

Метод генерализации бизнес-предложений в системе информационной поддержки инноваций¹

М.Г. Шишаев, А.В. Маслобоев

Аннотация. Разработан метод формирования проблемно-ориентированных инновационных структур, основанный на генерализации бизнес-предложений субъектов инновационной деятельности. Метод обеспечивает формирование бизнес-площадок в виртуальной бизнес-среде, объединяющих агентов субъектов инноваций с близкими интересами и целями для реализации потенциально эффективных бизнес-проектов. Унифицированный механизм генерализации бизнес-предложений позволяет повысить эффективность поиска потенциальных бизнес-партнеров за счет смягчения требований к параметрам, описывающим бизнес-предложения, в процессе выполнения поисковых запросов и уменьшить нагрузку на сеть за счет преобразования межузловых коммуникаций агентов во внутриузловые.

Ключевые слова: информационная система, концептуальная модель, мультиагентный подход, виртуальная бизнес-среда, инновационная деятельность.

Введение

Информационная поддержка инноваций является сложной, многоаспектной проблемой, рассматривающей не только информационное обеспечение как таковое, но и задачи методической поддержки инновационных процессов.

Первоочередной задачей, обеспечивающей зарождение и развитие нового инновационного процесса, является создание эффективных средств доступа к информационным ресурсам инноваций. Для решения этой задачи необходимы информационные технологии и соответствующие программно-технические средства, 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 [1]. Эти технологии, одной из которых является [2], направлены на создание виртуальной агентной бизнес-среды развития инноваций, в которой 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 - подбор потенциальных бизнес-партнеров для реализации инновационного проекта, оценка параметров эффективности возможных инновационных структур, моделирование динамики развития и эффекта от запланированной инновации.

Разнородность и территориальная распределенность участвующих в инновационном процессе субъектов, вкуче с динамичностью их со-

¹ Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 08-07-00301-а «Разработка информационной технологии и распределенной информационно-аналитической среды поддержки инновационной деятельности». Представленные в статье научные результаты используются при разработке «Стратегии социально-экономического развития Мурманской области до 2025 года».

става и параметров, создают предпосылки для того, чтобы информационная среда развития инноваций была открытой и децентрализованной. В такой ситуации, в общем случае, уже не всегда применимы архитектуры и технологии корпоративных информационных систем, ориентированные на централизованные администрирование, хранение и обработку данных. Альтернативой им являются одноранговые или пиринговые (от англ. peer-to-peer – «равный к равному») архитектуры для которых характерны свойства открытости и расширяемости, а также потенциал самоорганизации [3-5].

Для повышения эффективности функционирования децентрализованной информационной среды поддержки инноваций необходимо, с одной стороны, обеспечить качественные высокоскоростные коммуникации, а с другой – организовать адресный информационный обмен, то есть обеспечить получение той или иной информации только заинтересованными в ней субъектами. Это позволит снизить общий объем циркулирующей в распределенной среде информации и, следовательно, уменьшить нагрузку на реализующие ее программно-технические элементы. Одним из способов решения такой задачи является организация в распределенной информационной среде виртуальных бизнес-площадок, в пределах которых концентрируется широкоэвентуальный по сути информационный обмен между близкими по интересам субъектами. При этом за пределы бизнес-площадки рассылаются генерализованные представления бизнес-предложений, идей, запросов, содержащие лишь необходимый минимум информации, а значит – имеющие малый объем. В случае заинтересованности субъекта в более детальных данных информационный обмен продолжается в рамках соответствующей виртуальной бизнес-площадки. Кроме того, в пользу генерализации (по сути – искусственного снижения точности, «загрубления» данных) говорит и тот факт, что в пределах бизнес-процессов, связанных с инновациями, как правило, происходит оперирование неполной информацией, их результативность является отложенной. Это естественным образом снижает требования к точности представления данных, используемых в инновационных

процессах, особенно на ранних стадиях их жизненного цикла.

Эффективной технологией организации переговоров между субъектами «совместной деятельности» и автоматизации поиска необходимых информационных ресурсов в распределенной информационной среде является технология мобильных программных агентов [6]. Однажды инициализированные, мобильные агенты обеспечивают для их владельца поиск интересующих его предложений, перемещаясь в распределенной среде от узла к узлу. При большом количестве предложений их полный перебор сопряжен с необходимостью рассмотрения слишком большого количества альтернатив, поэтому также актуальной в данном контексте является задача сужения области поиска. Одним из вариантов ее решения является организация программных агентов и информационных ресурсов в «группы по интересам» с помощью технологий самоорганизующихся пиринговых систем.

В данной работе представлено описание распределенной мультиагентной системы информационной поддержки инноваций и отдельных механизмов ее функционирования, в частности – метода генерализации инновационных бизнес-предложений на основе концептуальных моделей предметной области (КМПО).

Архитектура и логика функционирования системы

В отличие от существующих систем информационной поддержки инноваций, разработанная мультиагентная система имеет открытую децентрализованную архитектуру, показанную на Рис. 1, которая обеспечивает асинхронный характер взаимодействия и коммуникации агентов, представляющий возможность их работы в условиях разнородных и ненадежных коммуникаций, что весьма актуально для систем регионального масштаба [7].

