

А.В. Маслобоев

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ И АГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В статье рассмотрена проблема информационного обеспечения управления инновациями. Определена роль компьютерного моделирования в решении данной проблемы. Кратко рассмотрены метод системной динамики и технология мультиагентных систем как эффективные средства моделирования сложных систем. Предложена структура системно-динамической и агентной моделей рыночного распространения (диффузии) инновации. Разработаны научно-методические основы интеграции мультиагентных технологий и метода системной динамики.

A.V. Masloboev

APPLICATION OF SYSTEM DYNAMICS AND AGENT-BASED TECHNOLOGIES FOR INNOVATIVE PROCESSES DEVELOPMENT SIMULATION

In this paper the problem of information support of innovation management is considered. The importance of computer modeling in solving of the problem is represented. A short description of system dynamics method and multi-agent technology as efficient means for complex system simulation is given. The system dynamic and agent-based models structure of market innovation distributions (diffusion) are proposed. The scientific-methodical foundations of multi-agent technologies and system dynamics method integration are developed.

Введение

Повышение эффективности инновационного менеджмента является сложной и актуальной задачей. Традиционные источники конкурентных преимуществ постепенно уходят в прошлое. Сегодня, в условиях очень «плотно заселенного», высокотехнологичного и активного рынка, уже далеко не всегда удастся получить конкурентные преимущества перед экономическими соперниками лишь за счет «классических» источников – доступа к дешевым ресурсам, удобного географического положения, снижения себестоимости продукции и других. Когда «классические» источники преимуществ исчерпаны, единственной возможностью выиграть в конкурентной борьбе становится создание и выпуск на рынок продукта, обладающего новыми качествами, отсутствующими у аналогов. Разработка инновационного продукта подразумевает целый ряд «дорыночных» этапов жизненного цикла, в частности – научные исследования и опытно-конструкторские разработки. Однако инновационная деятельность сопряжена с дополнительными рисками: в случае недостаточного рыночного успеха затраты на создание нового продукта могут быть не оправданы.

Скорость рыночного распространения инноваций, а также риски слишком ранней смены технологий (вывода на рынок нового, более технологичного

и сложного продукта, взамен устаревшего), являющиеся определяющими факторами потенциальной прибыли от создания нового продукта, лишь частично определяются внешними, по отношению к фирме-инноватору, факторами. Внутренняя активность фирмы, качественные и временные характеристики принимаемых решений в данном случае также важны. Современная экономическая практика показывает, что, в первую очередь, именно качество менеджмента определяет характер и временные рамки рыночного успеха нового продукта.

Инновационный менеджмент является сложной и динамичной задачей. Принимаемые при этом решения часто являются «вопросом жизни и смерти» фирмы и базируются, в основном, на управленческой мудрости и опыте лица, принимающего решения (ЛПР). Решения, принимаемые на таком уровне сложности, практически невозможно автоматизировать, однако их принятие можно существенно облегчить за счет использования формализованных моделей и адекватных задаче информационно-аналитических систем.

Фирма и рынок, управленческие решения и реакция на них внешней экономической среды тесно взаимосвязаны. Эта взаимосвязь выражается в различного вида обратных связях между компонентами экономической среды развития инновации. При

этом количество взаимосвязанных компонентов и количество связей между ними может быть весьма велико. В таких условиях ЛПР ментально охватить весь спектр разнородных структурных взаимосвязей экономической среды становится, по меньшей мере, затруднительно. Задача еще более усложняется, если принимать во внимание динамический характер процессов, протекающих в среде развития инноваций. Существенно облегчить анализ текущей ситуации и потенциальных вариантов ее развития с целью последующего принятия управленческого решения может использование современных методов и технологических средств компьютерного моделирования сложных систем.

В данной работе рассмотрена проблема информационного обеспечения управления инновациями. Определена роль компьютерного моделирования в решении данной проблемы. Кратко рассмотрены метод системной динамики и технология мультиагентных систем, как эффективные средства моделирования сложных систем. Предложена структура системно-динамической и агентной моделей рыночного распространения (диффузии) инновации. Агентная модель развития инновационной идеи разработана в системе агентного имитационного моделирования AnyLogic [1]. Модель предоставляет статистическую информацию о развитии инновационных идей, а также возможность проанализировать сложившуюся экономическую ситуацию на рынке и принять решение по реализации инновационной идеи. Разработаны научно-методические основы интеграции мультиагентных технологий и методов системной динамики. Предложена гибридная InteRRap-архитектура интеллектуального агента с внутренней подсистемой имитационного моделирования, представляющей собой имитационный аппарат (комплекс системно-динамических моделей). Рассмотрены подходы к реализации имитационного аппарата агентов на основе системно-динамических моделей в мультиагентной среде.

