

Технологии распределенных систем информационной поддержки инновационного развития региона

В. А. Путилов, М. Г. Шишаев, А. Г. Олейник

Институт информатики КНЦ РАН, Апатиты

1. Введение

В современных условиях устойчивость социально-экономического развития регионов во многом определяется их переходом на инновационный путь развития, активностью и эффективностью действующих в регионе инновационных структур. Инновационное развитие подразумевает смещение акцентов с традиционных источников конкурентных преимуществ регионов (геополитическое положение, ресурсная база и т.п.) в сторону преимуществ, получаемых за счет внедрения новых технологий, организационных новшеств, создания продуктов с новыми, более привлекательными качествами. Высокий уровень информационной составляющей инновационных процессов, их динамичность и потенциальная масштабность обуславливают важность задачи обеспечения эффективных средств их информационной поддержки. При этом информационная поддержка инновационного развития подразумевает не столько информационное обеспечение отдельно взятых инновационных проектов, сколько создание среды для зарождения и развития инновационных идей, формирования эффективных инновационных структур, объединяющих исследователей, разработчиков, менеджеров, инвесторов, и других субъектов инноваций, задействованных в реализации некоторого инновационного проекта.

Термин «инновация» трактуется по-разному. В данной статье мы будем понимать под ним процесс реализации инновационного проекта, то есть, фактически отождествлять его с понятием «инновационного процесса» или «инновационной деятельности». Конечный же продукт

инновационного процесса, принимающий в рыночной экономике форму товара, будем называть инновационным продуктом [1]. Группу субъектов инноваций (ученых, технологов, производителей, инвесторов, и т.д.), задействованную в реализации проекта по созданию инновационного продукта (*инновационного проекта*) будем называть *инновационной структурой*. Под *инновационным полем* будем понимать среду, представляющую собой множество ресурсов и субъектов инноваций, а также инновационных структур, в которой они функционируют. Инновационное поле в некоторых случаях может трактоваться как рынок инновационных услуг.

Региональные инновационные процессы специфичны в силу ряда причин [2]:

- большой объем разнородной информации, ассоциированной с инновационными процессами;
- большая территориальная распределенность компонентов инновационных структур;
- динамичность структуры инновационного поля — появляются и исчезают новые участники региональных инновационных процессов;
- организационная неоднородность элементов инновационного поля, существенным образом ограничивающая применимость методов и технологий, апробированных и хорошо себя зарекомендовавших в корпоративных информационных системах.

К основным специфическим особенностям региональных инновационных структур относятся [3]:

- чувствительность к внешним воздействиям в силу открытости инновационной системы;
- отложенность результатов вложений в инновации, из чего следует необходимость прогнозирования риска капиталовложений в инновации;
- высокая динамика изменений на рынке;
- влияние факторов времени, неопределенности и риска (предполагаемые сроки решения с учетом возможных изменений внешней среды);
- изменение (динамика) критериев принятия бизнес-решений у участников инновационных процессов в период формирования новой инновационной структуры;
- возможное отсутствие подходящих бизнес-партнеров в процессе формирования некоторого нового инновационного проекта;
- недостаток информации о новых появляющихся субъектах на рынке инновационных услуг.

Информационная поддержка инноваций включает два основных аспекта. Во-первых, это собственно обеспечение субъектов инновационных процессов адекватными информационными базами, а во-вторых — методическое обеспечение их деятельности, позволяющее осуществлять эффективную, целенаправленную обработку имеющихся в распоряжении информационных ресурсов. Следует отметить, что на стадиях опытного и промышленного производства, а также «постпроизводственных» фазах жизненного цикла, задачи информационной поддержки инноваций достаточно хорошо проработаны, например — в рамках CALS-технологий. Однако, в наибольшей степени эффект информационной поддержки нововведений проявляется на начальных этапах жизненного цикла инноваций. В пользу этого утверждения, в частности, говорит то, что история развития рыночных отношений идет в направлении возрастания степени виртуализации продукта рыночного обмена: натуральный обмен сменился денежным эквивалентом продуктов, классическая схема обмена «товар—деньги—товар» замещается схемой «ценные бумаги—деньги—ценные бумаги». В результате все чаще объектом рыночного обмена становятся неосязаемые, но весьма дорогостоящие идеи. На ранних этапах жизненного цикла инновации, как правило, происходит обмен идеями и концепция конечного продукта еще не до конца сформирована [4].

Первоочередной задачей, обеспечивающей зарождение и развитие нового инновационного процесса, является создание эффективных средств доступа к информационным ресурсам инноваций. Собственно информация обеспечивает среду, в которой зарождаются и активно протекают процессы создания и реализации концепций новых продуктов, технологий, организаций. В настоящее время создано большое количество информационных ресурсов поддержки инноваций — различного рода веб-порталов и отдельных интернет-ресурсов инновационной тематики. Эти ресурсы интегрируют в себе большой объем информации о различных инновационных предложениях, идеях, продуктах, научных разработках. Однако чаще всего ресурсы не связаны между собой, разнородны по технологиям реализации и семантике содержимого. При совместном использовании таких ресурсов пользователь должен многократно повторять процедуры регистрации и поиска данных на каждом портале в отдельности. Чтобы повысить эффективность информационного обеспечения инноваций, необходимо обеспечить унифицированный доступ к информационным ресурсам инноваций как к единому целому.

Для решения этой задачи разработаны информационные технологии, позволяющие строить единое информационное пространство инновационной деятельности на базе существующих информационных ресурсов

инноваций, решать проблемы технологической и семантической неоднородности информационных ресурсов, обеспечить целенаправленную автоматизированную обработку данных на начальных этапах жизненного цикла инноваций, анализ вариантов их развития. Эти технологии направлены на создание виртуальной агентной бизнес-среды развития инноваций. В виртуальной бизнес-среде программные агенты, по заказу своих хозяев, осуществляют не только поиск и размещение информационных элементов в различных базах, но и берут на себя некоторые функции реальных субъектов инновационных процессов по оперированию информацией. В первую очередь это подбор потенциальных бизнес-партнеров для реализации инновационного проекта, оценка параметров эффективности возможных инновационных структур, моделирование динамики развития и эффекта от запланированной инновации.