Система представляет собой множество взаимосвязанных программных компонентов, реализующих функции разнотипных агентов, представляющих интересы субъектов инновационных процессов, общесистемных сервисов, таких, как сервис онтологий, сертификатов, а также специализированных системных служб,

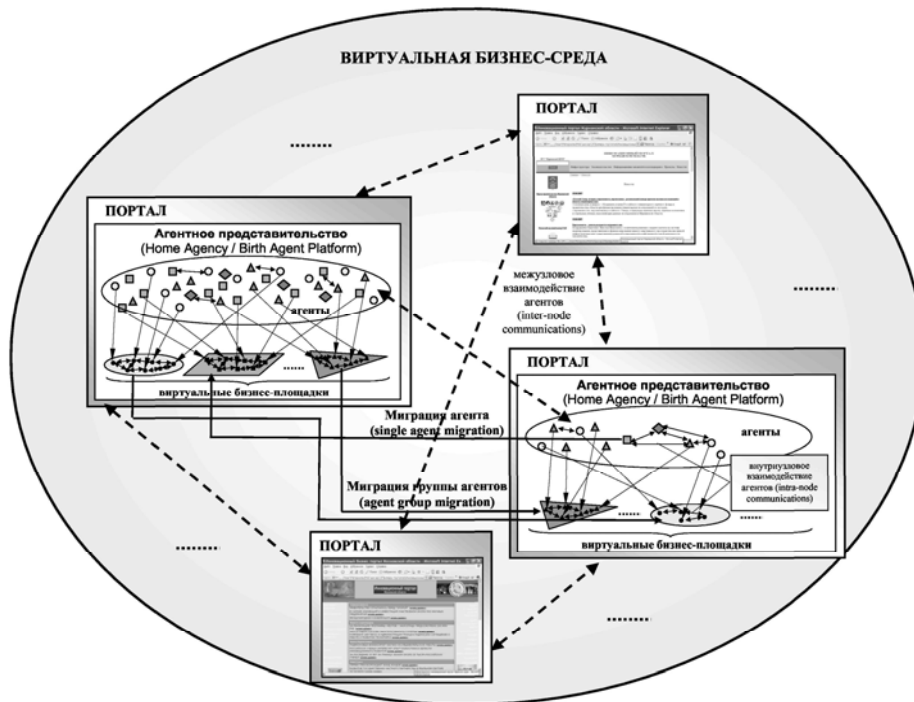


Рис. 1. Архитектура открытой мультиагентной системы информационной поддержки инноваций

обеспечивающих интеграцию в систему различных информационных ресурсов инноваций. Содержащаяся в системе информация, являющаяся объектом оперирования со стороны программных агентов, представлена, прежде всего, формализованными описаниями инновационных предложений, а также дополнительной справочной информацией, используемой в ходе проработки и реализации инновационных проектов. С помощью этой информации агент, по заказу своего хозяина, осуществляет поиск бизнес-партнеров по реализации инновационных проектов, формирование и предварительную оценку потенциально эффективных инновационных структур, объединяющих исследователей, разработчиков, менеджеров, инвесторов и других субъектов инноваций, задействованных в реализации проекта.

Важной особенностью рассматриваемой информационной системы является ее открытость для свободного подключения и отключения новых агентов, а также способность функционирования в условиях большого количества входящих в систему узлов. Такая свобода и масштабируемость обеспечивается заложенными в систему механизмами равноправного (пирингового)

взаимодействия узлов и функциональных компонентов. С точки зрения существующих разновидностей пиринговых архитектур, рассматриваемую систему можно отнести к гибридным одноранговым системам, где основная доля коммуникаций между узлами (агентами) происходит по принципу «равный к равному», но в то же время используются некоторые централизованные общесистемные службы. К полностью децентрализованным механизмам, используемым в системе, относятся ведение адресных баз агентов, а также определение уровня репутации агентов для расчета оценки надежности потенциальных инновационных структур и регулирования доступа к ресурсам.

С точки зрения общей логики работы рассматриваемая программная система имеет мультиагентную реализацию. Каждый субъект инновационной деятельности представлен в системе одним или несколькими программными агентами, которые представляют бизнес-предложения своих владельцев в виртуальной бизнес-среде и тип которых соответствует бизнес-роли субъекта – исследователь, инвестор, инноватор и т.д. В функционировании системы можно выделить три основные фазы – создание

и предварительное группирование агентов, представляющих бизнес-предложения, автоматическое формирование виртуальных бизнес-площадок (самоорганизация агентов), создание и оценка потенциально эффективных бизнес-структур, ориентированных на реализацию инновационной идеи (Рис.2).

Логика работы системы во многом воспроизводит идеи, заложенные в концепцию Semantic Web. 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 в виртуальной среде. Таким образом, от субъекта инноваций потребуется лишь завести себе узел в распределенной виртуальной бизнес-среде, подключиться к одному из известных ему Интернет-порталов по инновационной тематике, на котором установлена разработанная система, зарегистрировать себя и свои бизнес-предложения, настроить необходимые опции своего агента и ожидать результатов его деятельности – всю работу по поиску партнеров в виртуальной бизнес-среде, предварительному анализу, оценке потенциальной эффективности и формированию инновационных структур выполняет агент. Информация о созданных агентах регистрируется на сервере имен агентов.

