

УДК 681.3

П. О. Скобелев

(Самара)

**ОТКРЫТЫЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ  
В ПРОЦЕССАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Рассмотрена задача построения открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений (ОМАС ППР) по управлению предприятиями, способных приобретать дополнительные ресурсы из среды или отказываться от этих ресурсов непосредственно в ходе работы. Предложена концепция сети потребностей и возможностей (ПВ-сети) предприятия и рассмотрены методы взаимодействия агентов в предлагаемых сетях. Представлены инструментальные программные средства для создания ОМАС ППР в объектно-ориентированных средах программирования Object Pascal и C++. Показано применение разработанных методов и средств для решения задач управления экспериментальным производством автомобилей.

**Введение.** Открытый характер современного информационного пространства и глобальной рыночной экономики приводит к ускорению научно-технического прогресса и обострению конкуренции на рынках, что заставляет предприятия переходить от массового к индивидуальному производству для более качественного, разнообразного и эффективного удовлетворения индивидуальных запросов потребителей.

Для достижения этой цели предприятия, в свою очередь, вынуждены строиться как *открытые системы*, постоянно развиваться и адаптироваться к изменению условий на рынке, обеспечивая расширение и обновление номенклатуры продукции, внедрение новых технологий, переобучение персонала, снижение расходов и т. д. Открытость производственной системы при этом предполагает, что любые ее ресурсы (финансовые, производственные, кадровые и т. д.) могут пополняться извне или, наоборот, сокращаться вследствие изменения внутренних или внешних условий [1].

В данной работе показано, что ключевым процессом в этих условиях становится своевременная *идентификация* новых потребностей и возможностей на рынке, заставляющая предприятие изменять или реконфигурировать свои ресурсы. Такая идентификация, по сути, один из важнейших факторов развития предприятия, призвана разрешить наиболее типовые проблемные ситуации, возникающие в рассматриваемых открытых производственных системах, активно взаимодействующих с внешней средой:

– появление нового выгодного заказа, для исполнения которого недостаточно собственных ресурсов предприятия (помещений, исполнителей и т. д.) и требуется кооперация партнеров;

– отзыв ранее запланированных или уже принятых в производство заказов и отказ от установленного партнерства или сокращение собственных ресурсов предприятия в связи с изменением ситуации;

– появление на рынке новых ресурсов, обладающих большей эффективностью (новая технология, квалифицированный исполнитель и т. п.), что вызывает перераспределение имеющихся ресурсов или отказ от части малоэффективных;

– исчезновение или выход из строя части имеющихся ресурсов (нарушение графика поставки, поломка станка, болезнь исполнителя и т.п.), вынуждающие искать срочную замену внутри предприятия или во внешней среде;

– изменение целей или критериев функционирования предприятия, требующее, например, переключения со стратегии максимизации дохода на максимизацию прибыли, и т. д.

Сложность решения такого рода задач состоит в том, что появление или исчезновение заказа (ресурса) в открытой системе, как правило, влечет за собой цепочку различных перестановок других ресурсов, которые могут быть связаны как с реконfigurацией внутренних резервов, так и привлечением новых ресурсов из среды. Например, появление нового квалифицированного исполнителя для некоторого проекта может вызвать освобождение исполнителя, ранее выполнявшего эту работу, который, в свою очередь, может быть переведен на другой проект.

Для того чтобы правильно идентифицировать и в полной мере использовать непрерывно открывающиеся на рынке новые потребности и возможности, предприятиям приходится реформировать принципы своей организации, переходя от централизованного к распределенному управлению, от иерархической структуры к сетевой, от командно-административного воздействия к обоюдовыгодному взаимодействию, договорным условиям и партнерским отношениям, от формально-бюрократических методов принятия решений к принятию решений на основе знаний, от регламентированных коммуникаций к свободному поиску партнеров в сети Интернет, от постоянных цен к переменным и т. п.

Таким образом, для рассматриваемых предприятий, характеризующихся как сетевые организации (построенные как открытые системы), все большее значение приобретает проблема *динамического взаимодействия* их подразделений или отдельных исполнителей для гибкой и эффективной реорганизации внутренних ресурсов предприятия, обеспечивающей оперативную реакцию на изменения потребностей и возможностей как во внешней среде, так и внутри самого предприятия [2]. В отличие от традиционных замкнутых систем, в которых все ресурсы остаются неизменными в ходе решения задач, для решения этой проблемы в открытых системах, способных изменять внутренние связи и перестраиваться «на ходу», требуется вести непрерывный мониторинг ситуации на рынке, своевременно обнаруживать соответствие между потребностями одного ресурса и возможностями другого (матчинг), осуществлять переговоры по принципам «равный с равным» и «каждый с каждым» для удовлетворения всех участников взаимодействия и при этом не допускать несогласованности, связанной с улучшением положения одних участников взаимодействия за счет ухудшения положения других,

оперативно принимать решения по пересмотру связей и перераспределению ресурсов и т. д.

Вместе с тем решение рассматриваемой проблемы осложняется рядом дополнительных трудностей, обусловленных априорной неопределенностью знаний об изменении спроса и предложения, открытым характером взаимодействия предприятий со средой, что допускает появление новых потребностей или возможностей непосредственно в ходе взаимодействия, и высокой динамикой изменений на рынке. В результате, если говорить о промышленности, целый ряд программных систем по управлению ресурсами предприятия (Enterprise Resource Planning), например, систем управления цепочками поставок (Supply Chain Management), разработанных такими известными компаниями, как SAP, BAAN, Navision и другими, на практике оказались крайне сложными и малоэффективными. Так, по данным агентства Standish Group («Эксперт», Июнь 2001) в 1995 году в среднем 31 % проектов по управлению не принесли никаких результатов, 52 % проектов по управлению стоили в среднем 189 % от их стоимости и только 9 % проектов были завершены в срок.