В ходе разработки и реализации инновационных проектов руководителям и специалистам предприятий и организаций, участвующих в их реализации, а также отдельным физическим лицам, самостоятельно осуществляющим исследования и разработки, приходится готовить и принимать разнообразные решения. Для обоснования этих решений необходимы различные данные о состоянии внешней среды (научно-технической, финансово-экономической, производственно-технологической, рыночной и др.) [5].

При этом требуется обеспечить:

- возможности для каждого из участников инновационного процесса получать как общую, так и специальную (соответствующую решаемым им задачам) информацию;
- возможность наращивания сведений о научно-технической разработке (создание и хранение истории разработки начиная от получения полезной идеи до осуществления выпуска новой продукции и сфер ее применения);
- доступ к различным источникам информации, необходимым для принятия решения, а при ее отсутствии — к потенциальным контрагентам, которые могут располагать или подготовить данную информацию;
- наличие сведений о потенциальных партнерах по осуществлению инновационного процесса на всех этапах его реализации в разрезе основных функций (от инновационного менеджмента до оказания содействия использованию новой продукции/услуги конечным потребителем);
- выполнение некоторых «интеллектуальных» функций.

Последнее предполагает, что при отсутствии в базах данных объектов с параметрами, необходимых участнику инновационного процесса, не только выдавать отрицательный ответ, но также предоставлять:

- перечни объектов, частично соответствующих запросу (по отдельным параметрам или их сочетаниям);
- информацию о разработках с близкими к запрашиваемым значениями параметров объектов;
- адреса субъектов, которые могут осуществить разработку подобных объектов.

2. Концептуальная модель виртуальной бизнес-среды инноваций

В качестве логической основы технологий распределенных систем информационной поддержки инновационного развития региона и их последующих реализаций в виде программных систем использовалась концептуальная модель виртуальной бизнес-среды инноваций (КМ ВБС) [2]. КМ ВБС задана в виде теоретико-множественных отношений и объединяет в себе:

- множества объектов модели;
- отношения, задаваемые над множествами объектов модели;
- множества атрибутов объектов и отношений.

КМ ВБС 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. Объекты КМ ВБС, представляющие субъектов инноваций, образуют иерархию, что позволяет учитывать при формировании инновационных структур организационную подчиненность субъектов инновационной деятельности. Для автоматизации поиска потенциальных бизнес-партнеров и формирования эффективных бизнес-структур в виртуальной бизнес-среде создаются программные 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:

$$E_{ВБС} = \{S, P, I, A, R, Atr\}, \quad (1)$$

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:

$$I = \{SA, SP, SBS, SBI, SBPL, In, Out, H\}, \quad (2)$$

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».

H — отношение иерархии объектов, отражающее их организационные взаимоотношения:

$$H = \bigcup_{\alpha=1}^{N_i-1} H^\alpha, \quad H^\alpha \subseteq S_{\alpha-1} \times B'(S_\alpha), \quad (3)$$

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

Каждый объект (субъект инновационной деятельности) описывается в КМ ВБС набором атрибутов:

$$S = \{ \langle G^S \rangle, \langle RL^S \rangle, \langle CP^S \rangle, \langle ACT^S \rangle, \langle STR^S \rangle, \langle L_2^S \rangle, \langle PD^S \rangle, \langle Nad^S \rangle \}, \quad (4)$$

где G^S — дерево целей субъекта бизнес-процесса, которые он преследует; RL^S — множество ролей субъекта бизнес-процесса, которые он может исполнять для достижения соответствующих целей; CP^S — множество навыков и способностей субъекта бизнес-процесса, которыми он должен обладать для исполнения соответствующей роли; ACT^S — множество действий; STR^S — множество стратегий поведения субъекта бизнес-процесса, направленных на достижение соответствующих целей; L_2^S — язык коммуникации участников бизнес-процессов; Nad^S — параметр надежности субъекта инноваций как бизнес-партнера; PD^S — множество параметров, описывающих персональные данные о субъекте бизнес-процесса (имя, контактная информация, и т.п.).

Бизнес-процессы представлены в концептуальной модели в виде графа, связывающего множества бизнес-функций, ресурсов, организационных структур и отдельных участников инноваций.

Агенты в КМ ВБС представляют интересы соответствующих участников бизнес-процессов, принадлежащих множеству S , и описываются следующим образом:

$$A = \langle S, BI, ORG^A, C \rangle, \quad (5)$$

где S — множество субъектов инноваций, интересы которых представляют агенты; BI — множество бизнес-идей субъектов инноваций, которые агенты представляют в ВБС; ORG^A — множество базовых организационных структур, соответствующих конкретным функциям (ролям) агентов и установившимся отношениям между ними; C — внутренняя структура агента, описывающая его функциональное устройство.

Каждая бизнес-идея bi_i описывается набором ключевых и второстепенных параметров, к которым относятся: $PrObl_i$ — предметная область (отрасль); kw_i — ключевые слова; $InDes_i$ — описание инновационного/инвестиционного предложения; $goal_i$ — описание цели создания

нового конечного продукта; $OrSt_i$ — ориентировочная стоимость исследования/разработки технологии производства; $InTyp_i$ — тип инновации; $InStat_i$ — статус инновации; $CurStDev_i$ — текущая стадия развития; $ActD_i$ — временной период, в течение которого предложение считается в силе; Reg_i — регион.

Бизнес-план bpl_i описывается тремя компонентами: GP_i — основная составляющая бизнес-плана; IP_i — инвестиционная составляющая бизнес-плана, RP_i — сырьевая составляющая, каждая из которых определяется набором параметров:

$$GP_i = \langle PrNam_i, v_i^{Pr}, SrVip_i, s_i^{rl=Z}, RL^S, BsTyp_i, MonSrc_i \rangle, \quad (6)$$

$$IP_i = \langle ChPD_i, ID_i, VND_i, SrOk_i, v1_i^{inc}, v2_i^{inv}, A_i^{Ob},$$

$$H_i^A, Pr, TZ_i^{Pr od}, Pr_{sr}^{izd_i}, K_i^{rab}, PrOB_i, nal, St^\alpha \rangle, \quad (7)$$

