

Мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности в регионе*

А. В. Маслобоев

Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, Апатиты

В статье сформулирована задача информационной обеспечения регионального инновационного развития и в качестве решения предложена мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности в регионе. Разработана концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций. Предложен метод совмещенного формирования и оценки эффективности региональных инновационных структур. Приведено описание гибридной InteRRap-архитектуры программных агентов с имитационным аппаратом и механизмов их взаимодействия в виртуальной бизнес-среде. Рассмотрена архитектура и логика функционирования мультиагентной системы интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций (МАС ИРИРИ).

1. Введение

В настоящее время в условиях жесткой рыночной конкуренции особенно остро стоит проблема эффективного информационного обеспечения исследовательских, производственных и экономических процессов, связанных с созданием конкурентоспособной продукции. Применение

* Работа поддержана грантами РФФИ № 05-07-90050 «Информационные технологии региональных макросистем» и № 05-07-97508 «Создание инструментальной среды для интегрированного распределенного доступа к разнородным семантически связанным источникам данных».

традиционных методов и технологий в данной области не всегда приводит к ожидаемым результатам. Богатый зарубежный и пока еще сравнительно небольшой российский опыт показывают, что успешное ведение инновационного бизнеса возможно только на основе использования современных информационных технологий. На сегодняшний день решение такой сложной и динамичной задачи как информационная поддержка инноваций немислимо без современных методов математического моделирования, компьютерных технологий и специализированных программных средств.

Для повышения эффективности информационного обеспечения регионального инновационного развития в ИИММ КНЦ РАН разработана мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности, обеспечивающая формирование и оценку потенциально эффективных инновационных структур. В рамках технологии осуществляется интеграция и автоматизированная децентрализованная обработка распределенных информационных ресурсов инноваций на базе взаимодействия программных агентов, имеющих гибридную архитектуру. Технология реализована в рамках прототипа открытой мультиагентной системы интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций [1], представляющей собой комплекс программных агентов, функционирующих в сети Интернет.

Основу созданной системы составляют разработанные:

1. Концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций [2]. Модель представляет собой формализованное описание качественного состава объектов и субъектов инноваций и отношений между ними. Модель обеспечивает возможность автоматизации и имитационного моделирования инновационных бизнес-процессов на базе агентного подхода с целью генерации и анализа сценариев развития региональной инновационной инфраструктуры.
2. Гибридная архитектура программных агентов субъектов инноваций с имитационным аппаратом [3]. Предложенная гибридная архитектура агентов представляет собой расширение существующей гибридной InteRRap-архитектуры агента за счет добавления в ее состав подсистемы имитационного моделирования.
3. Алгоритмы взаимодействия программных агентов в виртуальной среде [4], позволяющие сократить время отклика на изменения среды, имитирующей инновационное поле, в котором функционируют агенты, и общую нагрузку на сеть, а также способствующие повышению эффективности распределенной обработки информации агентами.

В статье рассматривается круг задач, связанных с информационной поддержкой регионального инновационного развития. Приводится

описание мультиагентной технологии информационной поддержки региональных инноваций, разработанной в ИИММ КНЦ РАН и предназначенной для повышения эффективности инновационной деятельности ученых и специалистов различных отраслей экономики и промышленности в регионе.

2. Специфика региональных систем информационной поддержки инноваций

Информационная поддержка инноваций является сложной и очень динамичной задачей, специфика которой во многом определяется специфическими особенностями региональных инновационных процессов, описанных в [5], к которым относятся:

- большой объем и динамичность разнородной информации, ассоциированной с инновационными процессами;
- большое количество и территориальная распределенность компонентов инновационных структур;
- динамичность среды развития инноваций — появляются и исчезают новые участники региональных инновационных процессов;
- организационная неоднородность элементов инновационной среды, ограничивающая применимость методов и технологий КИС;
- разнородность компонентов инновационного процесса, используемых средств и технологий их информационной поддержки;
- большая длительность жизненного цикла инновации (на начальных этапах).

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 получать 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.).

Задача информационной поддержки инноваций также может быть структурирована в соответствии с тремя основными компонентами среды протекания инновационных процессов, к которым относятся [6]:

- 1) *ресурсы инноваций* — организационные, административные, финансовые, информационные;
- 2) *инфраструктура инноваций*, обеспечивающая условия для успешной реализации инновационной деятельности;
- 3) *инновационный менеджмент*, реализующий инновационные проекты.

В соответствии с этим задача информационного обеспечения инноваций включает несколько аспектов [7]:

- создание собственно информационных ресурсов инноваций — баз данных и прочих ресурсов, имеющих отношение к инновационной деятельности;
- создание средств информационной поддержки инновационного менеджмента, прежде всего — средств поддержки принятия решений на базе моделирования инновационных процессов;
- создание информационной инфраструктуры инновационной деятельности, обеспечивающей формирование проблемно-ориентированных групп информационных ресурсов, предназначенных для поддержки отдельно взятой инновационной структуры в рамках реализации инновационного проекта.

Под информационной поддержкой инноваций в данной работе подразумевается последний из перечисленных аспектов, т. е. создание средств проблемно-ориентированной интеграции информационных ресурсов инноваций. В этой связи возникают два вопроса: «что интегрировать» и «как интегрировать». Собрать в единое информационное хранилище всевозможные существующие информационные ресурсы, связанные с инновационной деятельностью, не эффективно из-за их большого объема и внутренней динамичности. Поэтому необходимы два вида средств:

1. Для «вычленения» из общей информационной массы лишь тех ресурсов, которые действительно необходимы для обеспечения работы данной инновационной структуры.
2. Для интеграции этих ресурсов в логически единую взаимосвязанную группу.

