ситуаций. Дополнительным преимуществом агентного моделирования является способность агентов взаимодействовать между собой. В отличие от системной динамики или дискретно-событийных моделей, здесь нет такого места, где централизованно определялось бы поведение (динамика) системы в целом. Вместо этого аналитик определяет поведение на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности многих (сотен, тысяч, миллионов) агентов, каждый из которых следует своим собственным правилам, живёт в общей среде и взаимодействует со средой и с другими агентами. Агентный подход является более мощным и универсальным, в отличие от других подходов имитационного моделирования, в случае моделирования систем, содержащих большие количества активных объектов, объединённых элементами индивидуального поведения, так как оно позволяет учесть любые сложные структуры и поведения. Таким образом, понимая индивидуальную логику поведения участников процесса, можно построить агентную модель и вывести из нее глобальное поведение. Построение агентной модели представляет собой более простой процесс, нежели построение дискретно-событийной модели. Агентную модель проще поддерживать, так как уточнения обычно делаются на локальном уровне и не требуют глобальных изменений.

В то время как агентное моделирование фокусируется на агентах, дискретно-событийное моделирование имеет дело с событиями. Событие представляет собой некоторое явление, наблюдаемое извне. Основная парадигма данного подхода заключается в использовании заявок-транзактов, отображающих динамические объекты моделирования, и блоков-объектов, обрабатывающих эти заявки. Дискретно-событийное моделирование наиболее развито

и имеет огромную сферу приложений – от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем. Дискретно-событийное моделирование представляет собой набор событий, влияющих на систему и изменяющих состояния системы. Поэтому данная парадигма является хорошим выбором, когда известна информация о том, как базовая система реагирует на определенную ситуацию. Разработчик моделей кодирует событийную модель, чтобы она реагировала согласно данным фактических наблюдений, при этом, думая о модели как о «чёрном ящике», в котором внутренняя работа неизвестна. Поэтому одним из преимуществ дискретно-событийной модели является простота ее создания. Еще одно преимущество заключается в ее тестируемости, поскольку тестировщика в первую очередь интересуют не внутренние состояния тестируемой системы, а события, которые можно наблюдать и оценивать вне системы. Однако эти же события могут быть недостатком, если разработчик моделей не знает их причин. Таким образом, события и реакции на события должны быть понятными для правильного моделирования.

Как показано в таблице, оба подхода имеют свои достоинства и недостатки. Таким образом, вопрос заключается не в лучшей парадигме моделирования, а скорее в лучшем подходе для конкретных целей.

Таблица

**Сравнение дискретно-событийного моделирования  
и агент-ориентированного моделирования**

<i>Дискретно-событийное моделирование</i>	<i>Агент-ориентированное моделирование</i>
Макроспецификации показывают микро-структуры (взгляд «сверху вниз»)	Микроспецификации производят макро-структуру (Взгляд «снизу вверх»)
Внешне наблюдаемое явление (события)	Автономные решения лиц (агентов)
Запрограммированный ответ на дискретные события	Программируемая функциональность агентов
События придерживаются наблюдаемой информации системного уровня	Агенты придерживаются поведенческих правил (ограниченно рациональных)
Система заинтересованности изменениями состояний в ответ на события	Агенты действуют независимо и гибко
Событие влияет на весь объект	Агенты взаимодействуют как отдельные части моделирования
Простота моделирования входов, состояний и выходов	Простота в моделировании правил
Просто для тестирования	Сложно в проверке
Подходит для моделирования на среднем и низком уровнях абстракции	Подходит для моделирования на высоком, среднем и низком уровнях абстракции

Выбор парадигмы моделирования зависит от типа задачи, которую необходимо решить, и от той цели, которую необходимо достигнуть. В некоторых случаях приходится использовать многоподходное моделирование, в котором сочетаются более одной парадигмы моделирования.

Логистические системы транспортного типа являются сложными системами, моделирование которых не всегда возможно с использованием только одной из парадигм имитационного моделирования. Поэтому часто приходится совмещать дискретно-событийное и агентное моделирование.