На стороне портала сгенерированные агенты с максимально близкими целями объединяются в группы по областям интересов, информация о которых регистрируется в специальном реестре – «доске объявлений». На основе механизма генерализации бизнес-предложений, предполагающего преобразование детализированных бизнес-предложений в генерализованные и конкретизацию целей агентов и их отображение на древовидные КМПО, в пределах портала осуществляется локальное формирование бизнес-площадок, объединяющих агентов с близкими интересами и целями, и генерация агента-координатора для каждой площадки. Анализ информации, представленной на «доске объявлений», позволяет оценить нагрузку на узлах системы и определить интенсивности между-

гентных и межгрупповых коммуникаций на междуузловом и внутриузловом уровнях. Это, в свою очередь, позволяет выделить загруженные и незагруженные узлы в системе, а также осуществить динамическое перераспределение агентов и групп агентов между узлами системы, т.е. перемещение агентов или групп агентов с заданными характеристиками с сильно загруженных узлов на менее загруженные узлы системы, содержащие близкие по интересам бизнес-площадки с потенциальными агентами «совместной деятельности».

Организацией переговоров между агентами внутри группы управляют агенты-координаторы на каждой созданной виртуальной бизнес-площадке соответственно. Информация о вновь сформированных бизнес-площадках регистрируется на «доске объявлений». В рамках созданных бизнес-площадок на основе межагентного взаимодействия осуществляется подбор подходящих бизнес-партнеров и формирование инновационных структур.

В процессе работы системы агент взаимодействует с конечным пользователем, предоставляя на рассмотрение результаты своей работы или запрашивая уточняющую информацию о заявленных пользователем инновационных предложениях в случае изменения структуры или атрибутов инновационного поля или недостаточности информации о бизнес-предложении. При этом пользователь может выбрать вариант взаимодействия: интерактивно в стиле «вопрос-ответ» или в автоматическом режиме.

Описанная мультиагентная система реализует виртуальную бизнес-среду развития инноваций (ВБС), в рамках которой реальные бизнес-процессы, связанные с зарождением, развитием и реализацией инновационных идей, отображаются на соответствующие информационные процессы поиска и обработки информации.

Концептуальная модель виртуальной бизнес-среды

Формализованное описание структуры виртуальной бизнес-среды, необходимое для разработки и анализа алгоритмов функционирования ее компонентов, представлено в виде концептуальной модели (КМ ВБС) [8]. КМ ВБС объединяет в себе несколько компонентов:



Рис.2. Основные этапы функционирования распределенной мультиагентной системы информационной поддержки инноваций

- 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-ориенти-

рованные инновационные структуры – BS (множества взаимосвязанных объектов, задействованных в реализации конкретного бизнес-плана: инвесторы, производители, ученые и т.д.), $BP = \{BI, BPL\}$ – бизнес-предложения, которые включают описание бизнес-плана инновационного проекта (инвестиционная составляющая бизнес-предложения) – BPL и описание бизнес-идеи проекта – BI , P – множество бизнес-процессов, в которых участвуют субъекты инноваций, U – множество узлов, на которых функционируют агенты субъектов инноваций. Инновационные предложения, фигурирующие в системе, разделены на два класса – генерализованные бизнес-предложения и детализированные бизнес-предложения. 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 инновационных структур в виртуальной бизнес-среде создаются программные агенты, представляющие интересы естественных участников инновационных процессов. Для обеспечения анализа и прогнозирования капиталовложений в инновации концептуальная модель содержит описания характеристик инновационных предложений (бизнес-идей) и бизнес-планов субъектов инноваций.

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

$$E_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}} = \{S, A, BP, P, U, I, Atr\},$$

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:

$$I = \{SA, SBS, SBP, BPA, UA, BSBP, H\},$$

где $SA \subseteq S \times A := \{(s_i, a_j) | s_i \in S, a_j \in A\}$ – отношение соответствия каждому субъекту инноваций программного агента в виртуальной бизнес-среде;

$SBS \subseteq S \times BS := \{(s_i, bs_h) | s_i \in S, bs_h \in BS\}$ – отношение принадлежности субъекта к инновационной структуре;

$SBP \subseteq S \times BP := \{(s_i, bp_g) | s_i \in S, bp_g \in BP\}$ – отношение принадлежности бизнес-предложения субъекту инноваций;

$BPA \subseteq BP \times A := \{(bp_i, a_j) | bp_i \in BP, a_j \in A\}$ – отношение соответствия агенту бизнес-предложения, которое он представляет от имени своего хозяина в виртуальной бизнес-среде;

$UA \subseteq U \times A := \{(u_i, a_d) | u_i \in U, a_d \in A\}$ – отношение принадлежности агента к конкретному узлу системы, на котором он функционирует;

$BSBP^{gen} \subseteq BS \times BP^{gen} := \{(bs_i, bp_d^{gen}) | bs_i \in BS, bp_d^{gen} \in BP^{gen}\}$ – отношение соответствия генерализованного бизнес-предложения инновационной структуре;

H – отношение иерархии объектов, отражающее их организационные взаимоотношения:

$$H = \bigcup_{\alpha=1}^{N_i-1} H^\alpha, \hat{I}^\alpha \subseteq S_{\alpha-1} \times \hat{A}'(S_\alpha),$$

где S_α – множество объектов на уровне α , $\hat{A}'(S_\alpha)$ – разбиение множества S_α .