Эти средства призвана обеспечить специализированная система информационной поддержки инноваций. Сегодня существует достаточно большое количество подобных систем. Большинство из них реализовано в виде специализированных Интернет-порталов, содержащих ссылки на информационные ресурсы инноваций, некоторые из них также обеспечивают автоматизированный поиск потенциальных инновационных структур, например [8, 9]. Порталы представляют собой образец информационных систем с централизованной архитектурой. Ее недостаток, в контексте информационного обеспечения инноваций, обусловлены, с одной стороны, технологическими принципами реализации централизованных архитектур, а с другой — особенностями инновационных процессов. К числу данных особенностей следует, прежде всего, отнести:

- так называемое основное экономическое противоречие инновационной деятельности: финансовую и организационную обособленность участников инновационного процесса;
- динамичность состава и параметров субъектов инноваций;
- разнородность связанных с инновационными процессами информационных ресурсов.

Таким образом, в условиях централизованной архитектуры возможности фактической интеграции информационных ресурсов ограничены из-за их большого количества и, соответственно, большого объема образующих информационных ресурсов данных. К недостаткам централизованной архитектуры следует отнести инертность информационной системы в реакции на изменения состава и контента информационных ресурсов. Изменения, появившиеся в ресурсе, отражаются в его образе на портале, как минимум, с задержкой — а могут и вообще не отразиться никогда;

в централизованном хранилище возможно появление данных, утративших актуальность, и т. д.

Структуризацию задачи информационной поддержки инновационной деятельности можно произвести также и в соответствии с этапами жизненного цикла инноваций. В силу очевидных весьма существенных различий во внутренней структуре и локальной целенаправленности процессов, протекающих на разных стадиях развития инновации, существенно отличаются и требования к информационной поддержке на различных этапах ее жизненного цикла.

Таким образом, на различных этапах развития инновации возникают существенно различные задачи информационной поддержки связанных с инновационной деятельностью процессов:

- сбор, хранение и доступ к информации, относящейся к инновационной деятельности: инновационные и инвестиционные предложения, нормативно-правовая база инноваций, и т. д.;
- интеграция технологически и семантически разнородных ресурсов;
- автоматизированный поиск потенциальных инновационных структур и бизнес-партнеров для реализации инновационных проектов;
- стратегическое и оперативное планирование бизнес-решений (поддержка принятия стратегических и оперативных решений);
- информационная поддержка жизненного цикла наукоемких изделий.

Рассмотрев проблематику задачи информационного обеспечения инновационной деятельности, можно сформулировать следующие специфические требования к спектру возможностей системы информационной поддержки инноваций, представленных в [1, 5]:

- обеспечение автоматизированного поиска потенциальных бизнес-партнеров;
- формирование проблемно-ориентированных эффективных инновационных структур;
- автоматизированное построение бизнес-планов бизнес-проектов, реализуемых инновационными структурами;
- прогнозирование рисков от краткосрочных и долгосрочных капиталовложений в инновации;
- возможность гибкой перенастраиваемой интеграции распределенных информационных ресурсов;
- обеспечение унифицированного интерфейса к разнородным источникам данных;
- обеспечение совместного использования информационных баз инновационных порталов.

3. Концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды

Разработанная концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций (КМ ВБС) [2] имеет иерархическую структуру и включает в себя следующие множества элементов: объекты (субъекты инновационной деятельности) — S , агенты субъектов — A , из которых формируются проблемно-ориентированные инновационные структуры — BS (множества взаимосвязанных объектов, задействованных в реализации конкретного бизнес-плана), бизнес-процессы — P , $R = \{BI, BPL\}$ — ресурсы инноваций, к которым относятся бизнес-идеи (инновационные предложения) — BI и бизнес-планы (инвестиционные предложения) — BPL . Инновационные предложения, фигурирующие в системе, разделены на два класса — генерализованные бизнес-идеи и детализированные бизнес-идеи. Такое деление обеспечивает возможность формирования в ВБС виртуальных бизнес-площадок, объединяющих субъектов инноваций с близкими интересами и целями, вероятность взаимодействия между которыми высока. Это, в свою очередь, ведет к повышению эффективности взаимодействия между агентами и снижению нагрузки на сеть. Объекты КМ ВБС, представляющие субъектов инноваций, образуют иерархию, что позволяет учитывать при оценке надежности потенциальных бизнес-партнеров и формировании инновационных структур организационную подчиненность субъектов инновационной деятельности.

Такая детализированная КМ позволяет учесть специфические особенности субъектов инноваций на всех этапах жизненного цикла инновационного продукта и создавать более гибкие имитационные модели деловых процессов, в которых они участвуют. Для автоматизации поиска потенциальных бизнес-партнеров и формирования эффективных бизнес-структур в КМ введены интеллектуальные агенты, представляющие интересы естественных участников бизнес-процессов. Для обеспечения анализа и прогнозирования капиталовложений в инновации концептуальная модель содержит описания характеристик инновационных предложений (бизнес-идей / проектов) и бизнес-планов субъектов инноваций.

Схема концептуальной модели агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды имеет вид:

$$E_{\text{ВБС}} = \{S, P, I, A, R, Atr\},$$

где $S = \{s_\alpha^i\}$, $i = \overline{1, N_\alpha}$, $\alpha = \overline{1, N_L}$ — множество объектов модели (субъектов бизнес-процессов), i — порядковый номер объекта на его уровне декомпозиции, α — номер уровня дерева объектов, к которому относится данный объект (L — общее количество уровней декомпозиции).

Здесь и далее N_* — мощность соответствующих множеств.