Для преодоления этих трудностей и поддержки процессов принятия решений, обеспечивающих более гибкую и быструю реакцию на незапланированные события, ряд компаний, таких, как iLog и Valdero, приступили к разработке нового класса так называемых систем SCEM (Supply Chain Event Management), но и эти системы в рассматриваемых условиях не обеспечивают требуемые характеристики, оказываются крайне жесткими в работе, трудоемкими в настройке и адаптации, дорогостоящими для широкого применения и не позволяют реализовать индивидуальный подход к решению проблем каждого конкретного потребителя.

В этих условиях становится актуальной задача создания программных средств, которые обеспечивали бы своевременную идентификацию потребностей и возможностей на рынке и поддержку процессов согласованного принятия решений по реконfigurированию ресурсов предприятий, что, в свою очередь, сделало бы производство более интеллектуальным, гибким и мобильным в достижении поставленных целей и удовлетворении индивидуальных запросов потребителей.

**Мультиагентные сети потребностей и возможностей.** Новый подход к решению рассматриваемой задачи связывается с применением *мультиагентных технологий*, получивших интенсивное развитие в последнее десятилетие на стыке методов искусственного интеллекта, объектно-ориентированного программирования, параллельных вычислений и телекоммуникаций [3].

Данные технологии базируются на понятии «агента» – программного объекта, способного воспринимать ситуацию, принимать решения и взаимодействовать с себе подобными. Эти особенности радикально отличают мультиагентные системы (МАС) от существующих «жестко» организованных систем, обеспечивая им такое принципиально важное новое свойство, как способность к самоорганизации. При этом отдельные объекты программы получают возможность договариваться о том, как должна решаться задача, приобретают собственную активность и могут инициировать диалог с пользователем в заранее не предписанные моменты времени, работать в условиях неопределенности и т. д. Рассмотренные возможности становятся особенно важными при создании агентов, действующих от имени и по поручению лиц,

принимающих решения, способных в автоматическом режиме вести переговоры друг с другом и находить компромиссные решения.

В данной работе в качестве основы создания открытых МАС для поддержки процессов принятия решений (ОМАС ППР) при управлении предприятиями предлагается модель сети потребностей и возможностей (ПВ-сеть). Эта модель базируется на холистическом подходе, в рамках которого предприятие декомпозируется до уровня сети отдельных автономных «физических сущностей» (станки, транспортные средства, детали, материалы и т. д.), способных взаимодействовать и координировать свои действия [4]. При этом в качестве основных элементов предприятия выделяются «холоны» – «целостные» элементы, способные одновременно быть как полностью автономными, так и элементами сетей других холонов (от лат. *hol* – целое и *on* – часть, т. е. холон – элемент, обладающий одновременно свойствами и целого, и части), среди которых обычно выделяют холоны заказов и ресурсов, холоны готовых изделий, штабной холон и некоторые другие. Несмотря на то что первоначально холонические системы были связаны в основном только с задачами автоматизации гибкого производства [5], общие принципы построения организаций как сетей взаимодействующих бизнес-единиц оказываются весьма актуальными для управления любыми современными предприятиями.

В данном подходе предлагается организовать холистическую сеть предприятия на основе агентов потребностей и возможностей отдельных ресурсов, связанных специальными отношениями «создания», «возможного соответствия», «бронирования» и т. д. При этом агенты возможностей стремятся быть максимально использованными, а потребности стремятся максимально удовлетворить своим требованиям в пределах заданных ограничений, т. е. эти две сущности ведут себя как две противоположности. Несколько заказов могут бороться за один и тот же ресурс или, наоборот, несколько ресурсов могут бороться за один заказ, переходя при необходимости от конкуренции к кооперации и наоборот. В условиях открытой системы и те и другие должны быть постоянно активными, реагируя на любые изменения в среде, а текущая конфигурация ПВ-сети отражает лишь временный баланс интересов всех участников этого взаимодействия.

В качестве простейших отношений, связывающих рассматриваемых агентов, выделяются структурные отношения  $R1$  (потребность « $a$ » порождается возможностью « $b$ ») и  $R2$  (потребность « $a$ » есть часть потребности « $b$ »), отношения возможного соответствия между возможностями и потребностями, или отношение матчинга,  $R3$  (потребность « $a$ » может соответствовать возможности « $b$ »), отношение связи  $R4$  (потребность « $a$ » связана с возможностью « $b$ ») и некоторые другие. В зависимости от сложности модели ПВ-сети спектр отношений может меняться и расширяться. Например, если каждый из агентов элементов ПВ-сети имеет собственное расписание, требуется поддержка временных отношений типа «интервал  $X$  входит в интервал  $Y$ », «интервал  $X$  следует за интервалом  $Y$ » и т. д.