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

$$S = \{G^S, RL^S, ACT^S, PD^S, BP, A\},$$

где G^S – дерево целей субъекта инновационной деятельности, которые он преследует; RL^S – множество ролей субъекта инноваций, которые он может исполнять для достижения соответствующих целей (инвестор, производитель, исследователь и т.д.); ACT^S – множество действий, которые позволяют достичь поставленных целей; PD^S – множество параметров, описывающих персональные данные о субъекте бизнес-процесса (имя, контактная информация, и т.п.); BP – множество бизнес-предложений

субъекта инноваций; A - множество агентов, представляющих интересы субъекта инноваций в виртуальной бизнес-среде.

Бизнес-процессы P 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:

$$A = \{S, BP, ORG^A, C\},$$

где S - множество субъектов инноваций, интересы которых представляют агенты; BP - множество бизнес-предложений 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.

Организационная структура агента формально описывается в виде:

$$ORG^A = \{G^A, RL^A, ACT^A, STR^A\},$$

где G^A - дерево целей агента, которые он должен достичь для решения поставленной перед ним задачи; RL^A - множество ролей агента, в которых он должен выступать для достижения соответствующих целей; ACT^A - множество действий агента; STR^A - множество стратегий поведения агента в направлении достижения соответствующих целей, причем $G^A \equiv G^S$, $RL^A \equiv RL^S$, $CP^A \equiv CP^S$, $ACT^A \equiv ACT^S$ и $STR^A \equiv STR^S$.

В терминах КМ бизнес-структуры $BS = \{A, BP^{GEN}\}$ представляют собой связанные фрагменты, включающие объекты модели, удовлетворяющие определенным условиям. Эти группы (коалиции) агентов объединяются одной общей целью или целями для реализации соответствующих бизнес-предложений. Для бизнес-структуры задаются множество входящих в нее агентов - A , множество генерализо-

ванных бизнес-предложений BP^{GEN} , объединяющих агентов в инновационные структуры. Бизнес-структуры формируются на основе анализа отношений между компонентами КМ, выполняющей функцию онтологии инновационной деятельности. Каркас инновационной структуры схематично представлен на Рис. 3.

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; $Re g_i$ - 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:

$$GP_i = \langle Pr Nam_i, v_i^{Pr}, SrVip_i, s_i^{rl=Z}, RL^S, BsTyp_i, MonSrc_i \rangle,$$

$$IP_i = \langle ChPD_i, ID_i, VND_i, SrOk_i, v1_i^{inc}, v2_i^{inv}, A_i^{Ob}, I_i^A, Pr_i^{Zd}, TZ_i^{Prod}, Pr_{sr_i}^{zsd}, K_i^{rab}, Pr OB_i, nal, St^\alpha \rangle,$$

$$RP_i = \langle res_i, Pr Re s_i \rangle,$$

где $Pr Nam_i$ - 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

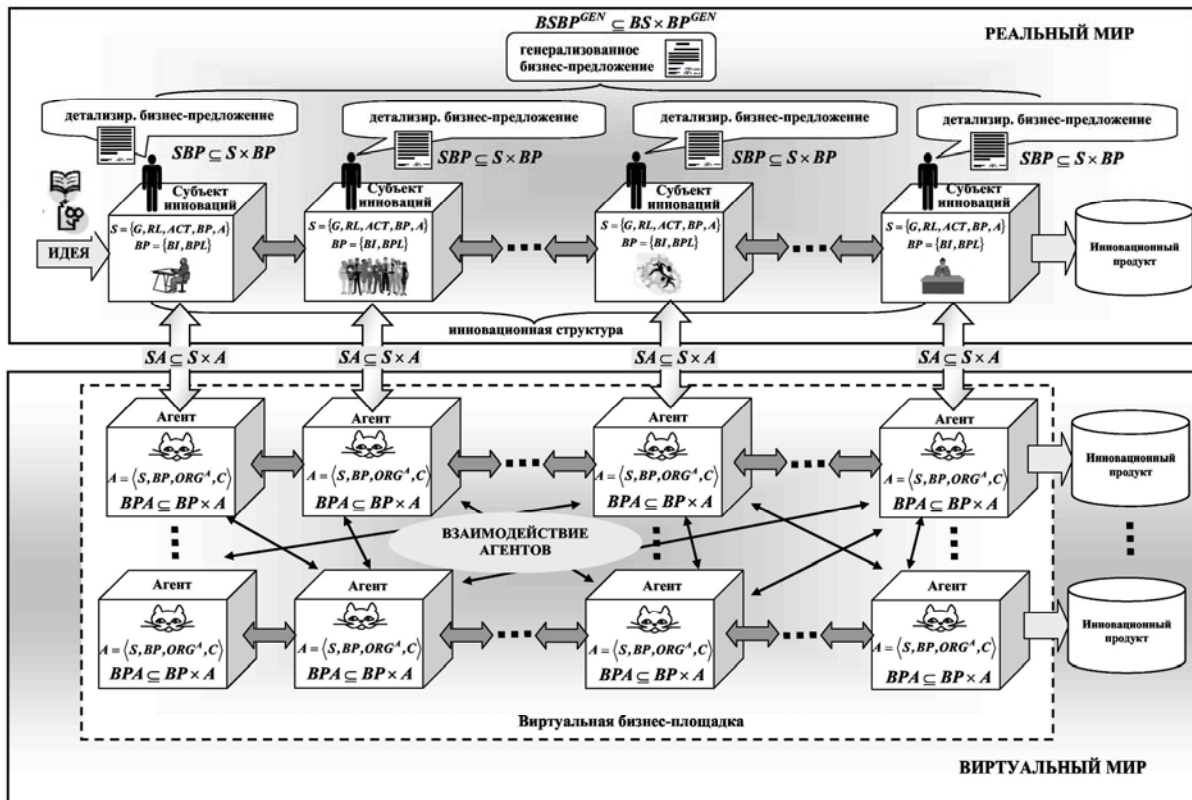


Рис. 3. Каркас инновационной структуры

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; I^A - норма амортизации; Pr^{Zd} - балансовая стоимость здания; TZ^{Prod} - текущие затраты на 1 у.е. реализованной продукции; $Pr_{Sr_i}^{zd}$ - 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, 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.