На множествах объектов модели заданы **отношения**, определяющие структуру ВБС:

$$I = \{SA, SP, SBS, SBI, SBPL, In, Out, H\},$$

где

$$BI \subseteq BI \times A := \{(bi_i, a_j) | bi_i \in BI, a_j \in A\}$$

— отношение соответствия агента реализуемой бизнес-идее;

$$SP \subseteq S \times P := \{(s_i, p_k) | s_i \in S, p_k \in P\}$$

— отношение участия субъекта инноваций в бизнес-процессе;

$$SBS \subseteq S \times BS := \{(s_i, bs_h) | s_i \in S, bs_h \in BS\}$$

— отношение принадлежности субъекта к инновационной структуре;

$$SBI \subseteq S \times BI := \{(s_i, bi_g) | s_i \in S, bi_g \in BI\}$$

— отношение принадлежности бизнес-идеи субъекту инноваций;

$$SBPL^{ind} \subseteq S \times BPL^{ind} := \{(s_i, bpl_d^{ind}) | s_i \in S, bpl_d^{ind} \in BPL^{ind}\}$$

— отношение принадлежности бизнес-плана субъекту инноваций;

$$BSBPL^{gen} \subseteq BS \times BPL^{gen} := \{(bs_i, bpl_d^{gen}) | bs_i \in BS, bpl_d^{gen} \in BPL^{gen}\}$$

— отношение принадлежности генерального бизнес-плана инновационной структуре;

$$BSP \subseteq BS \times P := \{(bs_i, p_k) | bs_i \in BS, p_k \in P\}$$

— отношение участия инновационной структуры в бизнес-процессе;

$In \subseteq P \times B(R)$ — отношение «входные данные процесса — процесс» и $Out \subseteq P \times B(R)$ — отношение «процесс — выходные данные процесса». Знак « \times » означает декартово произведение.

Декомпозиция объектов в КМ отображает организационные связи между компонентами объекта исследования. Тем не менее, принятие организационной структуры в качестве основы декомпозиции объектов КМ накладывает определенные ограничения на допустимые связи между объектами, которые реализуются посредством назначения процессов, связанных с некоторым объектом КМ, и объектов или процессов, порождающих входные ресурсы некоторого процесса.

Иерархия объектов отражает их организационные взаимоотношения.

$$H = \bigcup_{\alpha=1}^{N_i-1} H^\alpha, \quad H^\alpha \subseteq S_{\alpha-1} \times B'(S_\alpha)$$

— отношение иерархии объектов (здесь S_α — множество объектов на уровне α , $B'(S_\alpha)$ — разбиение множества S_α).

Агенты $A = \{S, BI, ORG^A, C^A\}$ представляют в ВБС интересы участников бизнес-процессов и характеризуются множеством инновационных предложений — BI , которые они представляют в ВБС, множеством базовых организационных структур — ORG^A , соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов, и внутренней структурой — C^A , описывающей функциональное устройство агента.

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. Подробное описание внутренней структуры агента представлено в [3].

В терминах КМ **бизнес-структуры** $BS = \{A, BI^{GEN}, BPL^{COM}\}$ представляют собой связанные фрагменты, включающие объекты модели, удовлетворяющие определенным условиям. Эти группы (коалиции) агентов объединяются одной общей целью или целями для реализации соответствующих бизнес-идей. Для бизнес-структуры задаются множество входящих в нее агентов — A , множество генеральных идей BI^{GEN} , объединяющих объекты в бизнес-структуры, и множество бизнес-планов — BPL^{COM} , на основании которых реализуются бизнес-идеи. Бизнес-структуры формируются на основе анализа отношений между компонентами КМ, выполняющей функцию онтологии инновационной деятельности.

Бизнес-идеи $BI = \{KD, AD\}$ описываются множествами ключевых KD и второстепенных AD параметров и используются при автоматическом формировании коалиций агентов. Это делается для того, чтобы сократить информационный обмен между агентами, интересы которых существенно разнятся и, напротив, упростить и активизировать интеракции между агентами внутри группы. В число параметров входят как жестко типизированные, описываемые в терминах общесистемного тезауруса, так и параметры, описываемые на естественном языке. Формирование коалиций производится на основании семантического сопоставления соответствующих параметров бизнес-идей.

Бизнес план (БП) — $BPL = \{GP, IP, RP\}$ представляет собой набор количественных параметров (GP — множество параметров, описывающих информационную составляющую БП, IP — множество параметров, описывающих инвестиционную составляющую БП и RP — множество параметров, описывающих ресурсную составляющую БП), детализирующих инновационное предложение: временные рамки реализации, планируе-

мый объем производства, объем требуемых инвестиций, прогнозируемый срок окупаемости и др.

Модель атрибутов объектов в КМ образуется кортежем:

$$Atr = \langle T, NM, T_h \rangle,$$

где

$$T = \{T_S, T_A, T_P, T_{BI}, T_{BPL}, T_R, T_{BS}\},$$

$$NM = \{NM_S, NM_A, NM_P, NM_{BI}, NM_{BPL}, NM_R, NM_{BS}\}$$

— множества типов и имен объектов, агентов, процессов, ресурсов, бизнес-идей, бизнес-планов и бизнес-структур КМ соответственно. Атрибут T_h — множество типов отношений иерархии объектов, позволяет расширить возможности декомпозиции объектов КМ.

Разработанная формализованная КМ агентно-ориентированной виртуальной бизнес среды развития инноваций, представляющей собой формализованное описание объектов системы, их связей и атрибутов в виде теоретико-множественных отношений, является основой для представления структуры и алгоритмов работы системы информационной поддержки инновационной деятельности, ее функциональных возможностей и составляющих программных модулей.