Для принятия решений агентам необходимы правила, определяющие возможность достижения поставленных целей. В частности, агент возможности должен узнать о наличии той или иной потребности и сопоставить свои параметры с параметрами этой потребности. Если параметры удовлетворяют некоторому условию, называемому в дальнейшем условием матчинга, агент возможности может вступить в переговоры с агентом потребности, иначе должен искать другую потребность (и наоборот). Окончательное ре-

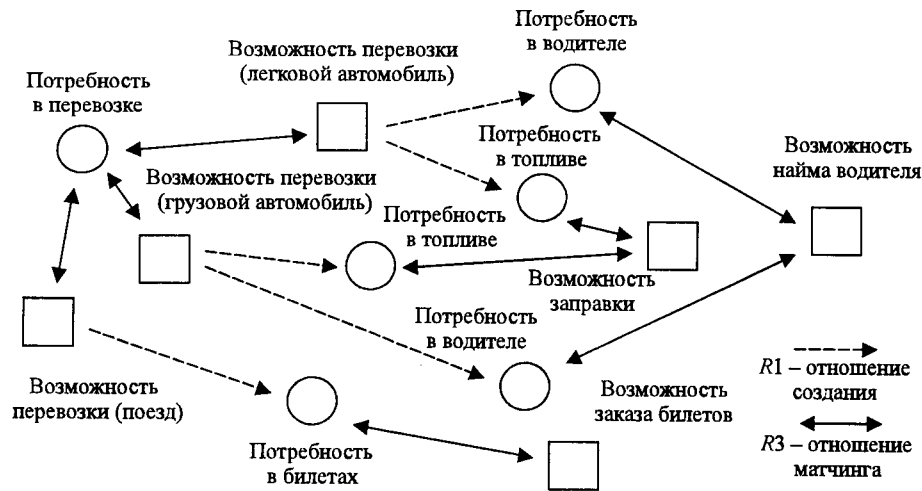


Рис. 1. Структура фрагмента порождающей ПВ-сети для задачи логистики

шение каждым из агентов при наличии нескольких альтернативных вариантов принимается на основе целей, устанавливаемых каждому из них индивидуально.

Более формально назовем порождающей ПВ-сетью множество

$$D = \{A, R, P, G\},$$

где  $A$  – множество агентов потребностей и возможностей для заданной предметной области;  $R$  – множество возможных отношений между агентами потребностей и возможностей;  $P$  – множество правил установления соответствия, принятия решений и установления–разрыва связей;  $G$  – множество целей, заданных агентам.

Реализацией ПВ-сети  $S(D, t)$  будем называть означенную конкретную ее конфигурацию (сцену), отражающую состояние агентов потребностей и возможностей открытой системы и отношения между ними в заданный момент времени  $t$ . Таким образом, в ходе планирования и моделирования одного шага система переходит из состояния  $S1$  в состояние  $S2$  с помощью правил  $P$  и на основе целей  $G$  (например, минимизации цены или ускорения сроков и т. д.).

Пример порождающей ПВ-сети, описывающей фрагмент некоторой логистической сети транспортных перевозок, приведен на рис. 1. Здесь выделены агенты потребности в перевозке, агенты возможностей транспортных средств (легковой и грузовой автомобили, поезд), агенты потребностей в топливе, водителе (общие для автомобиля) и билетах (для поезда), агенты возможностей транспорта и человека, а также показаны два отношения: создание потребности и матчинга потребностей и возможностей.

На рис. 2 представлен пример реализации данной сети для случая, когда имеются три перевозчика, две заправочные станции и три водителя транспортных средств. Из рисунка видно, что в настоящий момент агент потребности в перевозке обнаружил пять возможностей для перевозки (грузовой и легковой автомобили и поезд), но при этом только два автомобиля успешно осуществили матчинг, т. е. соответствуют, например, цене и сроку доставки и

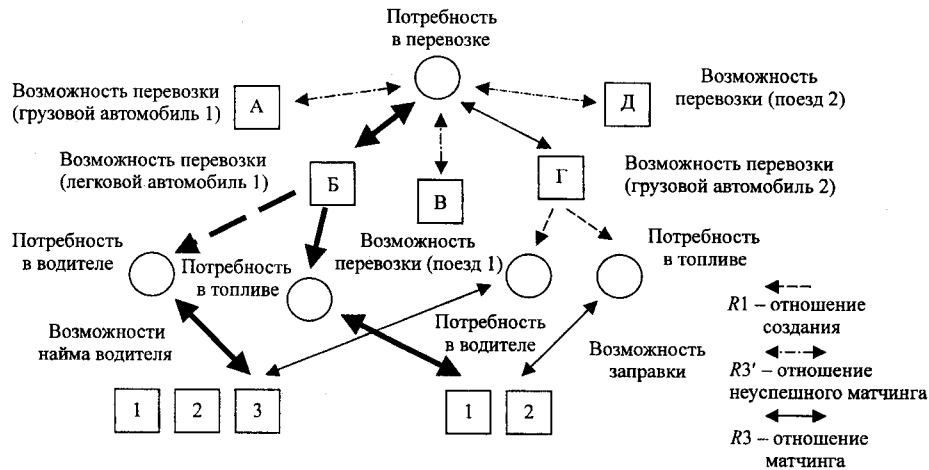


Рис. 2. Структура фрагмента реализации ПВ-сети для задачи логистики

конкурируют за исходный заказ на перевозку. При этом легковой автомобиль 1 (вариант Б) по своим критериям «находит» водителя 3 и топливо 1, а грузовой автомобиль 2 (вариант Г) – также водителя 3, но другое топливо 2. Потребность в перевозке в соответствии со своим критерием в результате выбирает вариант Б (итоговый вариант выделен жирной линией), который, возможно, оказался дешевле и/или обеспечивает доставку в кратчайший срок. В свою очередь, появление нового заказа с новыми потребностями или нового ресурса с новыми возможностями могло изменить конфигурацию настоящей сети.