Генерализация бизнес-предложений на базе древовидных КМПО

Конечной целью функционирования представленной в данной работе распределенной информационной системы является формирование на основе формализованных описаний инновационных бизнес-предложений потенциально эффективных структур участников инноваций, ориентированных на реализацию той

или иной новой бизнес-идеи и обеспечивающих ее необходимыми ресурсами.

Если оставить за пределами внимания внутреннюю структуру инновационного предложения (в соответствии с КМВБС), то в упрощенном виде его можно представить как множество пар <бизнес роль; система ограничений на параметры реализующего роль объекта>. Таким образом, построение инновационной структуры сводится к поиску среди распределенного пула информационных элементов некоторого подмножества с удовлетворяющими заданным требованиям параметрам. Для того, чтобы такой поиск был успешным, необходимо обеспечить доступность как можно большего количества элементов с удовлетворительными параметрами. Этого можно достичь простым увеличением объема пула доступных информационных элементов, либо ослаблением требований к точности соответствия, то есть некоторым «загрублением», смягчением требований к элементам формируемой структуры. Такое смягчение дает увеличение количества рассматриваемых альтернатив и делает систему работоспособной даже при малом числе зарегистрированных бизнес-предложений.

Для ослабления требований к условиям поиска обычно используются известные методы оперирования информацией в условиях неопределенности, основанные, например, на нечетких или грубых множествах [9, 10]. Однако в существующих подходах к организации поиска в условиях неопределенности чаще всего ослабляются лишь границы в пространстве значений поисковых признаков. При этом семантика самих признаков остается вне поля зрения. В данной работе для расширения области значений параметра, расцениваемой в качестве допустимой, предлагается использование явной генерализации требований путем обобщения понятий, соответствующих поисковым критериям, с помощью древовидных концептуальных моделей предметной области. То есть, ослабление условий поиска осуществляется в семантическом пространстве критериев.

Загрубление требований посредством генерализации в большей степени соответствует естественному для человека способу совершения действий – прежде чем подыскивать подходя-

щий по некоторым параметрам объект, осуществляется поиск «над-объекта», объединяющего близкие по характеристикам объекты. Например, вместо поиска интересующей человека книги во всех подряд магазинах, сначала осуществляется поиск магазина соответствующего профиля.

Рассмотрим формальное описание процедуры генерализации.

Пусть имеется множество объектов бизнес-предложений или бизнес-ролей (объектов поиска) $U = \{u_1, \dots, u_K\}$, каждый из которых ассоциирован с одной или несколькими вершинами древовидной КМПО. Обозначим множество вершин КМПО (фактически выполняющей роль онтологии) через $O = \{o_1, \dots, o_N\}$, а отношение ассоциации зададим функциональным отображением:

$$a : U \rightarrow O.$$

Определим на множестве вершин КМПО функции, задающие вершину-предка и уровень расположения вершины в дереве, соответственно:

$$p : O \rightarrow O,$$

$$d : O \rightarrow N^+.$$

Определим также множество, задающее цепочку вершин КМПО от корня до вершины, ассоциированной с объектом u :

$$P(u) = \{o^n, o^{n-1}, \dots, o^0\},$$

где верхний индекс означает номер уровня иерархии вершины и $o^{k-1} = p(o^k)$, $k = 1, \dots, n$, $o^n = a(u)$, o^0 - корень дерева.

Для некоторого подмножества объектов $U' \subseteq U$ степень их близости друг к другу, в смысле используемой КМПО, можно определить следующим образом:

$$q(U') = \left| \bigcap_{u'_i \in U'} P(u'_i) \right|.$$

Тогда вершиной КМПО, соответствующей генерализованному предложению, будет элемент множества $P(u')$ с номером $q(U') - 1$, где u' – любой элемент множества U' .

Мера близости элементов множества U' в смысле КМПО, а также их количество используются при принятии решения о генерализации вхо-

дящих в него бизнес предложений. Оптимальное решение должно удовлетворять условиям:

$$|U'| \rightarrow \max,$$

$$q(U') \rightarrow \max.$$

Данные условия являются взаимно противоречивыми. Практическим подходом для получения решения является вынос одного из критериев область ограничений. Это может быть сделано путем задания минимального количества генерализуемых предложений или минимального уровня их близости в смысле КМПО.

Следует отметить, что предлагаемый метод может использоваться для гибкого варьирования степени точности определений не только в семантическом пространстве критериев, но и в пространстве значений параметров. Для этого в концептуальную модель должно быть включено иерархическое определение области значений параметра, представляющее на каждом уровне иерархии разбиение вышележащего подмножества значений параметра. Например: *число* \rightarrow (отрицательное, положительное) \rightarrow (более 103, от 103 до 102, менее 102).