Формализация представления инновационной деятельности в концептуальной модели обеспечивает возможность автоматизированного анализа структуры и свойств предметной области, а также формирования в терминах КМ: алгоритмов поиска и оценки надежности потенциальных бизнес-партнеров; алгоритмов формирования бизнес-структур; унифицированного описания алгоритмов функционирования агентов; спецификаций исполнительных среды для реализации моделирования имитации инновационной деятельности.

4. Метод формирования и оценки эффективности инновационных структур

На основе созданной формализованной модели предметной области и предложенных в [10] математических моделей критериев оценки эффективности инновационных структур, а также разработанной системы онтологий разработан метод совмещенного формирования и оценки эффективности инновационно-ориентированных бизнес-структур. Метод обеспечивает возможность выбора наиболее эффективных инновационных структур под заданную бизнес-идею и построение прогнозов инвестиционных вложений в инновационные проекты на основе их имитации.

Метод состоит из следующих четырех основных этапов:

1. Разбиение инновационного поля на виртуальные площадки в соответствии с предметными областями и описаниями бизнес-идей субъектов инноваций.
2. Анализ параметров, описывающих бизнес-предложения субъектов инновационной деятельности, подбор подходящих партнеров, оценка их надежности и формирование всех возможных альтернативных вариантов инновационных структур.
3. Оценка экономической эффективности сформированных бизнес-структур и выделение множества эффективных инновационных структур.
4. Имитационное моделирование выделенного множества эффективных инновационных структур и выбор наиболее подходящей для реализации бизнес-идеи конкретного субъекта инноваций.

Первый этап предполагает разбиение виртуального бизнес-пространства (ВБС) на подпространства, представляющие собой виртуальные бизнес-площадки, объединяющие субъектов инноваций с близкими интересами и целями, вероятность взаимодействия между которыми высока. Формирование бизнес-площадок может осуществляться как на основе анализа взаимосвязей между компонентами КМ ВБС и системы онтологий, описывающей инновационную инфраструктуру, так и посредством отображения целей агентов на древовидные концептуальные модели предметной области, последующей локализации основной части поисковых и иных запросов агентов внутри группы, и дальнейшего анализа активности их коммуникаций друг с другом. Сходство интересов приводит к тому, что наиболее активные и информационно-насыщенные коммуникации агентов сосредоточены внутри бизнес-площадки, тогда как за ее пределами информационный обмен менее активен, при этом объектом обмена являются генерализованные (меньшие по объему) бизнес-предложения агентов. Целью данного этапа является сокращение общего числа рассматриваемых вариантов субъектов, функционирующих в инновационном поле, в процессе поиска подходящих бизнес-партнеров и формировании множества эффективных бизнес-структур, что позволяет избежать полного перебора всех субъектов в ВБС.

В ходе *второго этапа* осуществляется семантическое сопоставление качественных и количественных параметров, описывающих бизнес-предложения субъектов инноваций, взаимодействующих на виртуальных бизнес-площадках в ВБС. На основе семантического анализа параметров бизнес-предложений участников инновационной деятельности и анализа отношений между основными компонентами КМ агент производит

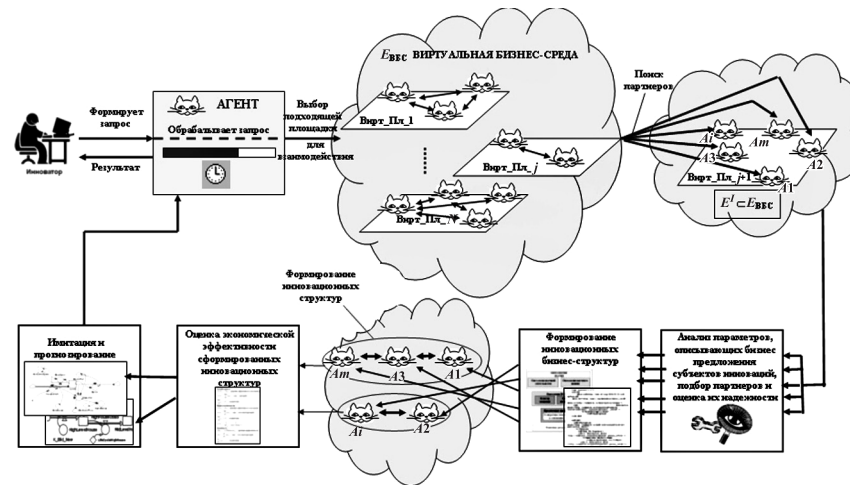


Рис. 1. Схема метода формирования и оценки эффективности инновационных структур

подбор подходящих бизнес-партнеров для реализации определенной бизнес-идеи и формирует из них бизнес-структуры. В процессе подбора потенциальных партнеров производится оценка их надежности. В рамках данного этапа выполняются процедуры автоматизированного построения генерализованных бизнес-планов, формируемых агентом инновационных структур. Целью данного этапа является подбор подходящих бизнес-партнеров для текущего субъекта, осуществляющего поиск партнеров в ВБС, и формирование всех возможных альтернативных вариантов инновационных бизнес-структур, способных реализовать некоторую бизнес-идею этого субъекта.

Третий этап предполагает расчет и анализ показателей эффективности инновационных проектов, реализуемых оцениваемыми бизнес-структурами, на основе вычислительных моделей представленных в разделе 5 статьи. На данном этапе осуществляется предварительная оценка эффективности сформированных агентом инновационных структур. Целью этапа является выделение множества эффективных инновационных бизнес-структур и сужение множества их альтернативных вариантов на основе полученных оценок.