При этом МАС, базирующиеся на ПВ-сетях, организуются в форме виртуального рынка, когда агенты могут применять различные механизмы микроэкономики и «виртуальные деньги» как всеобщий эквивалент для оценки трудоемкости установления и разрыва связей в ПВ-сети. Виртуальные деньги фактически становятся выражением меры «энергии», которой обладает агент для пересмотра связей. Предлагаемый подход, таким образом, исходит из экономических интересов агентов, которые в процессе принятия решений стремятся повысить уровень своего «благополучия»: на каждом шаге переговоров агент отслеживает и старается приумножить величину дохода (прибыли), заключив ту или иную сделку. При этом реализуется принцип возрастания системных ресурсов, поскольку система является открытой и в нее постоянно приходят новые заказы с дополнительными финансовыми средствами, а покидают ее исполненные заказы, оставившие свои финансы «внутри» системы, или неэффективные ресурсы. Сдерживающим фактором «эгоизма» агента является условие, что в ходе его деятельности должны учитываться некоторые «общественные» интересы, например, объем общей прибыли предприятия должен расти. Выбранные модели микроэкономики взаимодействия агентов, связывающие общественные и частные интересы, могут меняться и включать при этом «клубную» модель (деньги за вход), модель контрактных отношений (оплата по договоренности), модель акционерного общества (участие в общей прибыли сообщества) и т. д.

Таким образом, предлагаемые агенты возможностей и потребностей обладают собственной специфической функциональностью и должны уметь

осуществлять постоянный матчнинг с другими агентами, находить альтернативные варианты и принимать решения, динамически устанавливать и разрывать связи, планировать расписания своего использования, применять различные модели микроэкономики, осуществлять денежные расчеты и т. д. При этом важно обеспечить возможность управлять активностью агентов, задавая одно- или двустороннюю активность, уметь поддерживать составные заказы (когда один заказ требует исполнения нескольких подзаказов) и разделяемые ресурсы (когда один ресурс может работать на несколько заказов), иметь способы сокращения числа переговоров, обрабатывать ситуации неожиданного появления новых или потери существовавших агентов и т. д.

**Модели взаимодействия агентов в ПВ-сетях.** Важнейшей особенностью мультиагентной технологии является возможность проведения переговоров агентов, на основе которых может строиться их согласованное взаимодействие.

Наиболее известными примерами моделей переговоров являются аукционные схемы (прямые и обратные), договорные сети Смита – Сандхольма, метод монотонных минимальных уступок по Розеншайну и Злоткину и некоторые другие [3]. В то же время появляется все больше работ, посвященных моделям коллективного взаимодействия агентов, когда коллективу агентов требуется найти решение некоторой общей задачи. Эта область исследований считается сейчас одной из наиболее «горячих» в разработке МАС, в частности, таким образом решаются задачи формирования коалиций и распределения задач между партнерами по коалиции, планирования и координации работ в группе и т. д. [6].

В данном подходе рассматривается новая постановка задачи взаимодействия агентов, когда из-за непредсказуемых событий, связанных с появлением или исчезновением заказов или ресурсов, агенты потребностей и возможностей должны пересмотреть существующие связи так, чтобы ситуация в целом по возможности улучшилась или, по крайней мере, не ухудшилась. Такая постановка задачи для ПВ-сети наиболее актуальна именно для открытых систем, работающих в условиях неопределенности и высокой динамики, когда состав участников взаимодействия, а также правила и параметры их работы могут меняться непосредственно в ходе взаимодействия. Ключевым фактором при этом становится способность агентов не только динамически принимать решения, но и согласованно пересматривать уже принятые решения в соответствии с изменениями ситуации в среде.

При решении этой задачи предложены следующие модели мультиагентного взаимодействия для построения ПВ-сетей (более подробно рассмотрены в [7–9]):

1. *Расширенная аукционная модель.* Данная модель (являющаяся расширением аукционной модели [3]) состоит в том, что агенты потребностей и возможностей, инициируемые событиями на рынке, связанными с приходом нового заказа или отзывом существующего, появлением нового ресурса или его исчезновением, а также любым другим изменением хотя бы у одного из участников взаимодействия, собирают новый аукцион агентов в ПВ-сети и получают новые предложения. Если аукцион инициирован новым агентом возможности, то для установления связи выбирается тот агент потребности, который предложил наилучшие условия. И наоборот, если аукцион инициирован агентом потребности, ищется агент возможности, предлагающий наилучшие условия.

Здесь и далее множество  $G$  целей, задаваемых различным агентам для поиска соответствия и принятия решений, определяется: как минимум ( $\min$ ) или максимум ( $\max$ ) некоторой переменной (множества переменных); по приоритетному способу, когда явным образом устанавливается приоритет каждой цели и цель, имеющая второй приоритет, вводится в рассмотрение только в случае, если есть два одинаковых решения на первом уровне; по балансному методу, когда минимум или максимум находится для суммы произведений целевых параметров на нормированные весовые коэффициенты важности цели:

$$G = \min \left( \sum_i K_i G_i \right) \quad \text{либо} \quad G = \max \left( \sum_i K_i G_i \right),$$

где  $G$  – значение целевой функции;  $K_i$  – нормирующий весовой коэффициент, заданный для каждой подцели в интервале  $[0, 1]$ ;  $G_i$  – значение функции подцели, заданной для некоторой переменной.

С помощью этих соотношений в одной и той же логистической сцене одному из агентов заказа можно задать в качестве цели поиск предложений минимальной цены на перевозку, другому – поиск максимальной скорости доставки, третьему – поиск баланса цены и скорости и т. д.