Задача информационной поддержки инноваций

Структура и специфика задачи информационной поддержки инноваций подробно описана в работе [2]. Разнородность участников инновационных процессов и многообразие выполняемых ими функций делают задачу информационной поддержки инновационной деятельности сложной и многоаспектной. Поэтому важнейшим условием ее успешного решения является четкое понимание структуры и содержания составляющих ее подзадач.

В наиболее общем представлении в этой проблеме можно выделить два компонента.

1. Собственно *информационное обеспечение* инновационной деятельности. Для эффективного решения задач, стоящих перед участниками инновационных процессов, они должны располагать необходимыми информационными ресурсами. Эти ресурсы играют роль, своего рода «сырого материала», из которого путем адекватной переработки можно получить новые данные и знания, необходимые для обоснованного выбора и претворения в жизнь текущих решений по управлению инновационными процессами. К таким базовым информационным ресурсам относятся:

- Различные базы данных, содержащие информацию об участниках инновационных процессов и ресурсах инноваций;
- веб-ресурсы инноваций, обеспечивающие удобный гипермедийный дистанционный доступ к данным;
- средства телекоммуникаций, обеспечивающие абстрагирование от территориальной привязки субъектов и ресурсов инноваций.

2. *Методическое обеспечение* инновационной деятельности, представляющее собой арсенал разнообразных методов и средств целенаправленной обработки «сырых» данных. Методическое обеспечение, в основном, составляют методы и средства поддержки принятия решений, а также средства автоматизации отдельных элементов инновационных процессов:

- методы и средства поддержки принятия решений;
- модели и методы прогнозирования;
- методы логистики;
- методы и средства автоматизации различных элементов инновационных процессов (автоматизированный поиск бизнес-партнеров по реализации инновационных проектов, методы интеграции семантически разнородных информационных ресурсов и т.п.).

Компьютерное моделирование в управлении инновациями

Компьютерное моделирование инновационных процессов позволяет рассмотреть поведение экономической системы, являющейся средой развития инноваций, изнутри. Для обеспечения эффективного управления инновационными процессами необходимо иметь цельное и исчерпывающее представление об экономической среде развития инновации. Для того чтобы понять и объяснить, почему происходят специфические изменения линий поведения системы, необходим всесторонний, обоснованный подход к моделированию, конечным итогом которого должно стать не предсказание или предугадывание будущих экономических ситуаций, но понимание сути дина-

мики исследуемой системы. В этом заключается ключевая парадигма систем поддержки принятия решений (СППР) на базе имитационного (компьютерного) моделирования – посредством итеративного процесса разработки и анализа модели обеспечить лучшее понимание наиболее существенных свойств проблемной области.

Одним из аспектов информационной поддержки инноваций является методическое обеспечение оценки их эффективности. Признанным подходом для получения таких оценок является моделирование реакции социально-экономических систем на возмущения в виде создания и развития в их рамках инновационных проектов. Можно выделить две группы методов такого моделирования. Первую составляют аналитические математические модели различных классов, вторая представлена методами, так или иначе опирающимися на использование экспертных знаний. Удачным, высокоэффективным компромиссом этих групп методов является системная динамика. Метод системной динамики был предложен Дж. Форрестером [3].

Можно выделить три основных преимущества, а, следовательно, и области применения динамического моделирования (моделирования с использованием метода системной динамики):

- сложные, слабоформализованные ситуации, в которых невозможно применение аналитических методов, или они настолько сложны и трудоемки, что динамическое моделирование дает более простой способ решения проблемы;
- моделирование поведения систем в ситуациях, которые ранее не встречались. В данном случае имитация служит для предварительной проверки новых стратегий управления системой перед проведением эксперимента на реальном объекте;
- моделирование ситуаций, наблюдение которых осложнено большой длительностью их развития или наоборот, то есть когда необходимо контролировать развитие ситуации путем ускорения или замедления явлений в ходе имитации.

Таким образом, можно констатировать большой потенциал в применении метода и технологий системной динамики к задаче моделирования инновационных процессов в социально-экономических системах, характеризующихся сложностью, новизной ситуаций, большой длительностью развития [4]. Одним из ярких представителей среди средств моделирования, реализующих методы системной динамики, является система динамического моделирования Powersim [5].

Системно-динамическая модель распространения инновации

Процесс рыночного распространения (диффузии) инновационного продукта обуславливается двумя группами факторов. Первую группу составляют объективные характеристики экономической среды развития инновации, внешние по отношению к фирме-инноватору. Вторую группу факторов составляют внутренние экономические характеристики функционирования фирмы-инноватора и принимаемые управленческие решения. Целевым показателем успешности инновационной деятельности фирмы является валовый объем продаж, измеренный в денежном эквиваленте.