$$RP_i = \langle res_i, PrRes_i \rangle, \quad (8)$$

где $PrNam_i$ — наименование продукта (продукции); v_i^{Pr} — планируемый объем производства; $SrVip_i$ — сроки (продолжительность) выполнения проекта; $s_i^{rl=Z}$ — заказчик; $RL^S = \{rl_i^S | rl_i^S \neq Z\}$ — множество бизнес-ролей субъектов инноваций, требуемых для реализации инновационного проекта; $BsTyp_i$ — тип сотрудничества; $MonSrc_i$ — источник финансирования; $v1_i^{inc}$ — объем требуемых инвестиций; $v2_i^{inv}$ — объем вкладываемых инвестиций; $ChPD_i$ — рентабельность; (чистый приведенный доход от капиталовложений в инновационный проект); ID_i — индекс доходности; VND_i — внутренняя норма доходности; $SrOk_i$ — период окупаемости; A^{Ob} — амортизация оборудования; H^A — норма амортизации; Pr — балансовая стоимость здания; $TZ^{Pr od}$ — текущие затраты на 1 у.е. реализованной продукции; $Pr_{sr}^{izd_i}$ — средняя цена единицы изделия; K_i^{rab} — количество работающего оборудования; $PrOB_i$ — годовая производительность единицы оборудования; nal — ставка налога на прибыль; St^α — ставка дисконта; $res_i = (resNam_i, resV_i)$ — требуемые ресурсы (финансовые, трудовые, материальные, производственные); $PrRes_i$ — прогнозируемая цена на сырье.

Концептуальная модель виртуальной бизнес-среды инноваций выполняет две основные функции: во-первых, является средством структуризации и формализованного представления знаний о предметной области и, во-вторых, за счет формального задания отношений на множествах объектов модели, обеспечивает возможность автоматического логического вывода в процедурах формирования виртуальных бизнес-площадок, формирования

и поддержания распределенного реестра агентов, генерации имитационных моделей реализации инновационных проектов, описанных далее.

3. Технология интеграции разнородных информационных ресурсов инноваций

Интеграция ресурсов подразумевает обеспечение унифицированного (с использованием одних и тех же программ-клиентов и одних и тех же запросов) доступа к семантически разнородным данным, хранящимся на различных технологически разнородных информационных серверах. Под информационными ресурсами инноваций понимаются любые данные, потенциально используемые участниками инновационного процесса. На начальных стадиях жизненного цикла инновации такими данными являются, прежде всего, описания инновационных предложений. Поскольку существенных различий в технологиях логической интеграции информационных ресурсов того или иного сорта нет, то далее будем говорить об инновационных предложениях, подразумевая при этом информационные ресурсы инноваций вообще.

Задача интеграции разнородных территориально распределенных информационных ресурсов инноваций решается с применением идеологии классических медиаторных систем, использующих онтологии для решения проблем семантической неоднородности ресурсов и средства программного обеспечения промежуточного слоя (middleware) для преодоления технологической неоднородности используемых для их хранения программно-технических средств (рис. 1).

Логическая интеграция информационных ресурсов должна обеспечиваться не только на техническом уровне, но и на уровне их семантики. Иными словами, необходимо не только сделать распределенные данные доступными для распределенных же пользователей, но и обеспечить возможность их корректной обработки и интерпретации. При этом возникают две известные проблемы, связанные с гетерогенностью источников данных — это структурная неоднородность и семантическая неоднородность [8]. Структурная неоднородность имеет место, когда разные узлы информационной системы используют различные структуры данных для хранения информационных элементов. Семантическая же неоднородность проявляется на уровне смыслового значения информационного элемента. Проблема семантической неоднородности весьма характерна для информационных ресурсов инноваций, вследствие присущего им междисциплинарного характера. Эффективным средством ее решения является описание скрытой и неявной семантики интегрируемых данных с помощью онтологий [7, 8].

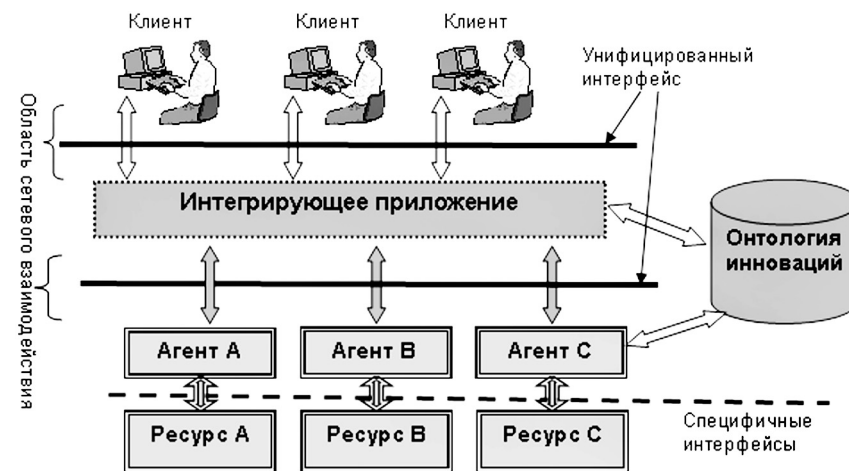


Рис. 1. Архитектура интегрирующей системы с общим сервером онтологий

Существенно различными по способу обработки являются запросы на размещение нового инновационного предложения и на поиск существующего предложения, адресованные к разнородным информационным серверам. Так, распространенным примером семантической разнородности на уровне структуры является различие в способах рубрицирования инновационных предложений на разных серверах. Для случая поискового запроса такая проблема может быть решена просто — поиском интересующего нас предложения по признакам, характеризующим его содержательную часть (поиск по ключевым словам). При этом структуризация инновационных предложений не принимается во внимание вообще, что увеличивает объем пространства поиска, но, в принципе, потенциально обеспечивает адекватный результат. С другой стороны, при запросе на размещение нового предложения возникает необходимость в его правильном рубрицировании на каждом информационном сервере. Для этого прибегаем к помощи онтологий: автор запроса классифицирует объект нового предложения как экземпляр одного из классов онтологии. Агенты ресурсов, ответственные за размещение предложения на информационных серверах, автоматически реклассифицируют инновационное предложение в соответствии с используемой на сервере структурой, путем анализа таких отношений между классами в онтологии, как синонимия или «is-part-of».