2. *Метод компенсаций*. Развитие первой модели под названием «метод компенсаций» позволяет более согласованно принимать решения о разрыве связей. В этом методе структура взаимодействия агентов в ПВ-сети не только выстраивается специально под каждый новый заказ, но и потом пересматривается и реконструируется под другие заказы. Этот способ базируется на сквозном динамическом распределении прибыли между взаимодействующими агентами. Суть метода, первоначально применявшегося для решения задач автомобильной логистики, состоит в том, что приходящий новый заказ не может «перебить» существующие заказы и напрямую использовать уже забронированные другими заказами ресурсы или изделия (даже менее выгодными для предприятия), но может «договориться» с ними, предлагая компенсацию из собственной прибыли. В результате прибыль заказов постоянно перераспределяется с учетом меняющейся ситуации, достигается более глубокая кооперация, более эффективное и гибкое использование всех ресурсов предприятия. Кроме того, если система не может разрешить ситуацию, допускается выход на клиентов со «встречным предложением» пересмотреть условия заказа и, например, разрешить отложить срок поставки в обмен на дополнительную скидку по цене товара.

3. *Виртуальный «круглый стол»*. Более сложная мультиагентная модель взаимодействия, предназначенная для согласованного коллективного принятия решений, призвана моделировать процесс достижения договоренностей людей за «круглым столом». При этом каждый из участников, обладающий своей точкой зрения на предмет, «по кругу» делает свое предложение по заданному предмету, исходя из своих критериев и ограничений, но способен изменять и пересматривать это решение, возвращаться на несколько шагов назад в случае, если он выходит за рамки общих ограничений. Такая модель виртуального круглого стола позволяет решать задачи согласованного удовлетворения нескольких потребностей на основе многих возможностей, что может быть использовано, в частности, для поддержки процессов принятия решений при взаимодействии нескольких департаментов предприятия в ре-



шении сложных общих задач, например, конструкторов, технологов, дизайнеров и экономистов при проектировании новых автомобилей.

4. *Модель со взаимным обучением агентов.* Наиболее сложной среди используемых является модель взаимного обучения агентов, превращающая самих агентов в открытые системы. В этой модели в мультиагентном сообществе могут динамически появляться агенты, которые заранее не были известны другим агентам. Для того чтобы начать взаимодействовать между собой, эти агенты должны «представиться» другим агентам и объяснить им, какие действия и при каких условиях могут выполнять, что требует передачи фрагмента знаний от одного агента к другому и его распространения в ПВ-сети. Такое взаимодействие может позволить строить системы эволюционным путем, автономно определяя новые компоненты и заставляя их самостоятельно договариваться с существующими компонентами «на ходу», без какого-либо останова и перезапуска системы. Это открывает путь к внедрению механизмов эволюции в рассматриваемые системы, что обеспечивает согласованное развитие системы вместе с развитием самого предприятия.

Заметим, что рассматриваемые модели позволяют создавать живучие и надежные системы, поскольку потеря любой части открытой системы (например, финансового, материального или другого ресурса) тут же активизирует внутренние процессы взаимодействия агентов потребностей и возможностей, направленные на замещение утраченной возможности (и точно так же система ведет себя при появлении новых возможностей, стремясь к замещению своих компонент более эффективными).

**Инструментальные средства для создания ОМАС ППР.** Известные в настоящее время МАС ориентированы преимущественно на применение в области электронной коммерции и поиск в сети Интернет. Они не имеют возможностей представления и использования корпоративных знаний о возможностях и потребностях, не располагают развитыми средствами поддержки процессов согласования и принятия решений, не имеют соответствующих инструментальных систем, сложны в разработке и отладке (как любая система параллельного программирования, основанная на знаниях), не достаточно эффективны, не обеспечивают большое число агентов и высокую скорость работы приложений и т. д.

В этой связи компанией Маджента для создания ОМАС ППР, базирующихся на концепции ПВ-сетей и разработанных методах взаимодействия агентов, реализованы инструментальные средства [10], обеспечивающие построение мультиагентных систем в двух распространенных средах объектно-ориентированного программирования: Object Pascal и C++. Важной особенностью рассматриваемых систем является наличие развитых средств конструирования онтологий предметной области, позволяющих отделить предметные знания от программного кода системы и обеспечить возможность агентам применять и пополнять эти знания в ходе работы.

При этом инструментальная среда MagentA Engine RC, реализованная на базе Object Pascal, ориентирована на моделирование процессов принятия решений в локальных сетях предприятий и организаций и характеризуется наличием развитого графического интерфейса. Эта система обеспечивает возможность построения до 500 тысяч простых агентов на персональном компьютере стандартной конфигурации, способных взаимодействовать со скоростью 40 тысяч сообщений в секунду.

Инструментальная среда MagentA Engine SB, реализованная на базе C++, ориентирована на создание Интернет-приложений, предназначенных для поддержки процессов коллективного принятия решений в реальном времени. Исполняющая часть этой подсистемы является многопользовательской и обрабатывает до 10 одновременных запросов в секунду, обладает Web-интерфейсом, имеет средства для работы с базами данных и т. д.

Разработанные инструментальные среды помимо исполняющей подсистемы включают средства построения онтологий, а также при необходимости могут быть дополнены средствами для извлечения знаний, поддержки диалога с пользователем на естественном языке и интеграции корпоративных знаний. Причем каждая из этих систем, в свою очередь, построена как мультиагентная система. Разработанные системы обеспечивают возможности управления приложениями, защиты информации, интеграции с другими пакетами, включая СОМ-интерфейс, поддержку XML и т. д.

На основе созданных инструментальных систем разработана интегрированная открытая мультиагентная система поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями, основные виды деятельности которых реализуются в сети Интернет (ИОМАС ПППР «е-Предприятие»). Эта система включает модули управления продажей готовых изделий и заказами комплектующих (модуль «е-Коммерция»), логистикой поставок (модуль «е-Логистика»), проектами (персоналом) предприятия («е-Проекты») и некоторые другие.