Актуальность применения гибридных методологий моделирования была описана такими авторами, как Е.А. Бабкин и Е.В. Копица. Борщёвым был предложен механизм транслирования моделей, построенных на основе дискретно-событийного подхода и системной динамики в агентные модели. В.И. Хабаровым и К.В. Красниковым описаны задачи имитационного моделирования потоков на железнодорожном транспорте, для решения которых применены комбинации агентного и дискретно-событийного подходов в данной области. А.Н. Рахмагнгуловым и Д.С. Муравьевым показано развитие морской портовой инфраструктуры региона на основе «сухих портов», с использованием комбинации агентного и дискретно-событийного подходов моделирования.

При моделировании транспортных сетей важны расписания, задержки, мощности и ёмкости, времена разгрузочных работ, работ по обработке грузов. При этом цепочки поставок моделируются на самых разных уровнях абстракции, так что их можно было бы расположить в любом месте шкалы от среднего до высокого уровня.

Производители товаров часто покупают сырье, продавая свою продукцию покупателям путем сложных межорганизационных отношений. Для моделирования цепочек поставок удобно использовать дискретно-событийное моделирование с элементами агентного подхода. При этом в задаче разработки имитационной модели поставок необходимо определить ключевые элементы, входящие в систему, такие как предприятия-производители, транспортное средство (морской транспорт, железнодорожный или автомобильный), дистрибьюторы. Данные элементы в модели будут представлены как агенты различных типов, каждый из которых обладает определенными характеристиками, а анализ и оптимизацию работы системы необходимо проводить уже с использованием дискретно-событийного подхода. В этом случае модель системы будет представлена наиболее реалистично. Необходимо отметить, что такая модель будет более гибкой к воздействиям окружающей среды.

Разработку модели по управлению цепочками поставок с помощью имитационного моделирования, требующего описания участков цепи и агентов, находящихся в системе, удобно производить в системе AnyLogic, так как она позволяет строить модели систем с использованием различных парадигм в рамках одной модели.

Таким образом, агентный подход и дискретно-событийное моделирование имеют свои достоинства и недостатки. Поэтому при построении модели логистической системы транспортного типа удобно использовать гибридный подход, когда системно-динамическая и агентные части модели работают в совокупности друг с другом: системно-динамическая часть передает данные в агентную и наоборот.

\*\*\*

1. W. Clifton Baldwin, Brian Sauserb, and Robert Cloutierc. Simulation Approaches for System of Systems: Events-Based versus Agent Based Modeling. *Procedia Computer Science* 44 (2015) // URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915002689> (дата обращения: 15.09.2019).

2. Борщёв А. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. URL: <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf> (дата обращения: 26.09.2019).

3. Бабкин Е.А., Копица Е.В. О методологии имитационного моделирования бизнес-процессов на основе агентного и дискретно-событийного подходов // *Auditorium. Электронный научный журнал Курского государственного университета*. 2017. № 2 (14) // URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2017-babkin-kopica.pdf> (дата обращения: 26.09.2019).

4. Хабаров В.И., Красников К.В. Создание имитационной модели движения поездов с использованием мультиагентного и дискретно-событийного подходов на примере западно-сибирской железной дороги // *Известия Транссиба. Информационные технологии, автоматика, связь, телекоммуникации*. № 3(31) 2017. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/sozdanie-imitatsionnoy-modeli-dvizheniya-poezdov-s-ispolzovaniem-multiagentnogo-i-diskretno-sobytiynogo-podhodov-na-primere-zapadno> (дата обращения: 27.09.2019).

5. Рахмагнгулов А.Н., Муравьев Д.С. Развитие морской портовой инфраструктуры региона на основе «сухих портов» // *Экономика региона*. 2016. Т. 12. Вып. 3. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2016-rahmangulov-muraviev.pdf> (дата обращения: 28.09.2019).