К наиболее важным факторам, влияющим на результативность развития рынка инновационного продукта, в соответствии с [6] относятся следующие:

1. Внутренняя структура соответствующего сектора рынка – *монополистическая*, когда рассматриваемый тип продукта выпускает и продает одна единственная фирма, или *олигополистическая*, когда созданием и продажами некоторого инновационного продукта занимаются несколько конкурирующих фирм. Если в первом случае потенциальный объем рынка инновации равен объему исходного рынка, и задача инновационного менеджмента заключается в его эффективном, с точки зрения времени или аккумулированного объема продаж, освоении, то во втором случае рассматриваемый сектор рынка делится между несколькими конкурирующими фирмами, что заставляет фирму-инноватора использовать иные стратегии планирования производства, ценообразования, управления качеством и спросом. Возможно также рассмотрение и иных структур рынка.

2. Управленческие решения в отношении ценообразования, рекламной политики, управления качеством продукции, проведения НИОКР (с целью придания продукту новых свойств), объемов капиталовложений, временных параметров маркетинговых акций.

3. Общие закономерности развития инновационных рынков, такие, как процессы замены морально устаревшего продукта его обновленным аналогом с, возможно, расширенным спектром возможностей, процессы повторных покупок и другие.

В изложенной здесь модели перечисленные факторы представлены структурными элементами, а также отдельными компонентами системно-динамической модели – переменными, константами, уровнями, потоками.

Основной процесс рыночного распространения инновации представлен разновидностью эпидемической модели [7]: скорость распространения рыноч-

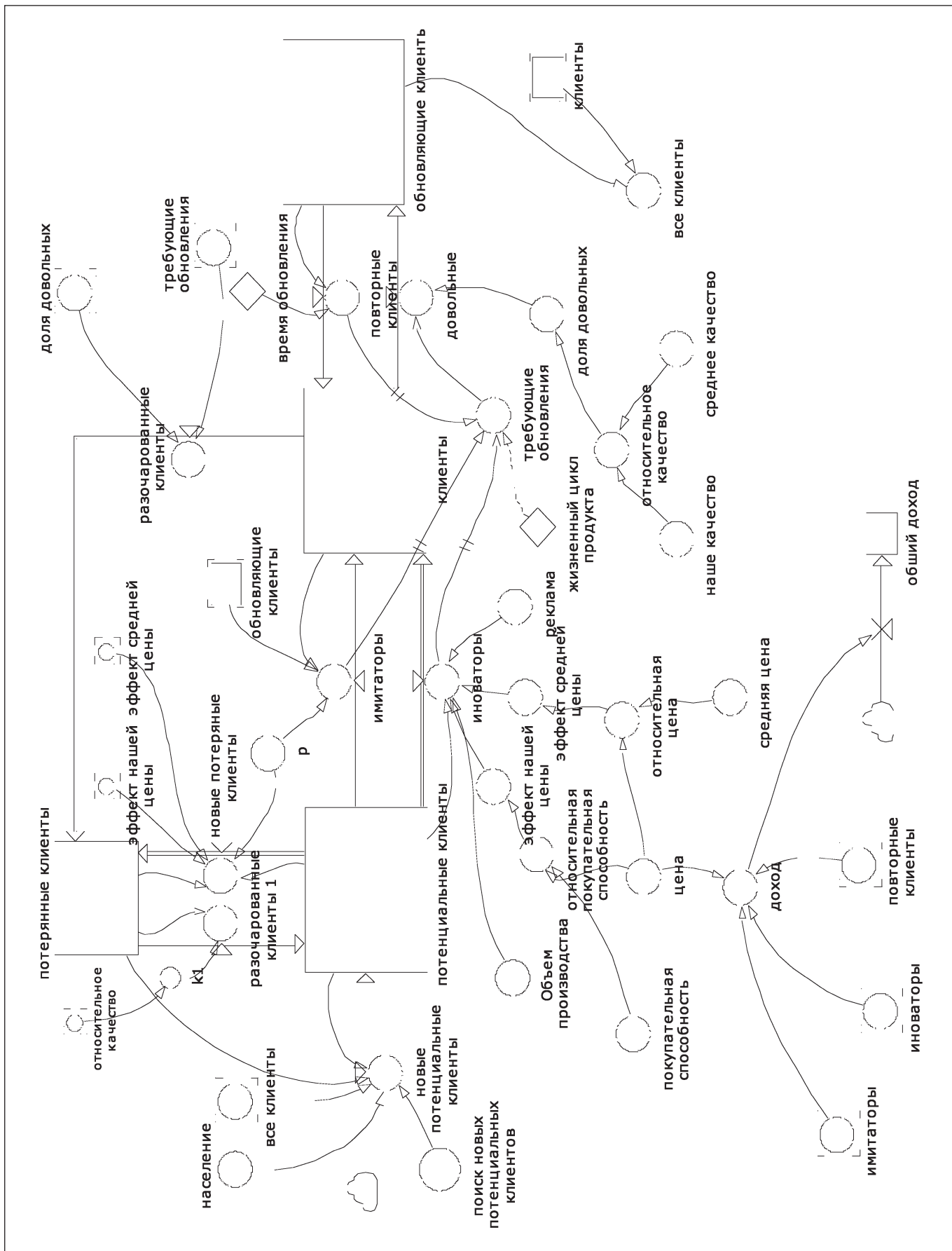


Рис. 1. Структура системно-динамической модели рыночной диффузии инновационного продукта