Четвертый этап предусматривает построение сценариев развития (имитационных моделей) инновационных проектов, реализуемых выделенным множеством бизнес-структур после их предварительной оценки

на предыдущем этапе. Также строятся и анализируются сценарии поведения конкурентов и компаньонов. Осуществляется прогнозирование рисков и эффекта от капиталовложений в выделенное множество инновационных проектов. На основе имитации осуществляется идентификация наиболее эффективного инновационного проекта и выбор соответствующей ему эффективной инновационной бизнес-структуры. Целью данного этапа является выбор инновационной структуры, реализующей наиболее эффективный инновационный проект. Оценка риска отдельного инновационного проекта осуществляется на основе имитационного моделирования методом Монте-Карло, описанного в [11].

Схема метода совмещенного формирования и оценки эффективности инновационных структур приведена на рис. 1.

5. Гибридная InteRRAp-архитектура агента с имитационным аппаратом

Для реализации последнего этапа, описанного в разделе 4 статьи метода, агенты субъектов инноваций должны быть снабжены внутренней подсистемой моделирования (имитационным аппаратом), с помощью которого агенты становятся способными строить внутри себя модели внешнего мира, модели собственного поведения и поведения других агентов, и на основе результатов моделирования прогнозировать экономический эффект от инвестиционных вложений в инновационные проекты.

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.

За основу была выбрана гибридная InteRRAp-архитектура интеллектуального агента, обладающая всеми необходимыми функциональными возможностями для решения поставленной в работе задачи, за исключением наличия внутренней моделирующей подсистемы. Поэтому данная архитектура была расширена за счет добавления в состав агента подсистемы имитационного моделирования, представляющей собой комплекс системно-динамических моделей. Общий вид гибридной архитектуры интеллектуального агента с имитационным аппаратом представлен на рис. 2. К ее основным архитектурным компонентам относятся: ментальная подсистема, подсистема моделирования, подсистема анализа и планирования, реактивная подсистема, подсистемы коммуникации и взаимодействия.

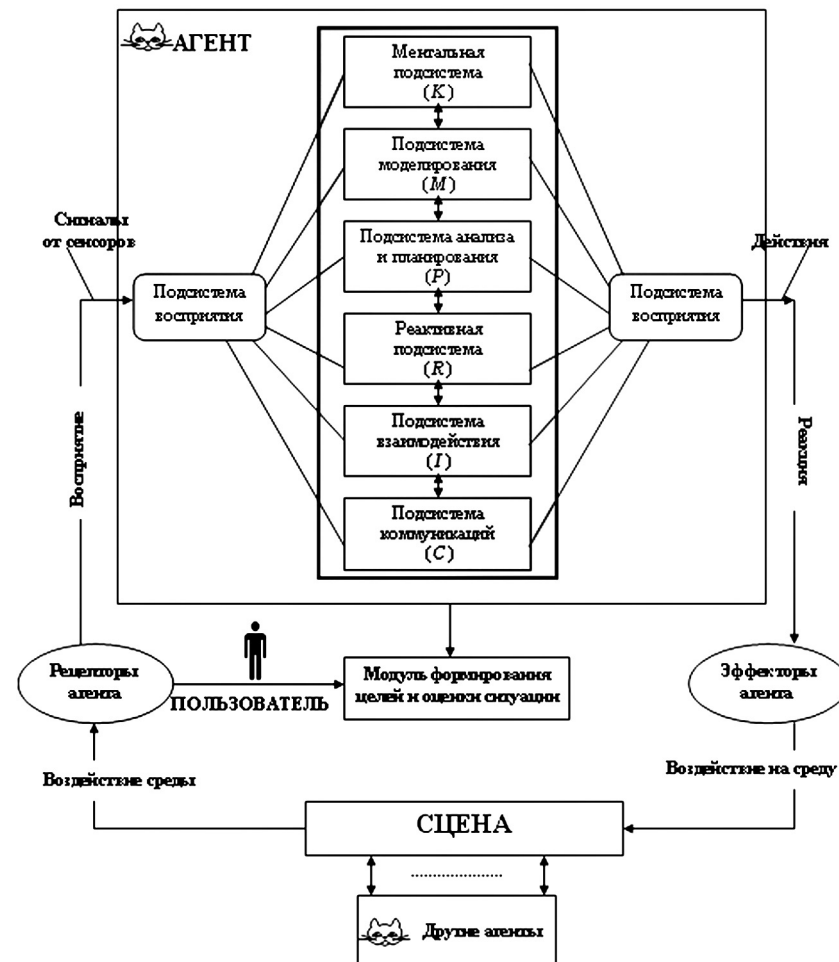


Рис. 2. Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом

Внутренняя структура агента, описывающая его функциональное устройство, формально может быть представлена в виде:

$$C^A = \langle K, M, P, R, I, C \rangle,$$

где K — ментальная подсистема; M — подсистема имитационного моделирования; P — подсистема анализа и планирования; R — реактивная

подсистема; *I* — подсистема координации и взаимодействия; *C* — подсистема коммуникаций.

Ментальная подсистема (K) реализована с помощью языка KIF (Knowledge Interchange Format). База знаний (БЗ) агента основана на продукционной модели представления знаний. Для реализации продукционной БЗ использовались три модуля:

- 1) БД, содержащая факты, данные и т. п.;
- 2) система продукций, записанная на условном языке;
- 3) интерпретатор, обрабатывающий продукции.