Разработанные средства нашли применение при решении задач управления в логистической сети доставки крупнотоннажных грузов; моделировании логистики поставок и планировании экспериментального производства автомобилей; транспортировке сырой нефти и контейнерных перевозках; продаже товаров через Интернет, включая продажу бытовой электроники и продуктов питания, а также «горячих» авиационных билетов; формировании меню для *on-line* системы здорового питания; составлении железнодорожных расписаний и т. д. [10–12].

Рассмотрим более подробно пример применения разработанных методов и средств в области автомобильного производства.

**Пример приложений для автомобильного производства.** Возможность эффективного, гибкого и оперативного планирования современного экспериментального производства во многом определяет успех любого нового проекта автомобиля. С целью решения этой задачи для экспериментального производства АО «АвтоВАЗ» были разработаны действующие прототипы ОМАС ППР для моделирования решения задач логистики и согласованного принятия решений по формированию годового плана производства.

1. *Логистика экспериментального производства АО «АвтоВАЗ».* Данная система предназначена для решения задач логистики в экспериментальном производстве автомобилей, что предполагает обеспечение рассматриваемого производства нужными комплектующими изделиями и материалами. Они могут изготавливаться опытно-промышленным или основным производством автозавода, заказываться у сторонних поставщиков комплектующих или закупаться по импорту.

Каждой производственной службе, заказу на комплектующие, партии поставки, а при необходимости и каждой детали в ОМАС решения задач логистики ставится в соответствие программный агент. Формирование заказов на комплектующие и включение их в план поставок может осуществляться под управлением агента, специалиста отдела планирования или снабжения,

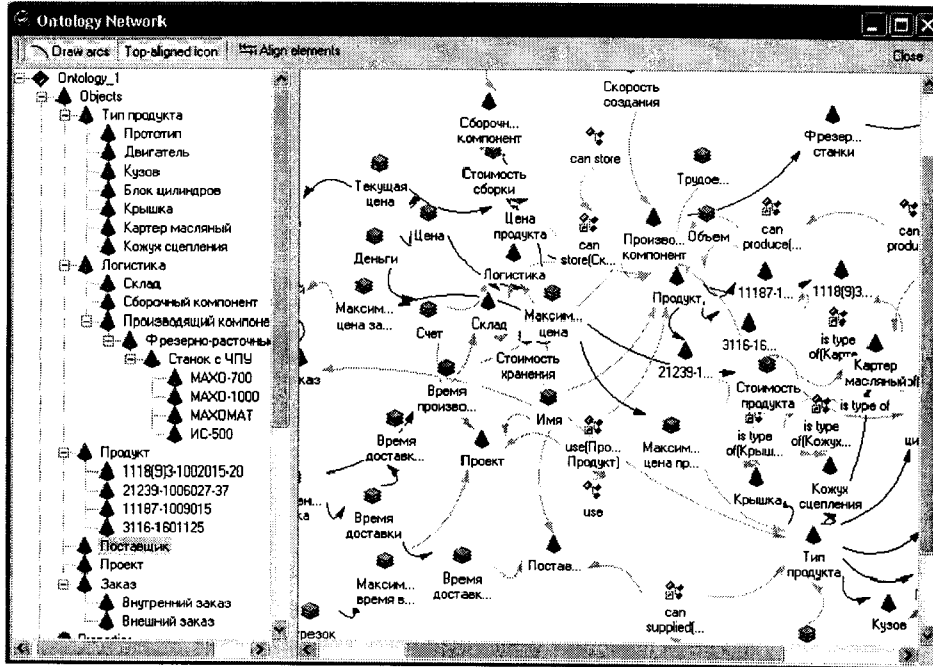


Рис. 3. Фрагмент онтологии производства автомобиля

который будет ориентироваться на заранее подготовленную информацию о производстве и поставках. В качестве заказчиков могут выступать агенты конкретных проектов прототипа, точнее, тех его компонент, которые и должны использовать заказываемые детали.

Для этого вся информация о структуре изделия, работе и взаимодействии отдельных служб закладывается в онтологию ОМАС ППР логистики. На рис. 3 показан пример упрощенной онтологии автомобиля и его производства, используемой при работе реализованного макета-прототипа системы.

В этой онтологии определены узлы и детали автомобиля, склады, производственные мощности и поставщики комплектующих изделий и материалов. В архитектуре виртуального мира потребностей и возможностей предприятия определены агенты потребностей и возможностей и указаны условия матчннга между узлами и производственными линиями, деталями автомобиля и станками, а также критерии эффективности действий каждого из этих агентов, которые может легко изменять не только проектировщик, но и пользователь данной системы (рис. 4).

Указанные агенты призваны непрерывно осуществлять мониторинг ситуации и реагировать на все изменения в среде. В ситуациях, когда сроки поставки оказываются под угрозой, агент любого пункта плана поставки может инициировать всех соисполнителей и поставщиков для выработки вариантов решений по своевременному выполнению поставки с минимальными потерями и предложить варианты своему пользователю.

На рис. 5 отражен пример работы ОМАС ППР логистики при перепланировании производства. На этом упрощенном примере автомобиль представлен всего шестью узлами, а само производство одним цехом с единственным складом и производственной линией. Поступление заказа на изготовление нового прототипа приводит к бронированию двух узлов, хранящихся на