ного продукта зависит от количества контактов между его потенциальными и актуальными потребителями. Количество последних увеличивается за счет двух потоков: клиентов-инноваторов, побудительным мотивом которых к приобретению новшества является стремление первым испытать его потенциальные полезные свойства, первым получить опыт его использования, и клиентов-имитаторов, мотивация которых обусловлена стремлением «не отстать от других». Общим источником поступления актуальных потребителей новшества (адептов) является пул потенциальных клиентов, формируемый из населения региона, принимаемого за область распространения продукта, с учетом показателей спроса на новый продукт (точнее – на его некоторые потребительские свойства) и социальной динамики территории. Источником данных показателей является модель социально-экономической системы региона, например – модель моногорода [8]. Основными обратными связями модели является отток потенциальных клиентов за счет предпочтения альтернативного продукта, отток адептов, не удовлетворенных качеством новшества, и приток потребителей новшества, повторно приобретающих инновационный продукт по истечении срока эксплуатации ранее приобретенного новшества.

Динамика описанных процессов зависит от ряда факторов, в том числе – управляемых. К ним относятся:

- объем производства;
- стратегии ценообразования;
- уровень качества продукта, обуславливаемый объемом затрат на соответствующие мероприятия по его контролю;
- уровень затрат на рекламу;
- наличие и рыночная активность конкурентов;
- временные параметры жизненного цикла продукта.

Структура системно-динамической модели диффузии инновации, созданной в системе Powersim, показана на рис. 1. В работе [6] представлено описание основных элементов модели, взаимосвязей между ними и их назначение.

Разработанная имитационная модель, как и любая модель исследовательского типа, имеет ограниченную точность и полноту: в ней отражены лишь наиболее существенные факторы и структурные взаимосвязи, оказывающие влияние на процесс рыночной диффузии инновационного продукта. Модель может дорабатываться и улучшаться в направлении все более детального учета всех сложных взаимосвязей внутренних и внешних параметров рыночных процессов. Однако уже в нынешнем виде модель может

успешно использоваться в учебных и исследовательских целях для изучения и, как результат, лучшего понимания структуры и потенциальной результативности рыночных процессов, связанных с внедрением на рынок инновационного продукта и инициированных теми или иными управляющими воздействиями.

Результаты моделирования динамики распространения инновации для различных сценариев административного управления процессом рыночной диффузии инновационного продукта представлены в работе [6].

Агентная модель развития инновационной идеи

Для моделирования развития инновационной идеи целесообразно применение мультиагентного подхода [9]. Агентное моделирование – современная парадигма, позволяющая исследовать нетривиальное поведение сложных систем. Мультиагентные технологии используются при создании гибких систем распределенной обработки информации. Средствами мультиагентных технологий решаются задачи интеграции разнородных исполнительных ресурсов, поисковые задачи и пр. В области моделирования и автоматизации бизнес-процессов на основе этих технологий создаются логистические системы, системы управления бизнес-процессами (BPM-системы), корпоративные управляющие системы. В результате взаимодействия агентов возможно решение таких задач, как нахождение путей развития инновационных идей с учетом динамики изменения внешних условий, которые каждый агент по отдельности решить не в состоянии.

Модель развития инновационной идеи показана на рис. 2 и содержит семь объектов-агентов.

Агент «Market» содержит переменные характеристики рынка (спрос, предложение, конкуренция, показатель роста рынка, потенциал спроса, удовлетворенность спроса, наличие рыночной ниши) и предназначен для отражения экономических показателей и выдачи по запросу соответствующих данных.

Агент «Business» описывает возможности предприятия – потенциального покупателя идеи.

Агент «Idea» содержит характеристики самой инновационной идеи (требуемый капитал, требуемые кадры, сфера рынка и т.п.) и автора идеи (наличие требуемого капитала и кадров, знание рынка и т.п.). Предназначен для поиска способа реализации инновационной идеи.

Агент «State» имитирует выполнение функций государства. У государства как объекта экономики достаточно большой набор функций. Полная реализация столь сложного объекта заняла бы достаточно много времени. Поэтому в модели функциональность данного агента ограничена.