Таким образом, в решении проблемы семантической разнородности информационных ресурсов онтология инноваций играет роль единого

терминологического справочника и семантического хранилища. Запросы на поиск и размещение инновационных предложений формулируются в общесистемных терминах этой онтологии. С ее помощью агент пользователя преобразует запрос на размещение или использование данных к общесистемному представлению. Агенты, функционирующие на стороне размещения информационного ресурса, осуществляют обратное преобразование этого запроса из общесистемных терминов в локальные термины ресурса. Объектом преобразований могут быть как определения схемы информационного ресурса, так и значения информационных элементов.

Для согласования разных технологий хранения и представления данных на стороне информационных серверов используются программные адаптеры ресурсов, реализующие специфичные для каждого конкретного ресурса механизмы доступа и извлечения данных [5].

4. Технология формирования и оценки эффективности инновационных структур

Для своей эффективной работы виртуальная бизнес-среда должна содержать как можно большее количество инновационных предложений разного рода — предложения по инвестированию, по использованию производственного и научно-исследовательского потенциала, и т.п. Для эффективной обработки больших объемов информации, с целью выявления возможных путей реализации инновационных бизнес-идей, используется технология автоматизированного формирования и оценки качества потенциальных инновационных структур.

Задача формулируется и решается следующим образом. Имеется, определенное в КМ ВБС, множество бизнес-ролей субъектов инновационных процессов. Агенту задается требуемая инновационная структура с ограничениями на параметры элементов в виде пар

$$\left\langle \text{бизнес роль; } \left(\begin{array}{l} \text{система ограничений на параметры} \\ \text{реализующего роль объекта} \end{array} \right) \right\rangle.$$

Структура может задаваться как в терминах объектов, так и в терминах реализуемых ими функций — необходимые двусторонние преобразования определений инновационной структуры осуществляются посредством функциональных отображений, заданных в КМ ВБС. Далее агент подыскивает среди имеющихся бизнес-предложений те, которые удовлетворяют заданным требованиям к элементам инновационной структуры. При этом осуществляется предварительная оценка потенциальной эффективности

структур, сформированных из различных наборов объектов. Эффективность инновационной структуры оценивается по следующим критериям:

- 1) экономическая эффективность инновационного проекта (рентабельность), которая оценивается по трем основным показателям: чистому приведенному доходу от капиталовложений в инновационный проект, индексу доходности, внутренней норме доходности;
- 2) прогнозируемое время реализации проекта (период окупаемости);
- 3) надежность партнеров, входящих в бизнес-структуру.

Надежность партнеров определяется с использованием схемы распределенного управления доверительными отношениями [11], в соответствии с которой надежность элемента инновационной структуры тем выше, чем выше его интенсивность взаимодействия с другими субъектами и чем больше количество инновационных проектов, в которых он участвует. При этом интенсивность взаимодействия и количество инновационных проектов субъекта рассчитываются с учетом его организационной подчиненности, заданной соответствующим транзитивным отношением на множестве S . Пусть $\hat{q}(s_i)$ — количество проектов с участием субъекта s_i и S^i — множество субъектов, находящихся в отношении организационной подчиненности с s_i . Тогда уровень надежности i -го субъекта является возрастающей функцией от агрегированного показателя его участия в инновационных проектах:

$$q(s_i) = \hat{q}(s_i) + \sum_{j \in S^i} (d(s_i, s_j) \cdot \hat{q}(s_j)), \quad (9)$$

где $d(s_i, s_j): S^i \times S^i \rightarrow [0, 1]$ — функция, убывающая от дистанции между i -м и j -м субъектами в графе организационных отношений.

Расчет показателей экономической эффективности осуществляется на основе модифицированных динамических методов оценки инвестиционных проектов [10]: метода чистой настоящей стоимости NPV, метода расчета индекса доходности PI, метода внутренней нормы рентабельности IRR и метода расчета периода окупаемости проекта PP. Модификации методов заключаются в учете таких важных для бизнес-процессов, связанных с инновациями, составляющих, как издержки транзакций, риски отдельно взятых этапов инновационного процесса, а также затраты на производственные ресурсы. Период окупаемости определяется как минимальный временной интервал от начала осуществления проекта, за пределами которого чистый приведенный доход становится неотрицательным.

Важной проблемой, которую необходимо решить при оценке эффективности формируемой инновационной структуры является потенциальная недоопределенность исходной информации для расчета показате-

лей. Вычислительные модели показателей эффективности инновационных структур основаны на достаточно большом количестве параметров, не все из которых могут быть определены для каждого элемента структуры.

Удобным способом представления совокупности инновационных структур, претендующих на роль наилучшей, являются грубые множества [12]. Грубое множество (rough set), определяется нижней аппроксимацией, задающей гарантированно принадлежащие множеству элементы, и верхней аппроксимацией, задающей возможных претендентов на принадлежность множеству.

В общем случае показатель эффективности инновационной структуры является функцией векторного аргумента: $C = f(\vec{x})$. Обозначим через $\tilde{x}$ те компоненты вектора, которые не определены, и через $\bar{x}$ — все остальные компоненты. Определим для каждого параметра диапазон возможного на практике изменения значений: $x^{\min} = \arg \min(C)$, $x^{\max} = \arg \max(C)$, а соответствующие значения неопределенных компонентов вектора аргументов обозначим $\tilde{x}^{\min}$ и $\tilde{x}^{\max}$. Тогда нижняя аппроксимация множества потенциально эффективных инновационных структур будет состоять из оценок структур, удовлетворяющих следующему условию:

$$C(\bar{x}_i, \tilde{x}^{\min}) \geq \underline{C}, \quad (10)$$

где $\bar{x}_i$ — заданные компоненты вектора параметров i -й инновационной структуры, $\tilde{x}^{\min}$ — минимальные значения неопределенных компонентов (их количество может быть равно нулю), $\underline{C}$ — заданное минимальное значение показателя эффективности для структур, принимаемых к дальнейшему рассмотрению.

Верхняя аппроксимация соответствующего множества в тех же обозначениях будет определяться условием:

$$C(\bar{x}_i, \tilde{x}^{\max}) \geq \underline{C}. \quad (11)$$

То есть нижняя аппроксимация множества потенциально эффективных по рассматриваемому критерию инновационных структур образована структурами, удовлетворяющими заданному ограничению при наихудших возможных значениях неопределенных параметров, а верхняя аппроксимация — структурами, удовлетворяющими этому ограничению при наилучших значениях неизвестных параметров.