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. В качестве средства реализации имитационного аппарата в работе предлагается использовать системно-динамические модели. Предложено три подхода к реализации имитационного аппарата агентов 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 на рис. 3. 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,

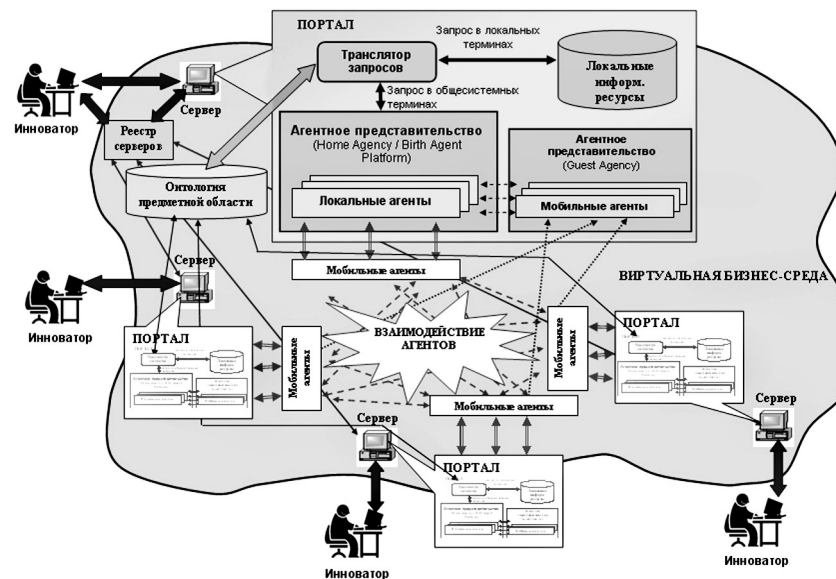


Рис. 3. Архитектура мультиагентной системы информационной поддержки инновационной деятельности в регионе

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 [12]. 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 работах [13, 14] рассмотрены несколько вариантов организации подобного рекуррентного использования имитационных моделей.

В работе [3] приведен пример реализации агента с имитационным аппаратом на основе вышеописанного подхода. В примере представлена имитационная модель развития новой образовательной услуги в регионе.

6. Архитектура и принципы функционирования МАС ИРИРИ

Разнородность и территориальная распределенность участвующих в инновационном процессе субъектов, в совокупности с динамичностью их состава и параметров, создает предпосылки для того, чтобы информационная среда развития инноваций была открытой и децентрализованной. Поэтому, в отличие от существующих систем информационной поддержки

инноваций [8, 9], разработанная система имеет открытую децентрализованную архитектуру, которая обеспечивает асинхронный характер взаимодействия и коммуникации агентов, что дает возможность их работы в условиях разнородных и ненадежных коммуникаций, что весьма актуально для систем регионального масштаба. Открытый децентрализованный тип архитектуры системы повышает ее отказоустойчивость, делает ее легко масштабируемой и интероперабельной, а также позволяет организовать наиболее эффективный поиск потенциальных партнеров и информации о их бизнес-предложениях.

Компоненты разработанной мультиагентной системы образуют логически единую виртуальную бизнес-среду. Каждый программный агент представляет в виртуальной среде некоторое бизнес-предложение, зарегистрированное на одном из порталов. Основная задача агента — поиск для своего владельца потенциальных партнеров по реализации инновационного или инвестиционного предложения (решается путем переговоров между агентами). Для уменьшения объемов данных, передаваемых по сети в ходе коммуникации агентов, в системе используются два типа агентов — мобильные агенты, способные перемещаться между узлами для реализации локального поиска в пределах того или иного портала, и статичные агенты, представляющие интересы своего владельца на стороне портала, в котором зарегистрировано соответствующее бизнес-предложение. Статичные агенты не проявляют инициативу в межузловом поиске бизнес-партнеров и обеспечивают коммуникации с другими статичными или мобильными агентами.

Мультиагентную систему информационной поддержки региональных инноваций [1], архитектура которой показана на рис. 3, образуют следующие основные функциональные модули:

- *Агентное представительство*, загружаемое на стороне серверной платформы инновационного портала. Данное представительство, в свою очередь, состоит из частей, реализующих локальное (home) и гостевое (guest) представительства. Первое выполняет функции порождения агентов и обеспечивает выполнение программного кода статичных локальных агентов, а второе — обеспечивает среду выполнения для агентов-гостей, переместившихся с других узлов системы.
- *Перемещаемый программный код*, реализующий мобильных агентов. Реализация мобильных агентов в виде перемещаемого кода позволяет обеспечить функциональную гибкость системы — произвольно изменять реализации алгоритмов расчета параметров инновационных структур и логики поведения агента, при условии сохранения интерфейса вызовов.

- *Сервер онтологий предметной области*, обеспечивающий единую терминологическую базу для общесистемных и локальных запросов на поиск объектов и инновационных предложений.
- *Транслятор запросов*, обеспечивающий формирование поисковых запросов к локальным информационным базам портала на основе поступившего запроса в общесистемных терминах. В ходе трансляции используются онтологии предметных областей, хранящиеся на выделенном сервере онтологий.
- *Программные компоненты*, реализующие внутреннюю логику функционирования агентов и протоколы межагентных коммуникаций.

Система реализует следующие основные функции:

1. Поиск потенциальных бизнес-партнеров по значениям атрибутов, зарегистрированных на инновационных порталах объектов и предложений.
2. Формирование проблемно-ориентированных инновационных структур из территориально-распределенных компонентов в ходе межагентных коммуникаций в рамках виртуальной бизнес-среды.
3. Трансляция запросов на поиск объектов, сформулированных в общесистемных терминах, в локальные термины портала, являющегося текущим объектом поиска.
4. Расчет количественных параметров сформированных вариантов инновационных структур и автоматизированный выбор из их числа потенциально наиболее эффективных.
5. Настройка параметров инновационных предложений и соответствующих им программных агентов в ходе диалога с пользователем.
6. Обеспечение совместного использования информационных баз инновационных порталов.