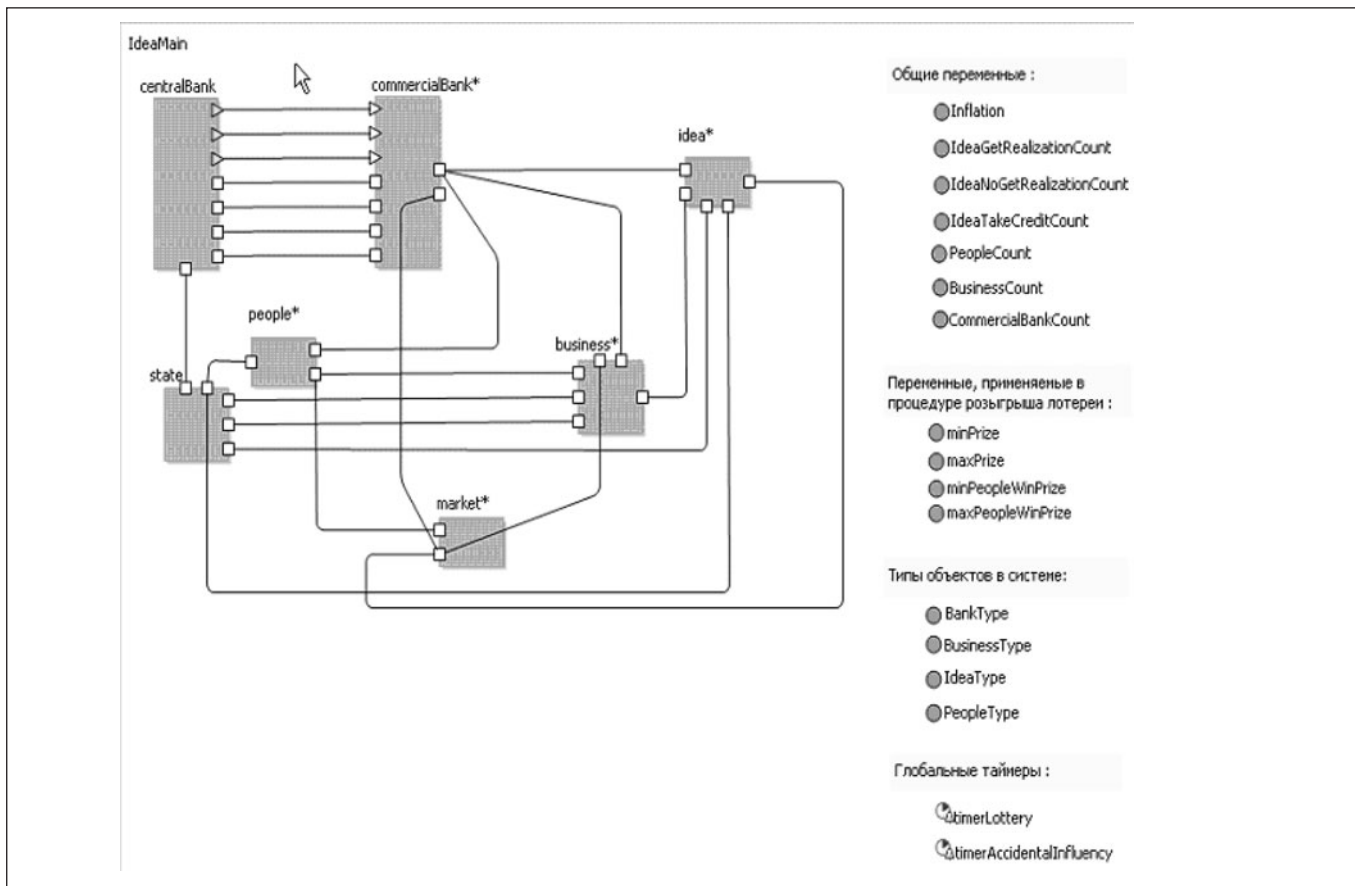


Рис. 2. Агентная модель развития инновационной идеи в среде AnyLogic

Агент «CentralBank» осуществляет кредитно-денежную политику.

Агент «CommercialBank» осуществляет кредитование предприятий и населения.

Рассмотрим подробнее описание и поведение агента на примере объекта «Idea». Агент «Idea» может находиться в нескольких состояниях. Первое состояние: идея оценивается с точки зрения возможностей автора (суммарная оценка). Затем агент переходит в следующее состояние, в котором идея оценивается с точки зрения рынка. Для этого посылается запрос агенту «Market», который возвращает суммарную оценку характеристик идеи с точки зрения рынка (удовлетворенность спроса, рост рынка, доступность рынка, степень конкуренции, наличие рыночной ниши, уровень цен, постоянство спроса, потенциал рынка). В следующем состоянии принимается решение о способе реализации идеи (самореализация, продажа идеи или отказ от реализации). Все остальные объекты реализованы по той же схеме: набор переменных, набор портов для обмена сообщениями, диаграмма состояний (стейтчарт).