Описанные показатели обеспечивают получение статичной оценки эффективности инновационных структур, используемой для отсева заведомо неперспективных альтернатив. Оставшееся после этого ограниченное количество потенциально перспективных вариантов реализации инновационного проекта подвергается дополнительному оцениванию с помощью имитационного моделирования их развития и результативности на базе комплекса системно-динамических моделей инновационных процессов.

5. Технология формирования виртуальных бизнес-площадок

Эффект, получаемый от использования ВБС, тем выше, чем больше ее внутренний объем — количество зарегистрированных инновационных предложений, агентов, представляющих интересы субъектов инноваций, узлов размещения информационных баз. Однако рост объема системы естественным образом приводит к возрастанию сложности задач поиска информационных элементов, подбора вариантов инновационных структур из-за полиномиального роста количества альтернатив. Для того чтобы система не теряла работоспособность в условиях собственного неограниченного роста, необходимы некоторые механизмы самоорганизации, позволяющие динамично формировать ее внутреннюю структуру, с целью сокращения объемов обрабатываемых и передаваемых по коммуникационным линиям данных в ходе размещения и поиска инновационных предложений на информационных узлах, формирования потенциально эффективных инновационных структур.

Самоорганизация заключается в автоматическом формировании в рамках ВБС виртуальных бизнес-площадок (ВБП), объединяющих сходные по интересам группы агентов. Формирование ВБП основано на описанном далее методе поддержки распределенного реестра одноранговых узлов с неявной древовидной организацией, в котором в качестве организующей древовидной структуры используется иерархическая модель предметной области инноваций. Формирование бизнес-площадок осуществляется 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.

Такой подход позволяет не только сократить суммарный объем межагентных коммуникаций, но и, за счет использования мобильных агентов, преобразовывать межузловые коммуникации во внутриузловые. Это, в свою очередь, снижает нагрузку на сеть в случае распределенной реализации системы. При этом для обеспечения открытости и расширяемости системы в ней используются механизмы самоорганизующихся пиринговых (одноранговых) систем, в которых узлы равноправны друг по отношению к другу.

6. Технологии поддержки одноранговой (пиринговой) организации распределенных систем информационной поддержки инноваций

Агенты, как и их владельцы, территориально распределены и обладают лишь частью информации, необходимой для эффективного формирования инновационных структур и соответствующих этим структурам групп проблемно-ориентированных информационных ресурсов инноваций. Это обуславливает априори большую эффективность распределенного варианта реализации системы, когда в ее состав входит множество самостоятельных клиентских и серверных узлов. Возможность размещения агентов как на стороне клиентов (компьютерах участников инновационных процессов), так и на специализированных серверах (порталах) повышает уровень интерактивности при взаимодействии пользователя, как с собственным агентом, так и с системой в целом. В свою очередь распределенный тип архитектуры системы (максимально возможный отказ от централизованных общесистемных сервисов) повышает ее надежность, делает легко масштабируемой и интероперабельной, а также позволяет организовать эффективный поиск потенциальных партнеров и информации об их бизнес-предложениях.

Для обеспечения открытости и расширяемости децентрализованной системы в ней используются механизмы пиринговых информационных систем: распределенный реестр агентов, децентрализованное определение уровней полномочий агентов на базе доверительных отношений, распределенный алгоритм оценки надежности представляемых агентами бизнес-партнеров.

Распределенный реестр агентов поддерживается с помощью достаточно простого приема взаимного обмена адресными таблицами между коммуницирующими агентами. При этом вновь появляющийся в системе агент должен знать адрес хотя бы одного другого активного агента. При отправке агенту информационного запроса (в том числе — пустого) в ответ агент-инициатор получает вместе с результатами запроса адресные таблицы целевого агента.

Главными проблемами, возникающими при реализации такого алгоритма, являются:

- 1) потенциально бесконечный рост объема адресных баз;
- 2) большой объем служебных коммуникаций из-за необходимости передавать (в общем случае — по сети) большие адресные базы при выполнении каждого запроса.

Снижение объема служебных коммуникаций осуществляется путем исключения повторной передачи адресной информации между агентами.

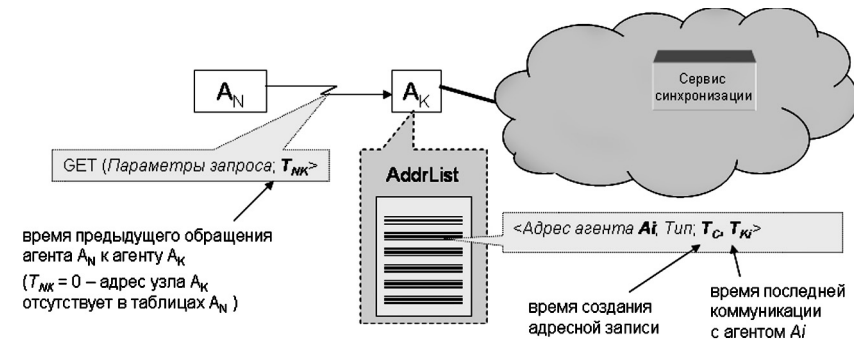


Рис. 2. Использование временных меток для исключения повторных передач адресной информации

Схема работы соответствующего алгоритма приведена на рис. 2. Адресным записям в таблицах агентов присваиваются временные метки, означающие время внесения записи в таблицу — T_C и время последней коммуникации с соответствующим агентом-адресатом. В информационном запросе, кроме основных параметров, передается время последнего предыдущего взаимодействия между коммуницирующими агентами (T_{NK} в примере на рисунке). В результате обработки запроса агенту-отправителю рекламируются только те адресные записи агента-получателя, для которых $T_C > T_{NK}$, то есть записи, появившиеся в таблице после последнего взаимодействия между агентами A_N и A_K .

Недостатком этого алгоритма является необходимость в общем для всех узлов сервисе синхронизации. Этот сервис может быть реализован как централизованно, так и распределено. В последнем случае при каждом взаимодействии агенты сравнивают собственные времена и если обнаружена существенная рассинхронизация, то запускается алгоритм восстановления времени, например, на базе консенсуса большинства. После ресинхронизации агенты присваивают текущее время в качестве времени создания всем своим адресным записям. Распределенная реализация сервиса синхронизации более устойчива к сбоям, но менее надежна в смысле полноты адресных баз агентов.