Генерализации могут подвергаться как отдельно взятые инновационные предложения, так и их группы. В первом случае это делается для ослабления условий поиска с целью увеличения количества возможных альтернатив, удовлетворяющих критерию. Во втором случае результатом генерализации является формирование инновационного предложения обобщающего по своему содержанию несколько других, близких по смыслу. Технически генерализация нескольких инновационных предложений заключается в создании нового предложения, «покрывающего» исходные, и генерации для этого предложения программного агента, представляющего интересы группы агентов, соответствующих исходным инновационным предложениям. При этом вновь созданный агент сохраняет в собственных структурах данных ссылки на агентов, представляющих детализированные предложения, что позволяет, при необходимости, ретранслировать запросы с целью получения более подробной информации о предложении.

Кроме ослабления критериев поиска, механизм генерализации позволяет уменьшить сете-

вой трафик и нагрузку на узлы системы за счет уменьшения количества коммуникаций между агентами системы и объемов обрабатываемой ими информации. Это достигается путем использования в пределах формируемых бизнес-площадок агентов-посредников, оперирующих генерализованными бизнес-предложениями, полученными на основе детализированных бизнес-предложений агентов субъектов инноваций, функционирующих в рамках одной бизнес-площадки и имеющих сходные цели и интересы.

Агентные механизмы формирования виртуальных бизнес-площадок

Для того чтобы преобразовать межузловое взаимодействие во взаимодействие на одном общем узле, агенты системы могут быть распределены по узлам сети в зависимости от их характера взаимодействия. Так как характер взаимодействия агентов может меняться непрерывно, распределение агентов по узлам сети должно быть динамическим. При этом, когда агенты автоматически распределяются на множестве узлов компьютерной сети лишь в зависимости от характера своего взаимодействия, некоторые узлы сети могут быть перегружены многочисленными мигрировавшими на них агентами. Поэтому предлагаемый механизм динамического распределения агентов по месту их взаимодействия должен быть дополнен еще одним механизмом распределения агентов, поддерживающим возможность равномерного распределения нагрузки между узлами сети.

Для организации динамического распределения агентов на каждой агентной платформе системы должны функционировать следующие компоненты:

- *менеджер сообщений* (Message Manager), координирующий процесс обмена сообщениями между агентами системы;
- *системный монитор* (System Monitor), периодически проверяющий нагрузку на текущем узле компьютерной сети;
- *менеджер распределения агентов* (Agent Allocation Manager), ответственный за динамическое распределение агентов и анализ моделей поведения и характера взаимодействия агентов;

- *менеджер миграции агентов* (Agent Migration Manager), перемещающий агенты на другие платформы (узлы) и управляющий миграцией агентов между узлами сети.

Механизм локализации межагентных взаимодействий состоит из четырех фаз: фазы мониторинга, фазы распределения агентов, фазы взаимодействия (переговоров) и фазы миграции агентов.

1. **Фаза мониторинга.** Менеджер распределения агентов (МРА) на каждом узле оценивает интенсивность коммуникаций агентов с помощью системного монитора и менеджера сообщений. МРА также использует информацию как об агенте-отправителе каждого сообщения, так и об узле агента-получателя. МРА периодически вычисляет коммуникационные зависимости $C_{ij}(t)$ в момент времени t между агентом i и агентами j -го узла по формуле:

$$C_{ij}(t) = \alpha \left(\frac{M_{ij}(t)}{\sum_k M_{ik}(t)} \right) + (1 - \alpha) C_{ij}(t-1),$$

где $M_{ij}(t)$ - число сообщений, отправленных агентом i агентам j -го узла за период времени t , а α - коэффициент, характеризующий относительную значимость новой информации по отношению к устаревшей и использующийся для игнорирования временного интенсивного взаимодействия с агентами на определенной агентной платформе.

2. **Фаза распределения агентов.** После определенного числа повторений стадии мониторинга МРА вычисляет коэффициент коммуникационной зависимости между текущим узлом агента n и всеми остальными узлами системы. Коэффициент коммуникационной зависимости R_{ij} между агентом i и агентами j -го узла определяется по формуле:

$$R_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_{in}}, j \neq n.$$

Когда максимальное значение коэффициента коммуникационной зависимости агента больше, предопределенного порога θ , МРА включает рассматриваемого агента в группу агентов, расположенную на удаленном узле системы:

$$k = \arg \max_j (R_{ij}) \wedge (R_{ik} > \theta) \rightarrow \alpha_i \in G_k,$$

где α_i представляет агента i , а G_k указывает на группу агентов k .

3. **Фаза взаимодействия.** Перед перемещением выделенной группы агентов с узла P_1 на принимающий узел P_2 , МРА узла P_1 взаимодействует с МРА узла P_2 . МРА узла P_2 проверяет текущее состояние памяти, загруженность центрального процессора и число агентов, размещенных на данном узле с помощью системного монитора. Если узел P_2 имеет достаточное количество свободных системных ресурсов для новых агентов, МРА узла P_2 разрешает перемещение группы агентов с узла P_1 на узел P_2 .

4. **Фаза миграции агентов.** После завершения операции отбора агентов для миграции и получения положительного отклика от принимающего узла, МРА отправляющего узла совместно с менеджером миграции агентов (ММА) инициирует перемещение выбранной группы агентов на принимающий узел.