Практическая реализация агентной модели развития инновационной идеи детально описана в работе [10].

Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом

Разработанная гибридная архитектура агентов субъектов инноваций представляет собой расширение существующей гибридной InteRRap-архитектуры агента за счет добавления в ее состав подсистемы рефлексивного имитационного моделирования, представляющей собой имитационный аппарат (комплекс системно-динамических моделей), с помощью которого агент становится способным имитировать сценарии развития отдельно взятых инновационных проектов, поведение компаньонов и конкурентов на рынке инновационных услуг с целью прогнозирования рисков и экономического эффекта от капиталовложений в инновации. В качестве средства реализации имитационного аппарата предлагается использовать системно-динамические модели. Данная подсистема моделирует поведение объектов внешней среды и самого агента, что используется для объяснения текущего поведения и предсказания возможного поведения в будущем. Имитационный аппарат представляет собой полную или упрощенную модель среды, в которой функционирует агент, рекуррентно вызываемую в процессе моделирования.

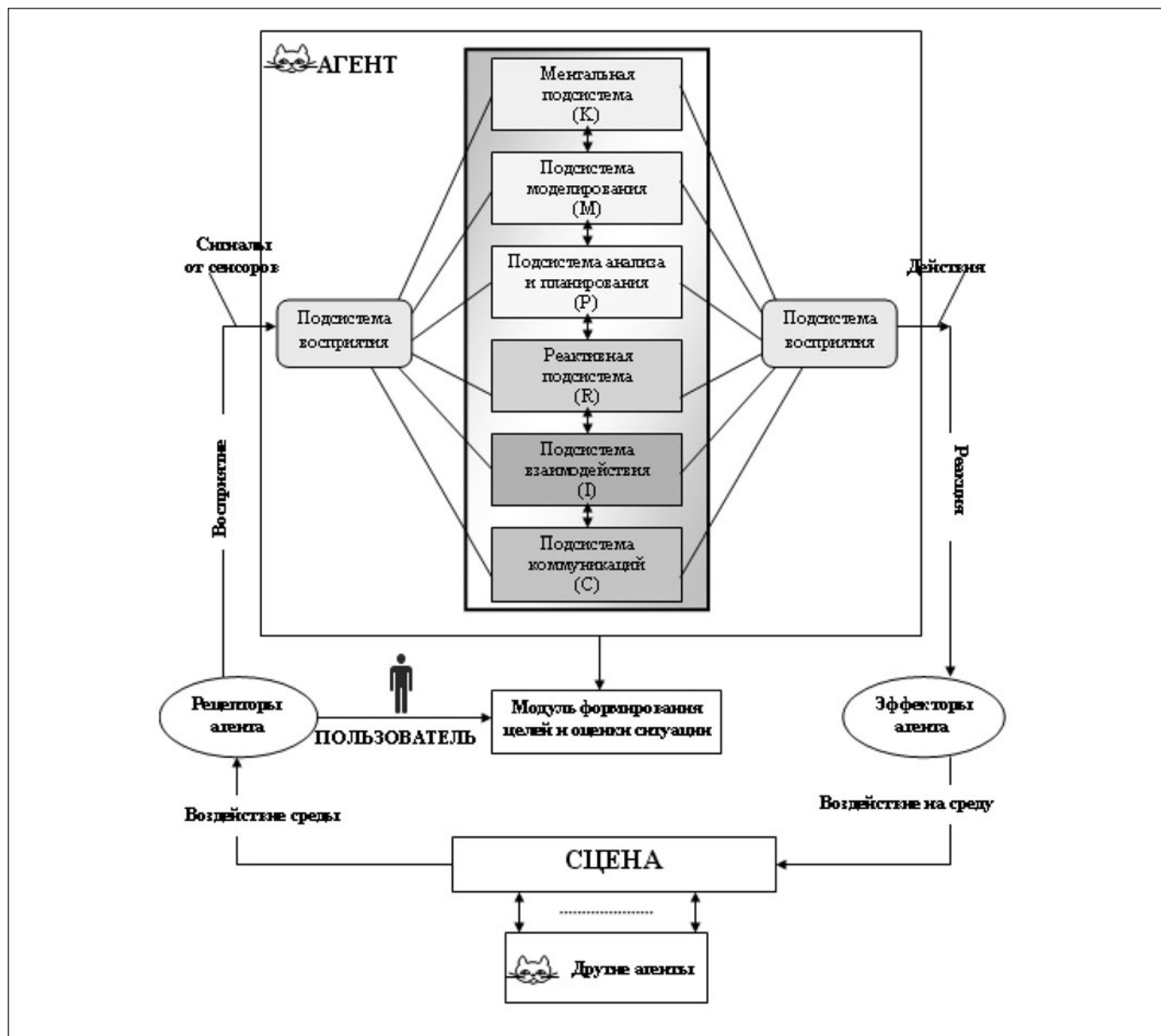


Рис. 3. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом

Внутренняя структура агента, описывающая его функциональное устройство, описывается в виде: $C^A = (K, M, P, R, I, C)$, где K – ментальная подсистема; M – подсистема моделирования; P – подсистема анализа и планирования; R – реактивная подсистема; I – подсистема координации и взаимодействия; C – подсистема коммуникаций. Общий вид гибридной архитектуры интеллектуального агента с имитационным аппаратом представлен на рис. 3.

Ментальная подсистема (K) реализована с помощью языка KIF (Knowledge Interchange Format). База знаний (БЗ) агента основана на продукционной модели представления знаний. Ядро агента, а именно: подсистемы управления памятью, база знаний и т.д., разработаны на языке Java, поскольку необходимо обеспечить способность агента к мигрированию

по сети. Интеллектуальные агенты, обладая развитым внутренним представлением сцены и возможностями рассуждений, способны запоминать и анализировать различные ситуации, предвидеть возможные реакции на свои действия, делать из этого выводы, полезные для дальнейших действий, и, в результате, прогнозировать свое будущее и изменения сцены. Для этого агенты должны быть снабжены имитационным аппаратом.

Подсистема имитационного моделирования (M), обеспечивающая для агента локальный прогноз результата его потенциальной активности, представляет собой полную или упрощенную модель среды, в которой функционирует агент, рекуррентно вызываемую в процессе моделирования. Предложено три подхода к реализации имитационного аппарата аген-