Для ограничения объема адресных баз, хранимых агентами, и сохранения при этом эффективности функционирования распределенной системы, используется механизм, основанный на ассоциировании каждого агента с одной или более вершиной древовидной концептуальной модели предметной области (КМПО), задающей области интересов агентов. Информацией об этих ассоциациях дополняются записи адресных таблиц.

Каждый агент A хранит и поддерживает несколько адресных таблиц:

- *Основная адресная таблица*, L_0 , в которую включаются адреса агентов A_i , удовлетворяющих условию $g(A_i) = g(A)$, то есть имеющих ту же область интересов, что и данный агент.
- *Дополнительные таблицы*, $L_1, L_2, \dots$, включающие агентов с иными областями интересов.

Обозначим вершину, ассоциированную с агентом A как $g(A)$. Наибольший размер, S_{max} (возможно — неограниченный) имеет таблица L_0 . В таблицу L_1 включаются адреса агентов, область интересов которых в графе концептуальной модели отстоит от данного на расстояние 1, в таблицу L_2 — на расстояние 2, и так далее, до некоторого предела Z . Адреса агентов, области интересов которых отстоят от $g(A)$ на Z и более, заносятся в таблицу L_Z , с некоторым минимальным размером S_{min} . В результате размеры адресных таблиц агента удовлетворяют соотношению:

$$S_{max} = S(L_0) > S(L_1) > S(L_2) > \dots > S(L_Z) = S_{min}. \quad (12)$$

Таким образом, агент стремится к сохранению, в первую очередь, адресов тех агентов, которые близки ему по интересам и с которыми, потенциально, коммуникации будут наиболее активными.

Вытеснение адресных записей из таблиц (эта необходимость возникает, поскольку размер таблиц ограничен) может осуществляться в соответствии с каким-либо из известных алгоритмов — LFU (на базе счетчика обращений), Clock-алгоритма, или иных.

Для определения полномочий агентов на доступ к распределенным информационным ресурсам, а также для определения показателя их надежности как бизнес-партнеров, используется модель децентрализованного управления доступом на базе доверительных отношений, отражающая, в определенной степени, механизмы доверительных отношений, имеющие место в социальных средах. В соответствии с моделью, уровень полномочий определяется как скалярная непрерывная величина репутации агента, представляющего субъект инноваций в распределенной компьютерной среде. Каждый агент может делегировать часть своих полномочий (репутации) любому другому, передав ему соответствующий мандат доверия. Текущая репутация агента определяется количественными и временными параметрами мандатов, полученных им от других агентов [13]. Мандат доверия, адресованный от i -го агента j -му, представляет собой тройку:

$$M_{ij} = (P_{ij}^0, t^0, R_i^0), \quad (13)$$

где t^0 — время генерации мандата; P_{ij}^0 — уровень полномочий, делегированный i -м агентом j -му; R_i^0 — уровень репутации делегирующего

агента на момент t^0 . При расчете уровня репутации j -го агента, в случае, если количество мандатов, адресованных от i -го агента более одного, учитывается только один, наиболее актуальный мандат, то есть мандат с максимальным t^0 .

Уровень репутации агента является функцией суммы полномочий, делегированных ему другими агентами: $R_j = f(p)$. Причем

$$\lim_{p \rightarrow +\infty} f(p) = P_{max} \quad \text{и} \quad \lim_{p \rightarrow -\infty} f(p) = P_{min},$$

а p определяется по формуле:

$$p = g(N^+) \sum_{i=1}^{N^+} P_{ij}^+ R_i^0 + g(N^-) \sum_{i=1}^{N^-} P_{ij}^- R_i^0. \quad (14)$$

Здесь:

N^+, N^- — количества положительных и отрицательных мандатов, адресованных j -му агенту, соответственно;

P_{ij}^+, P_{ij}^- — уровни полномочий, содержащиеся в положительных и отрицательных мандатах, адресованных от i -го агента j -му, соответственно;

$g(x)$ — функция, определяющая степень влияния количества мандатов на репутацию агента; $g(0) = 0$ и $g(x) \in [1, g^{max}]$ для $x \in [1, +\infty]$; $g^{max} = \text{const}$.

В свою очередь, уровень полномочий, однажды делегированный i -м агентом j -му, не является константой, но есть убывающая функция времени:

$$P_{ij}(t) = P_{ij}^0 - h(\Delta t),$$

где $h(\Delta t)$ — возрастающая функция, $\Delta t = t - t^0$, причем $h(\Delta t) \xrightarrow{\Delta t \rightarrow \infty} P_{ij}^0$.

Аналогичная модель используется для определения степени надежности агента в качестве бизнес-партнера.

7. Технология системно-динамического моделирования инновационных процессов

Для получения более адекватных оценок потенциальной эффективности вариантов инновационных структур, ориентированных на реализацию некоторого инновационного проекта, на заключительных стадиях их анализа используется имитационное моделирование на базе комплекса системно-динамических (СД) моделей инновационных процессов. В силу динамичности, присущей инновационным структурам, процессам и среде их развития, важной задачей при этом является обеспечение возможности быстрого формирования имитационных моделей с различной структурой

и параметрами, а также их оперативной модификации этих моделей при проведении сеансов моделирования.

В основу формирования системно-динамических моделей инновационных процессов положены механизмы формального отображения объектной концептуальной модели на системно-динамическую модель [5]. Концептуальная модель представляет собой два взаимосвязанных древовидных графа. Один граф представляет иерархию объектов или ресурсов исследуемой системы. Второй граф отражает структуру действий или процессов, имеющих место в исследуемой системе. Каждое действие интерпретируется как изменение ресурсов или их характеристик. Между ресурсами и действиями могут быть установлены отношения вход/выход. Таким образом, основу объектно-ориентированной концептуальной модели составляет следующий набор множеств:

$$\{P, O, H, In, Out\}, \quad (15)$$

где P — множество процессов или действий системы, O — множество объектов или ресурсов, H — множество отношений иерархии между процессами и между действиями, In и Out — множество отношений (связей) «вход/выход» между действиями и объектами. Отношения иерархии определяют, как объект или процесс некоторого уровня иерархии представляется через более простые объекты или процессы следующего уровня.

В свою очередь, системно-динамическая модель определяется следующим набором множеств:

$$\{L, F, V, C, R\}, \quad (16)$$

где L — множество уровней, F — множество потоков, V — множество переменных, C — множество констант, R — множество связей.