Механизм локализации межагентных взаимодействий предполагает анализ динамических изменений в моделях взаимодействия агентов, но этот механизм может вызвать перегрузку некоторых из узлов системы из-за большого числа агентов, перемещаемых на эти узлы.

Когда узел перегружен, системный монитор обнаруживает это состояние и активирует процедуру перераспределения агентов, основанную на перемещении не отдельных агентов между узлами сети, а целых групп агентов, интенсивно взаимодействующих друг с другом.

Механизм распределения нагрузки между узлами системы состоит из пяти фаз: фазы мониторинга, фазы группирования агентов, фазы распределения групп агентов, фазы взаимодействия (переговоров) между агентами и фазы перемещения (миграции) агентов.

1. **Фаза мониторинга.** Системный монитор каждого узла периодически проверяет состояние агентной платформы, в рамках которой взаимодействуют агенты, находящиеся на данном узле. Он также собирает информацию о текущей загруженности процессора и свободной памяти посредством вызова специальных сис-

темных функций. Когда системный монитор определяет, что узел перегружен, он активирует процедуру распределения агентов по узлам системы. В качестве критерия перегрузки узла предлагается максимальное количество агентов, которые могут функционировать на данном узле. Когда МРА получает уведомление о перегрузке от системного монитора, он запускает процедуру мониторинга моделей локального взаимодействия агентов, чтобы разбить агентов на группы.

После предопределенного интервала времени МРА обновляет коммуникационные зависимости между агентами и группами агентов, функционирующими на одном и том же узле системы. Коммуникационная зависимость $C_{ij}(t)$ между i -ым агентом и j -ой группой агентов в момент времени t определяется по формуле:

$$C_{ij}(t) = \alpha \left(\frac{M_{ij}(t)}{\sum_k M_{ik}(t)} \right) + (1 - \alpha)C_{ij}(t-1),$$

где $M_{ij}(t)$ - число сообщений, отправленных i -ым агентом агентам j -ой группы агентов за период времени t , а α - коэффициент, характеризующий относительную значимость новой информации по отношению к устаревшей. В этом случае выражение $\sum_k M_{ik}(t)$ показывает количество сообщений, отправленных i -тым агентом любому из агентов i -го узла, и в точности соответствует M_{in} , где индекс n соответствует номеру текущего узла в сети.

2. Фаза группирования агентов. После выполнения определенного числа повторяющихся фаз мониторинга каждый i -ый агент переопределяется в группу локальных агентов, новый индекс j^* которой определяется по формуле:

$$j^* = \arg \max_j (\tilde{n}_{ij}(t)) \rightarrow \alpha_i \in A_{j^*},$$

где A_{j^*} указывает на j^* -ую группу локальных агентов.

Фазы мониторинга и группирования агентов повторяются несколько раз. После каждой фазы группирования агентов информация о локаль-

ных коммуникационных зависимостях между агентами обнуляется.

3. Фаза распределения групп агентов. После выполнения определенного числа повторяющихся фаз мониторинга и группирования агентов МРА в зависимости от состояния агентной платформы принимает решение переместить группу агентов на другой узел системы. Выбор перемещаемой группы агентов осуществляется на основе коммуникационных зависимостей между группами агентов и узлами системы. Коммуникационная зависимость D_{ij} между i -ой группой агентов и j -ым узлом системы определяется на основе суммирования коммуникационных зависимостей между всеми членами группы агентов и узлом системы:

$$D_{ij}(t) = \sum_{k \in A_i} C_{kj}(t),$$

где A_i - набор индексов всех агентов, принадлежащих i -ой группе агентов, а $C_{kj}(t)$ - коммуникационная зависимость между k -ым агентом и j -ым узлом в момент времени t . Группа агентов i^* , которая имеет наименьшую зависимость на текущем узле, выбирается по следующему правилу:

$$i^* = \arg \max_i \left(\frac{\sum_{j, j \neq n} D_{ij}}{D_{in}} \right),$$

где n - это номер текущего узла (агентной платформы).

Принимающая j^* -ая агентная платформа выбранной i -той группы агентов определяется на основе коммуникационной зависимости между i -ой группой агентов и j^* -ым узлом системы следующим образом:

$$j^* = \arg \max_j (D_{ij}), j \neq n,$$

где n - это номер текущего узла.

4. Фаза взаимодействия (переговор) между агентами. Когда в сети определен принимающий узел группы агентов, МРА отправляющего узла начинает взаимодействовать с соответствующим МРА принимающего узла. Если принимающий МРА разрешает переме-

щение группы агентов, МРА отправляющего узла запускает фазу миграции агентов. В противном случае МРА отправляющего узла опрашивает МРА других узлов системы до тех пор, пока не найдет подходящего узла для перемещения запланированной группы агентов. Если ни один узел не может принять группу агентов, фаза взаимодействия завершается неудачей, а через определенный период времени механизм распределения агентов на отправляющем узле перезапускается и процесс повторяется вновь.

5. Фаза миграции агентов. Когда МРА отправляющего узла получает ответ с разрешением на перемещение группы агентов от МРА принимающего узла, МРА отправляющего узла инициирует миграцию выбранной группы локальных агентов на принимающий узел.