В качестве технологии реализации выбрана технология Java Remote Method Invocation (Java RMI) [15], которая, по сравнению с CORBA, является гибким и мощным средством создания распределенных приложений на платформе Java, включая возможность реализации мобильных приложений. Базовые шаблоны программных компонентов системы (агентов) разработаны с помощью языка сценариев Java Language, ориентированного на реализацию асинхронного процесса взаимодействия и удаленное исполнение приложений.

Логика работы системы во многом воспроизводит идеи, заложенные в концепцию Semantic Web [16]. Но, в отличие от последней, где изначально подразумевается, что процесс поиска, регистрации, обновления

и обработки информации инициируется пользователем-человеком, в разработанной системе инициаторами процессов, аналогичных тем, что имеют место в Semantic Web, будут сами агенты, непосредственно являющиеся представителями своих владельцев. Таким образом, от инновационного субъекта будет требоваться лишь завести себе узел в распределенной виртуальной бизнес-среде, подключиться к одному из инновационно-ориентированных Интернет-порталов, на котором установлена разработанная система, зарегистрировать себя и свои бизнес-предложения, настроить требуемые опции у своего агента и ожидать результатов его деятельности — всю работу по поиску партнеров в ВБС, предварительному анализу, оценке потенциальной эффективности и формированию инновационных структур выполняет агент. Агент, взаимодействуя с другими агентами в ВБС, собирает для своего владельца информацию, осуществляет поиск партнеров и формирование инновационных структур из территориально-распределенных компонентов, зарегистрированных на разных инновационно-ориентированных порталах в ВБС. При этом субъекту инноваций достаточно зарегистрироваться на одном из самых крупных инновационных порталов, входящих в МАС ИРИРИ, так как агент самостоятельно продвигает и обеспечивает поддержку бизнес-предложений текущего субъекта и на всех остальных порталах, входящих в систему. Именно на основании вышеописанной функциональной возможности разработанная система названа интегрирующей. В процессе работы системы агент взаимодействует с конечным пользователем, предоставляя на рассмотрение результаты собственной работы или запрашивая уточняющую информацию о заявленных пользователем инновационных предложениях в случае изменения структуры или атрибутов инновационного поля (сцены функционирования агентов) или недостаточности информации о предложении. При этом пользователь может выбрать, как это будет происходить: интерактивно в стиле «вопрос-ответ» или в автоматическом режиме.

Разработанный прототип системы [1] создает ряд новых возможностей для участников инновационной деятельности:

- Единое информационное пространство для всех участников инновационной деятельности.
- Возможность установления контактов с потенциальными партнерами.
- Возможности получать информацию по всем аспектам инновационной деятельности.
- Возможность получать информацию об исследованиях и разработках.
- Возможности учета информационных потребностей различных участников инновационной деятельности.

Потенциальными пользователями разрабатываемой системы могут быть не только отдельные субъекты инновационной деятельности, но и целые научные, промышленные и коммерческие организации. Система с описанным набором функциональных возможностей может успешно применяться и такими специальными видами организаций, как: специализированные инжиниринговые фирмы, центры трансфера технологий, инновационно-технологические центры, инновационные инкубаторы, технопарки и т. п.

Система позволит повысить эффективность информационной поддержки инновационных процессов в регионе за счет возможности гибкого совместного использования разнородных территориально-распределенных информационных ресурсов инноваций и автоматизации рутинных операций по поиску подходящих бизнес-партнеров по реализации инновационных проектов и оценке перспективности потенциальных инновационных структур.

7. Механизмы взаимодействия программных агентов в виртуальной бизнес-среде

Для сокращения времени отклика агентов на изменения среды, имитирующей инновационное поле, повышения интенсивности информационного обмена между агентами системы и снижения общей нагрузки на сеть в работе предложены механизмы эффективного взаимодействия агентов, учитывающие специфические свойства и задачи субъектов инновационной деятельности, подробно описанные в [4]. Предложенные механизмы реализованы в виде эвристических алгоритмов, декларирующих правила взаимодействия агентов субъектов инноваций в виртуальной среде.

Агенты коммуницируют друг с другом посредством обмена сообщениями. В разработанной системе используется два типа агентов — статичные (локально взаимодействующие друг с другом) и мобильные, мигрирующие между узлами системы. При этом в случае взаимодействия мобильных агентов возникает проблема определения местонахождения нужных для взаимодействия агентов в каждый момент времени. При этом возникают проблемы, связанные с потерей информации и длительными временными задержками при передаче сообщений между агентами системы.

Для решения этой проблемы разработаны:

- механизм информационного обмена между мобильными агентами, основанный на расширении адресной структуры агента информацией о его текущем местонахождении в сети, обновляемой при каждом

перемещении агента с одного узла на другой, и локальном кэшировании этой информации в реестрах агентных представительств узлов, куда перемещался данный агент;

- механизм эффективных коммуникаций агентов, основанный на определении местонахождения агентов «совместной деятельности» через агентов-посредников. Механизмы поиска агентов-инициаторов исполняются в адресном пространстве агентов-посредников или используются их брокерские и антрепренерские сервисы.

При межузловом взаимодействии агентов системы, возникают проблемы связанные с:

- возрастанием нагрузки на узлы системы,
- снижением интенсивности взаимодействия агентов,
- увеличением времени доставки сообщений,
- снижением скорости поиска агентов «совместной деятельности».