Концептуальное описание конкретной инновационной структуры представляет собой связный фрагмент (сечение) концептуальной модели виртуальной бизнес-среды инноваций (КМ ВБС):

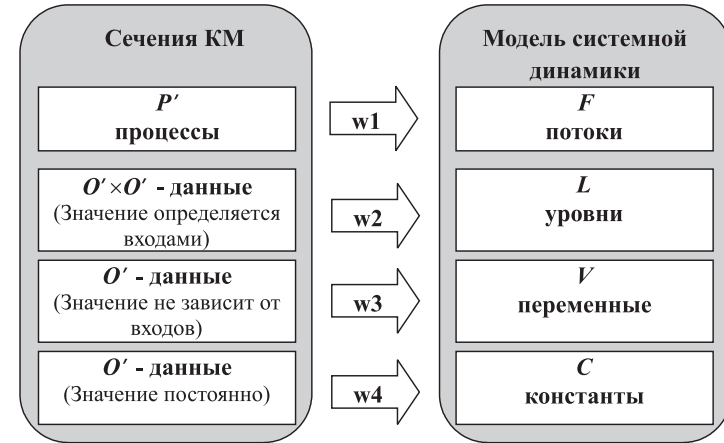
$$\{P', O', In', Out'\}. \quad (17)$$

Схематически этапы синтеза структуры динамической модели на основе объектно-ориентированной концептуальной модели показаны на рис. 3.

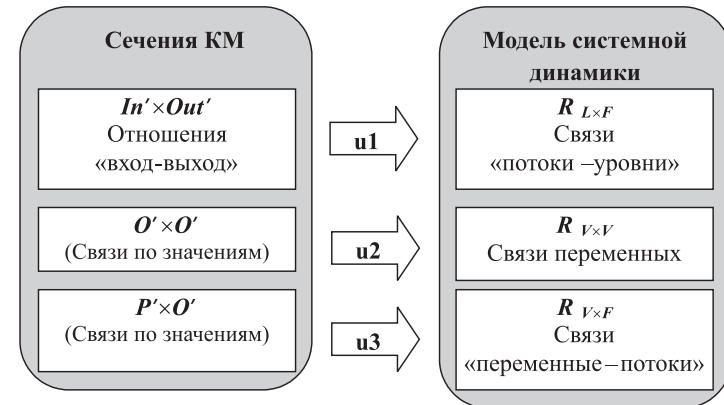
Множество потоков синтезируемой динамической модели будет определяться множеством включенных в сечение концептуальной модели процессов (действий):

$$w1 : P' \rightarrow F (\forall \pi \in P', w1(pi) = fi). \quad (18)$$

Элементы множества данных (ресурсов) выбранного сечения концептуальной модели могут отображаться на элементы одного из трех множеств L, V или C в зависимости от значений атрибутов.



а) генерация структурных элементов модели системной динамики



б) генерация связей динамической модели

Рис. 3. Этапы синтеза модели системной динамики на основе концептуальной модели сложного объекта: а) генерация структурных элементов модели системной динамики, б) генерация связей динамической модели.

С точки зрения автоматизации синтеза соответствующей динамической модели интерес представляют три атрибута элемента концептуальной модели: имя, значение, функция вычисления значения ((n, val, f)). Имя в дальнейшем используется как идентификатор. Функция вычисления

определяет, как значение данного объекта зависит от внешних факторов и значений других элементов концептуальной модели ($val_i = f_i(x, \{val_j\})$, $j \neq i$). Если функция вычисления не задана ($f_i = \text{nil}$), то начальное значение остается неизменным ($val_i = val0_i = \text{const}$). Если в функцию не входят значения других объектов модели ($\{val_j\} = \emptyset$), то изменение значения определяется только внешними факторами ($val_i = f_i(x)$).

С учетом изложенного механизм отображения данных концептуальной модели на элементы модели динамической можно задаются четырьмя правилами отображения следующим образом.

Если функция вычисления значения объекта есть функция от значений процессов, связанных с объектом отношениями «вход/выход», то данный объект представляется в динамической модели уровнем:

$$w2: O' \rightarrow L, \quad (19)$$

причем

$$w2(o_j) = l_j I f [val(o_j) = f_i(x, \{val(a_i)\}) \wedge (a_i \in in(o_j) \vee a_i \in out(o_j))]. \quad (20)$$

Если функция вычисления значения объекта не является функцией входных/выходных процессов, а есть функция от значений других объектов и/или внешних факторов, то данный объект отображается на переменную динамической модели:

$$w3: O' \rightarrow V, \quad (21)$$

причем

$$w3(o_k) = v_k I f [val(o_k) = f_i(x, \{val(o_j)\}), \quad j \neq k]. \quad (22)$$

Если функция вычисления для объекта не задана ($f_i = \text{nil}$), то объект представляется константой:

$$w4: O' \rightarrow C, \quad (23)$$

$$w4(o_m) = c_m I f [val(o_m) = \text{const}]. \quad (24)$$

Полученные в результате выполнения описанных отображений множества $F = \{f_i\}$, $L = \{l_j\}$, $V = \{v_k\}$ и $C = \{c_m\}$ определяют состав динамической модели.

Следующим этапом генерации динамической модели является синтез связей. Связи синтезируются на основе анализа заданных отношений «вход/выход» между процессами и объектами концептуальной модели и структуры функций вычисления значений.

Отношения «вход/выход» определяют связи типа «входной поток-уровень» и «уровень-выходной поток»:

$$u1: In' \times Out' \rightarrow L \times F. \quad (25)$$

Вхождение в функцию вычисления значения объекта o_i значения другого объекта o_j определяет установление в динамической модели информационной связи c_{ji} от переменной v_j , полученной отображением o_j , к переменной v_i , полученной отображением o_i :

$$u2: O' \times O' \rightarrow R, \quad (26)$$

$$\forall \langle o_j, o_i \rangle, u2(\langle o_j, o_i \rangle) = r_{ji} I f [f_{oi} = f_i(x, \{Val\}_i) \wedge val_{o_j} \in \{Val\}_i]. \quad (27)$$

Связи для переменных темпа, приписанных потокам динамической модели, определяются аналогично путем анализа функций вычисления значений процесса концептуальной модели:

$$u3: P' \times O' \rightarrow R, \quad (28)$$

$$\forall \langle p_j, o_i \rangle, u3(\langle p_j, o_i \rangle) = r_{ji} I f [f_{ai} = f_i(x, \{Val\}_i) \wedge val_{o_j} \in \{Val\}_i]. \quad (29)$$

Таким образом формируется связанная структура системно-динамической модели, в которой каждому элементу соответствует некоторый элемент концептуальной модели. Это соответствие позволяет использовать для реализации имитационного моделирования значения характеристик процессов и данных, приписанные элементам концептуальной модели.