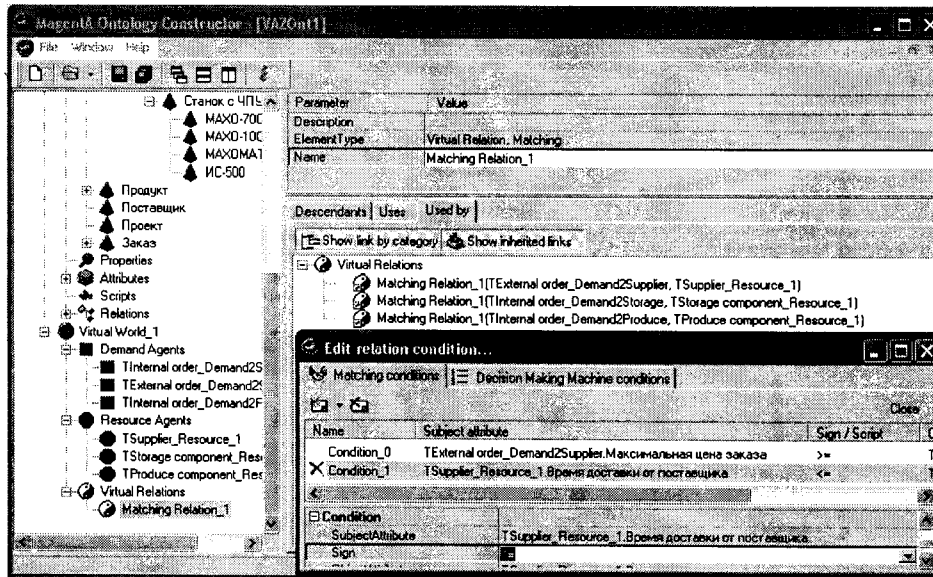


Рис. 4. Задание условий матчинга (идентификации) потребностей и возможностей для решения задач логистики экспериментального производства

складе, и доказу еще четырех недостающих элементов. При поступлении нового более срочного заказа на производство (его узлы имеют на рисунке более темное изображение) агент этого заказа просит агента ранее пришедшего заказа уступить детали, находящиеся на складе. Эти переговоры успешно завершаются, так как ранее пришедший заказ имеет более поздние сроки окончания работ и быстро обнаружит возможность своевременного изготовления всех своих узлов на производстве.

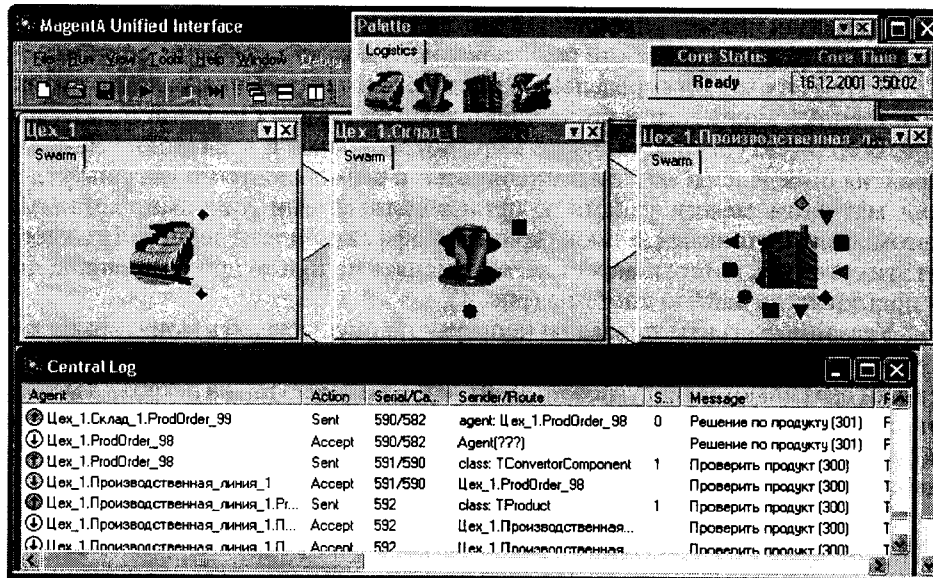


Рис. 5. Пример работы МАС для решения задач логистики при планировании производства прототипа автомобиля

На рис. 5 также представлен протокол переговоров, которые ведут между собой агенты заказов на производство прототипов, агенты деталей, склада, производственной линии при решении задачи оперативного изменения планов производства.

2. *Планирование производства прототипов автомобилей.* Данная система, реализуемая в сети Интернет, предназначена для поддержки процессов принятия решений при оперативном планировании производства экспериментальных образцов автомобилей или их отдельных узлов. Цель системы – повышение качества и эффективности принимаемых решений за счет повышения обоснованности и согласованности решений, сокращения сроков принятия решений, а также усиления контроля за их исполнением в условиях частых и заранее непредвиденных изменений в производственной среде. Причинами таких изменений могут быть поступление нового заказа или отмена заказа, уже принятого в производство, модификация конструкторских спецификаций автомобилей, задержка поступлений денежных средств, перебои с поставками комплектующих изделий или повышение цен на эти изделия, поломка имеющегося станка или ввод в эксплуатацию нового и т. д. Такие изменения требуют пересмотра планов работ соисполнителей (включая конструкторов и технологов, специалистов по снабжению, экономистов и дизайнеров) и нового согласования спецификаций на изделия, стоимости и сроков работ.

Для решения этой задачи в рассматриваемой системе была реализована архитектура виртуального круглого стола агентов, представляющая определенные структуры данных для сохранения вариантов и процедуры синхронизации действий агентов различных служб при обсуждении, согласовании и принятии решений. В рамках этой процедуры каждая из сторон может внести свои предложения и отзываться их, подстраиваясь под общие ограничения и находя ближайшую замену своим вариантам, возможно, проигрывая по отдельным собственным критериям, но добиваясь общего выигрыша по заданным обобщенным показателям системы. В данной архитектуре за круглым столом собираются агенты потребностей и возможностей различных служб, которые пытаются договориться между собой и удовлетворить заданные предпочтения и ограничения производства.