тов на основе системно-динамических моделей в мультиагентной среде. Первый подход предполагает, что для прогнозирования развития сцены осуществляется копирование модели сцены в имитационный аппарат агента.

Второй подход, основанный на порождении «параллельных» виртуальных миров агентами, предполагает создание упрощенных моделей других агентов. При этом другие агенты являются исполнителями заданий агента – владельца виртуального мира. При выборе варианта собственных действий на некотором шаге агент с имитационным аппаратом учитывает не только текущее и предшествующие состояния среды, но и предполагаемые будущие значения ее параметров, а также влияние на эти значения деятельности других агентов. Это обеспечивается путем «прогонки» анализируемого варианта действий агента на вспомогательной имитационной модели. В данном случае агент берет на себя функции моделирования всей окружающей среды. Такое решение существенно повышает автономность агента.

Третий подход предполагает, что в ходе моделирования используются два вида агентных моделей, идентичных по структуре, но различающихся внутренней организацией агентов.

Первый вид, назовем его *базовой агентной моделью*, характеризуется тем, что при принятии решения о действиях, реализуемых на очередном шаге моделирования, агент оперирует лишь текущими и предшествующими параметрами состояния среды функционирования, и никак не учитывает влияние на значение критерия выбора последующей активности агентов-конкурентов или агентов-союзников.

Второй вид моделей – *модели с внутренней имитацией*, при той же структуре среды функционирования использует агентов с архитектурой, представленной выше на рисунке. При определении значения критерия выбора альтернативного действия на некотором шаге, агент запускает базовую агентную модель, предварительно проинициализировав ее текущими параметрами состояния среды, и моделирует, с заданным горизонтом, последствия собственных потенциальных действий. Возможна также и организация большей глубины рекурсивного использования моделей. В этом случае агент основной модели использует для определения критерия выбора вспомогательную модель с внутренней имитацией, агенты которой, в свою очередь, также могут использовать вспомогательные модели с внутренней имитацией, и так далее – до нижнего уровня, на котором для прогнозирования результатов собственной активности агентами используются базовые модели.

Подсистема анализа и планирования действий (P), а также *реактивная подсистема* (R) реализованы с помощью стандартных языков описания поведения агентов – алгебры действий и алгебры поведений. *Подсистема коммуникаций* (C) и *подсистема межагентного взаимодействия* (I) реализованы посредством языка ACL (Agent Communication Language).