Данный подход существенно облегчает процедуру построения системно-динамической модели, но все-таки требует достаточно трудоемкой последующей «доводки» синтезированной системно-динамической модели. Снизить трудоемкость процесса адаптации СД-моделей к конкретному варианту инновационной структуры позволяет использование разработанной технологии автоматической генерации системно-динамических моделей на базе концептуальных шаблонов [14]. Данная технология предполагает выделение в КМ ограниченного набора фрагментов, описывающих определенные классы субъектов инновационной деятельности и их « типовые » функции, а также « стандартные » инновационные процессы. Для каждого такого фрагмента формируется соответствующий системно-динамический шаблон, который используется в качестве « строительного блока » при синтезе имитационной модели исследуемой инновационной структуры или проекта. При проведении сеанса имитационного моделирования параметры анализируемого варианта реализации проекта заносятся в шаблоны, образующие СД-модель, и осуществляется прогонка последней при различных комбинациях внешних условий.

8. Выводы

Информационная поддержка инноваций является сложной, многоаспектной задачей. Среди ее подзадач наиболее значимыми являются: обеспечение участников инновационных процессов максимально возможным

объемом актуальной, адекватной задачам организации инноваций информации; создание благоприятной информационной среды для зарождения и развития инновационных идей, формирования соответствующих структур исполнителей; информационно-аналитическое обеспечение инноваций, позволяющее делать предварительные оценки потенциального эффекта от реализации инновационных проектов. Для решения подобных задач в условиях высокой динамичности состава участников инновационных процессов, их территориальной распределенности и организационной разнородности эффективной архитектурой поддерживающих информационных систем являются распределенные гибридные одноранговые архитектуры. В качестве технологий решения указанных задач предложено использовать концептуальное моделирование, агентный подход к организации информационных систем, интеграцию разнородных информационных ресурсов на базе онтологий, технологии самоорганизации в одноранговых архитектурах, методы системной динамики, технологию автоматизированной генерации СД-моделей на базе концептуальных моделей предметной области.

Представленные в работе технологии были опробованы в рамках распределенной системы информационной поддержки образовательных инноваций, системы интеграции распределенных разнородных информационных служб электронных коммерческих предложений, мультиагентной системы информационной поддержки инновационной деятельности. В ходе практической реализации перечисленных систем разработаны программные модули настройки пользовательских агентов различных типов, серверные агенты-адаптеры, программный модуль сервера онтологий, интерфейсный модуль для программного управления системно-динамическими моделями, созданными в среде Powersim, семантический конвертер схем и элементов данных информационных ресурсов инноваций, транслятор запросов, и другие. Опыт пробной эксплуатации данных систем показывает обоснованность и перспективность использования описанных технологий для построения систем информационной поддержки инноваций.

Литература

1. Шишаев М. Г., Сепеда-Эррера Р. Р. Механизмы пирингового взаимодействия в задаче информационной поддержки инноваций // Шишаев М. Г., Сепеда-Эррера Р. Р. Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды VIII Межд. конф. Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. С. 439–444.
2. Маслобоев А. В., Путилов В. А., Шишаев М. Г. Концептуальная модель агентно-ориентированной виртуальной бизнес-среды развития инноваций // Инфор-

мационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2007. Вып. VII. С. 28–41.

3. Шишаев М. Г. Архитектура и технологии региональной распределенной системы информационной поддержки инноваций // Шишаев М. Г. Прикладные проблемы управления макросистемами / Под ред. Ю. С. Попкова, В. А. Путилова. М.: КомКнига/URSS, 2006. Тр. ИСА РАН, Т. 28. С. 250–263.
4. Путилов В. А., Шишаев М. Г. Информационная поддержка жизненного цикла инновационных изделий: проблематика, методы и технологии // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2007. Вып. VII. С. 6–14.
5. Емельянов С. В., Попков Ю. С., Олейник А. Г., Путилов В. А. Информационные технологии регионального управления. М.: URSS, 2004. 400 с.
6. Маслобоев А. В., Шишаев М. Г. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций // Маслобоев А. В., Шишаев М. Г. Программные продукты и системы. Международное научно-практическое приложение к международному журналу «Проблемы теории и практики управления». 2007. № 4 (80). С. 30–32.
7. Cui Z., Jones D., O'Brien P. Issues in Ontology-based Information Integration. [Электронный ресурс] <http://www.csd.abdn.ac.uk/~apreece/ebiweb/papers/cui.pdf>
8. Смирнов А. В., Пашкин М. П., Шилов Н. Г., Девашова Т. В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации. Ч. 2 // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 2. С. 3–9.
9. Wache H., and other. Ontology-Based Integration of Information. A Survey of Existing Approaches. Proceedings of the IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing, 2001. [Электронный ресурс] <http://www.cs.vu.nl/~heiner/public/ois-2001.pdf>
10. Ковалев В. В. Финансовый анализ: Управление капиталом. Выбор инвестиций. Анализ отчетности. М.: Финансы и статистика, 1995.
11. Aberer K., Despotovic Z. Managing trust in a peer-2-peer information system. Proc. of 10th International Conference on Information and Knowledge Management. 2001. P. 310–317, 2001.
12. Pawlak Z., Grzymala-Busse J., Slowinski R., Ziarko W. Rough Sets, Communications on the ACM. V. 38. N. 11. Nov. 1995. P. 89–95.
13. Шишаев М. Г., Шемякин А. С. Модель вычисления полномочий для децентрализованного управления доступом к ресурсам в пиринговых системах // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2006. С. 153–156.
14. Быстров В. В., Горохов А. В. Информационная технология концептуального синтеза динамических моделей сложных систем // Информационные технологии в региональном развитии. Апатиты, 2007. Вып. VII. С. 69–77.