В качестве решения этих проблем предлагается подход, основанный на разбиении среды, в которой функционируют агенты, на виртуальные площадки, локализованные на отдельных узлах системы, и перемещении интенсивно взаимодействующих агентов на эти площадки с целью объединения агентов с близкими интересами и целями в коалиции.

Данный подход реализован в виде двух взаимодополняющих механизмов: механизм преобразования межузлового взаимодействия во взаимодействие на одном общем узле, обеспечивающий повышение эффективности распределенной обработки данных агентами системы, и механизм динамического распределения агентов, обеспечивающий распределение нагрузки между узлами системы.

8. Заключение

Анализ проблематики информационной поддержки инноваций позволяет говорить о том, что задача эффективного информационного обеспечения региональных инновационных процессов еще не полностью решена. По большому счету, информационная поддержка инноваций сегодня сводится к созданию и поддержанию в более или менее актуальном состоянии специализированных информационных ресурсов соответствующей тематики. При этом повсеместно используются централизованные технологии создания и функционирования информационных систем. Ситуация по-прежнему напоминает 90-е годы прошлого века, когда существовало большое количество разрозненных, технологически и семантически разнородных баз данных, используемых локально. Разного рода попытки создания централизованных реестров информационных ресурсов

прикладной (в том числе — инновационной) тематики не принесли большого успеха. Сегодняшнее повсеместное распространение технологий Интернет и создание информационных ресурсов инноваций с веб-доступом решает лишь половину проблемы. Таким способом обеспечивается лишь распределенный доступ к информации, при этом информационные ресурсы по-прежнему остаются централизованными, что обуславливает их не всегда достаточную актуальность, высокую избыточность, технологическую и семантическую разнородность.

В этой связи представляется актуальной задача создания полностью децентрализованных одноранговых систем информационной поддержки инноваций, позволяющих гибко интегрировать в логически единое целое существующие и вновь появляющиеся информационные ресурсы инновационной тематики. Такие системы должны обеспечивать не только распределенный доступ к информации, но и децентрализованное хранение и обработку данных, решать проблемы технологической и семантической разнородности информационных ресурсов.

Современные технологии и прикладные программные системы российских и зарубежных разработчиков, относящиеся к сфере моделирования и автоматизации инновационных процессов позволяют достаточно эффективно решать подобные задачи. В качестве одного из подобных решений можно рассмотреть разработанную в ИИММ КНЦ РАН мультиагентную технологию информационной поддержки инновационной деятельности в регионе, реализованную в виде прототипа агентно-ориентированной системы интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций [1].

Полученные результаты развивают и детализируют современные концепции создания единого коммуникационно-информационного пространства и комплексного моделирования сложных региональных социально-экономических систем;

Литература

1. Маслобоев А. В., Шишаев М. Г. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций // *Маслобоев А. В., Шишаев М. Г. Программные продукты и системы*. Тверь: Центрпрограммистем, 2007. № 4(92). С. 30–32.
2. Маслобоев А. В., Путилов В. А., Шишаев М. Г. Концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций // *Информационные технологии в региональном развитии*. Сб. науч. тр. ИИММ КНЦ РАН. Вып. VII. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 15–27.
3. Шишаев М. Г., Шемякин А. С., Маслобоев А. В. Рекуррентная агентная модель продвижения новой образовательной услуги // *Шишаев М. Г., Шемякин А. С., Маслобоев А. В. Системный анализ и информационные технологии САИТ-2007: Труды II-й Межд. конф.*, 10–14 сент. 2007, Обнинск. Труды конф. В 2 т. Т. 1. М.: Изд-во ЛКИ, 2007. С. 285–287.
4. Маслобоев А. В. Механизмы взаимодействия и координации агентов в открытой мультиагентной системе информационной поддержки региональных инновационных структур // *Маслобоев А. В. Теория и практика системной динамики: Труды II-й Всерос. науч. конф.*, апр. 2007 г. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2007. С. 155–163.
5. Маслобоев А. В., Путилов В. А. Проблематика информационной поддержки регионального инновационного развития // *Маслобоев А. В., Путилов В. А. Качество. Инновации. Образование*. 2007. № 6(28). С. 57–63.
6. Ресурсы инноваций: организационный, финансовый, административный / Под ред. проф. И. П. Николаевой. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 318 с.
7. Шишаев М. Г., Сенеда-Эррера Р. Р. Механизмы пирингового взаимодействия в задаче информационной поддержки инноваций // *Шишаев М. Г., Сенеда-Эррера Р. Р. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды VIII Межд. конф.* Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. С. 439–444.
8. International system of support of innovations (ISSI). [Электронный ресурс] <http://www.iissi.ru/>
9. Сетевая инновационная инфраструктура (СИНИН) СО РАН. [Электронный ресурс] <http://www.sinin.nsc.ru>
10. Маслобоев А. В. Информационное обеспечение развития современных экономических систем: Учеб. пособие. Апатиты: Изд. ПетрГУ, 2008. 121 с.
11. Лычкина Н. Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах. [Электронный ресурс] <http://nit.miem.edu.ru/2006/sb/section0/9.htm>
12. Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // *Exponenta Pro*. № 3–4. 2004.
13. Горохов А. В., Олейник А. Г. Использование методов системной динамики в мультиагентных моделях // *Информационные технологии в региональном развитии*. Вып. VI. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 20–24.
14. Новиков Д. А., Чхартишвили А. Г. Рефлексивные игры. М.: СИНТЕГ, 2003. 160 с.
15. Технология Java. RMI. [Электронный ресурс] <http://java.sun.com//docs/>
16. Hender J. Agents and the Semantic Web // *Hender J. IEEE Intelligent Systems*. V. 16. March/April 2001. № 2. P. 130–151.