Для решения проблем, связанных с определением местоположения динамически распределенных мобильных агентов, перемещающихся между узлами сети с течением времени, а также с потерей информации и временными задержками при передаче сообщений, в разработанной системе используются общеизвестные механизмы информационного обмена между мобильными агентами [10-12]: FMP (forwarding-based message passing - механизм переадресации сообщений), FLAMP (forwarding and location address-based message passing - механизм переадресации и определения адреса местонахождения агента), FLCMP (forwarding and location cache-based message passing - механизм переадресации и локального кэширования для определения местонахождения агента), ALMP (agent locating-based message passing - механизм локализованного обмена сообщениями между агентами), ALLCMP (agent locating and location cache-based message passing - механизм локализации и локального кэширования для организации обмена сообщениями между агентами). Данные механизмы предполагают расширение адресной структуры агента информацией о его текущем месторасположении в сети и локальном кэшировании этой информации на узлах системы, что позволяет передавать сообщения напрямую от агента-отправителя к агенту-получателю.

Заключение

Информационная поддержка инновационного развития является сложной многокомпонентной задачей. Проблема информационной поддержки не ограничивается лишь предоставлением удобного доступа к информационным ресурсам, необходимым на различных этапах жизненного цикла инновации. С ростом объемов доступной информации, развитием эффективных технологий доступа к ней (в том числе – дистанционного), значительной проблемой становится не собственно обеспечение доступа к информационным ресурсам, но оперирование большими объемами разнородных данных с целью выборки и обработки адекватной текущей бизнес-задаче информации. Применительно к задаче информационной поддержки инноваций подобная обработка заключается, в первую очередь, в поиске бизнес-партнеров по реализации инновационного проекта, формированию потенциально эффективных инновационных структур.

В данной работе рассмотрена архитектура распределенной мультиагентной системы информационной поддержки инноваций, решающей подобные задачи и обеспечивающей эффективную обработку больших объемов информации за счет использования механизмов генерализации бизнес-предложений и преобразования межузловых коммуникаций во внутриузловые.

Литература

1. Емельянов С.В., Попков Ю.С., Олейник А.Г., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления // М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 400 с.
2. Маслобоев А.В. Мультиагентная технология информационной поддержки инновационной деятельности в регионе: Мат. докл. VII Всерос. школы-семинара «Прикладные проблемы управления макросистемами» (Апатиты, 31 марта – 4 апреля 2008 г.).- Апатиты: изд-во КНЦ РАН, 2008.- С. 42-43.
3. Сухорослов О.В. Принципы самоорганизации в пиринговых системах// Прикладные проблемы управления макросистемами. Т.8. М.: Эдиториал УРСС, 2004. С.141-174.
4. Aberer K., Hauswirth M. Peer-to-peer information systems: concepts and models, state-of-the-art, and future systems. <http://lsirpeople.epfl.ch/hauswirth/papers/ICDE2002-Tutorial.pdf>
5. Шишаев М.Г. Архитектура и технологии региональной распределенной системы информационной поддержки

- инноваций // Прикладные проблемы управления макро-системами. Т.28. М.: КомКнига УРСС, 2006. С. 250-263.
6. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. - М.: УРСС, 2002. - 348 с.ь
 7. Маслобоев, А.В., Шишаев М.Г. Мультиагентная система интеграции распределенных информационных ресурсов инноваций / А.В. Маслобоев, М.Г. Шишаев // Программные продукты и системы.– 2007. – №4(92) – С. 30-32.
 8. 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.
 9. Z. Pawlak, J. Grzymala-Busse, R. Slowinski, W. Ziarko. Rough Sets, Communications on the ACM 38 _11. _1995. P.89–95
 10. Zadeh L.A. Fuzzy sets. — Information and Control, 1965, vol.8, N 3,pp.338-353
 11. Маслобоев А.В., Датьев И.О. Технология информационно-аналитической поддержки управления развитием региональных бизнес-сообществ / А.В. Маслобоев, И.О. Датьев // Информационные технологии моделирования и управления: Изд-во «Научная книга». – 2008. – №1(44) – С. 17-24.
 12. Маслобоев А.В., Путилов В.А. Проблематика информационной поддержки региональных инновационных структур / А.В. Маслобоев, В.А. Путилов // Инновации.– 2007. – №6(104) – С. 73-76.
 13. 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.

Шишаев Максим Геннадьевич. Старший научный сотрудник, заведующий лабораторией Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Окончил Санкт-Петербургский государственный технический университет в 1993 году. Кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем Кольского филиала Петрозаводского государственного университета, член общества IEEE. Автор более 100 печатных научных работ. Область научных интересов: региональная информатизация, технологии построения и модели распределенных информационных систем, методы логического проектирования информационных систем, методы и технологии управления в IP-сетях, методы построения интегрированных научно-образовательных информационных систем, прикладные проблемы информационной безопасности, технологии построения распределенных геоинформационных систем. E-mail: shishaev@iimm.kolasc.net.ru.

Маслобоев Андрей Владимирович. Научный сотрудник Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН. Окончил Петрозаводский государственный университет в 2006 году. кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики Кольского филиала Петрозаводского государственного университета. Автор более 80 печатных научных работ. Область научных интересов: моделирование информационных процессов в региональных информационно-вычислительных системах, методы проектирования распределенных информационных систем, моделирование и автоматизация бизнес-процессов, искусственный интеллект, в частности, технология многоагентных систем, агентно-ориентированное моделирование, системы распределенных вычислений на базе GRID-технологий, интеллектуальные системы планирования в задачах управления образованием и региональным инновационным развитием. E-mail: masloboev@iimm.kolasc.net.ru.