Схема работы модели без учета имитационных возможностей агента принципиально не отличается от функционирования классических агентных моделей: на каждом шаге моделирования каждый агент выбирает один из множества альтернативных вариантов собственных действий, исходя из сформулированного для него критерия эффективности. После реализации агентами выбранных альтернатив происходит переход к следующему модельному шагу. Отличие предлагаемого способа построения агентной модели от классической схемы заключается в механизме определения значения критерия оценки альтернативы. В классическом случае значение критерия определяется параметрами анализируемой альтернативы и текущими и/или предшествующими значениями параметров среды функционирования агента. При использовании же агентов с имитационным аппаратом, при выборе варианта собственных действий на некотором шаге, агент косвенно учитывает не только текущее и предшествующие состояния среды, но и предполагаемые будущие значения ее параметров, а также влияние на эти значения деятельности других агентов. Это обеспечивается путем «прогонки» анализируемого варианта действий агента на структурно идентичной вспомогательной имитационной модели. В работе [11] рассматривается несколько вариантов организации подобного рекуррентного использования имитационных моделей.

В работе [12] приведен пример реализации агента с имитационным аппаратом на основе вышеописанного подхода. В примере представлена имитационная модель развития новой образовательной услуги в регионе.

Заключение

Разработаны научно-методические основы интеграции мультиагентных технологий и метода системной динамики, которые развивают и детализируют современные концепции комплексного моделирования сложных систем. Реализация предлагаемых подходов интеграции мультиагентных технологий, системно-динамических моделей в рамках информационно-аналитической среды поддержки регионального инновационного развития обеспечивает возможность создания полимодельных комплексов простран-

венно-распределенных сложных систем. Полученные комплексы являются основой для формирования и исследования сценариев развития региона с имитацией сложных динамических процессов и взаимодействий между субъектами инновационной деятельности, представляемых про-активными агентами.

Реальная рыночная эффективность того или иного сценария управления инновацией сильно зависит от множества, часто взаимосвязанных, параметров, в частности, от соотношения абсолютных показателей цены продукта, объема имеющихся у фирмы-инноватора свободных финансовых средств, стоимости и экономической эффективности рекламы и мероприятий по контролю качества. В разработанных имитационных моделях учтена лишь часть подобных параметров. Для учета дополнительных факторов, влияющих на рыночные процессы, связанные с инновационной деятельностью, в модели должны быть включены соответствующие функциональные модули.

Представленную в данной работе системно-динамическую модель следует рассматривать как прототип, на базе которого возможно построение различных специфических имитационных моделей инновационной деятельности, отражающих в большей или меньшей степени точно те или иные ее аспекты. Подобные модели могут служить эффективным средством поддержки принятия решений в сфере управления инновациями. Другой областью их применения являются управленческие игры и симуляция рыночных процессов в обучающих целях. Практическая значимость полученных результатов заключается в том, что они могут быть использованы при моделировании инновационных процессов в региональных системах различной степени сложности и масштаба, а также в составе систем поддержки принятия решений для исследования динамики поведения субъектов инновационной деятельности в различных ситуациях.

Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 08-07-00301-а «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности». Представленные в статье научные результаты использованы при разработке «Стратегии социально-экономического развития Мурманской области до 2025 года».

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 400 с.

2. Путилов В.А., Шишаев М.Г., Маслобоев А.В. Специфика и структура задачи информационной поддержки инноваций // Качество. Инновации. Образование. 2008. №5. С. 66-72.
3. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1971. 340 с.
4. Путилов В.А., Горохов А.В. Системная динамика регионального развития. – Мурманск: НИЦ «Пазори», 2002. 306 с.
5. Powersim 2.5 Reference Manual. – Herdon, USA: Powersim Press, 1996. 427 p.
6. Шишаев М.Г., Малыгина С.Н., Сютин А.В. Системно-динамическая модель рыночного распространения инновационного продукта // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2008. Вып. VIII. С. 30-38.
7. «Википедия» - Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Epidemic_model
8. Малыгина С.Н. Реализация средствами системы динамического моделирования Powersim модели развития типового города Севера России // Теоретические и прикладные модели информатизации региона: Сб. науч. тр. – Апатиты: КИЦ РАН, 2000. С. 53-60.
9. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: УРСС, 2002. 352 с.
10. Малыгина С.Н., Горцуев Н.А. Агентная модель развития инновационной идеи // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2007. Вып. VII. С. 42-46.
11. Горохов А.В., Олейник А.Г. Использование методов системной динамики в мультиагентных моделях // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2006. Вып. VI. С. 20-24.
12. Шишаев М.Г., Шемякин А.С., Маслобоев А.В. Рекуррентная агентная модель продвижения новой образовательной услуги // Труды II-ой Межд. конф. «Системный анализ и информационные технологии САИТ-2007», 10-14 сент. 2007 г., Обнинск. В 2 т. Т.1. – М.: ЛКИ, 2007. С. 285-287.

Маслобоев Андрей Владимирович,

канд. техн. наук, доцент,

научный сотрудник Института информатики

и математического моделирования

технологических процессов Кольского НЦ РАН

e-mail: masloboev@iimm.kolasc.net.ru