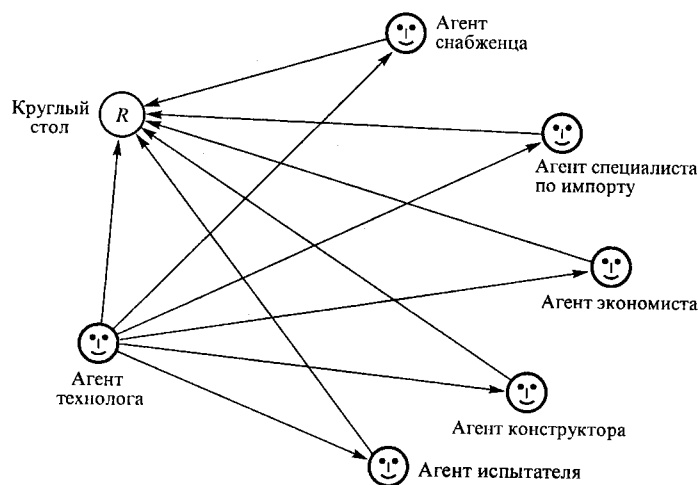


Рис. 6. Фрагмент онтологии виртуального «круглого стола»

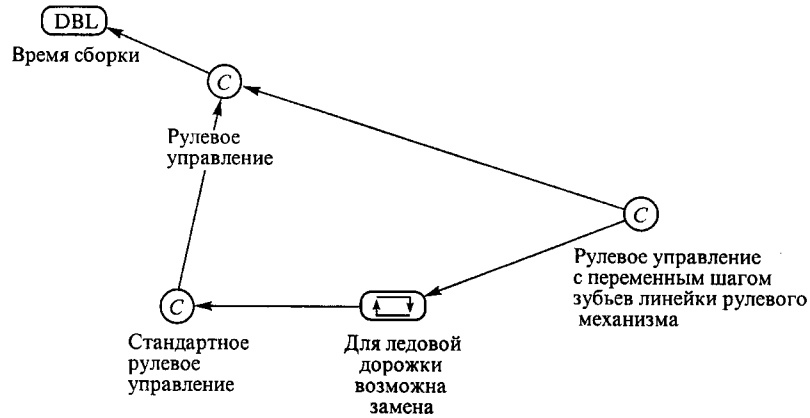


Рис. 7. Фрагмент онтологии различных вариантов рулевого управления

На рис. 6 показан фрагмент онтологии круглого стола, используемого в реализованном макете-прототипе, а на рис. 7 – фрагмент онтологии различных вариантов рулевого управления, которые фигурируют в рассматриваемом далее примере.

Предположим, что конструктор новой модели автомобиля заказал на испытания прототип, атрибуты которого показаны на рис. 8. После переговоров с остальными участниками круглого стола выявляются следующие варианты.

1. Заказ можно удовлетворить, но требуется запланировать внеочередную командировку специалиста по снабжению для организации поставки по импорту рулевого управления с переменным шагом зубьев рейки рулевого механизма, согласовав ее с экономистом (рис. 9).

Бланк заказа работ на сборку экспериментальной модели автомобиля	
Тема прототипа	55
Код прототипа	1
Тип испытаний	Ледовая дорожка
Приоритет прототипа	Приоритет 4
Кузов	Стандартный 8 кузов
Двигатель	Карбюраторный двигатель
Рулевое управление	РУ с переменным шагом зубьев линейки рулевого механизма
Обивка	Стандартная обивка
Желаемый срок начала сборки	10.12.2001
Желаемый срок сдачи	10.02.2002
ЗАПУСТИТЬ СИСТЕМУ	

Рис. 8. Атрибуты необходимого прототипа

Тема: 55	Код: 1	Приоритет: Высокий
Тип испытания:		Ледовая дорожка
Время поставки КД:		Время окончания тестирования:
10 December 2001		24 January 2002
Кузов:	Стандартный 8 кузов	
Двигатель:	Карбюраторный двигатель	
Рулевое управление:	Р.У. с переменным шагом зубьев линейки рулевого механизма	
По договору с:	Germany	
Внутренняя обивка:	Стандартная обивка	
Необходимо согласовать с Снабженцем по нестандартным деталям		
Необходимо согласовать с Финансистом		
СОГЛАСЕН		НЕ СОГЛАСЕН

Рис. 9. Вариант предложения с внеочередной командировкой

2. Снабженец выполняет поставку по ранее намеченному графику (у него запланирована командировка), поэтому в согласовании с ним нет необходимости, но сроки завершения испытаний будут сдвинуты, что потребует согласования с конструктором.

3. Используется стандартное рулевое управление – никаких согласований не нужно вообще.

Если конструктор согласится на первый вариант, то снабженцу по электронной почте уйдет письмо с просьбой подтвердить перенос командировки на более ранний срок (рис. 10).

Proposal from Constructor

From: MegantA System  
Date: 4 апреля 2002 г. 15:33  
To: Supplier  
Subject: Proposal from Constructor

**МЕТЦЕНС**  
мультиагентная система принятия решений

Конструктор попросил вас доставить Р.У. с переменным шагом зубьев линейки рулевого механизма к 11.01.2002.

Тема: 55	Код: 1	Приоритет: Высокий
Тип испытания:		Ледовая дорожка
Время поставки КД:		Время окончания тестирования:
10 December 2001		24 January 2002
Кузов:	Стандартный 8 кузов	
Двигатель:	Карбюраторный двигатель	
Рулевое управление:	Р.У. с переменным шагом зубьев линейки рулевого механизма	
По договору с:	Germany	
Внутренняя обивка:	Стандартная обивка	
СОГЛАСЕН		НЕ СОГЛАСЕН

© 2001 MegantA Corporation, Inc.

Рис. 10. Пример сообщения снабженцу от конструктора

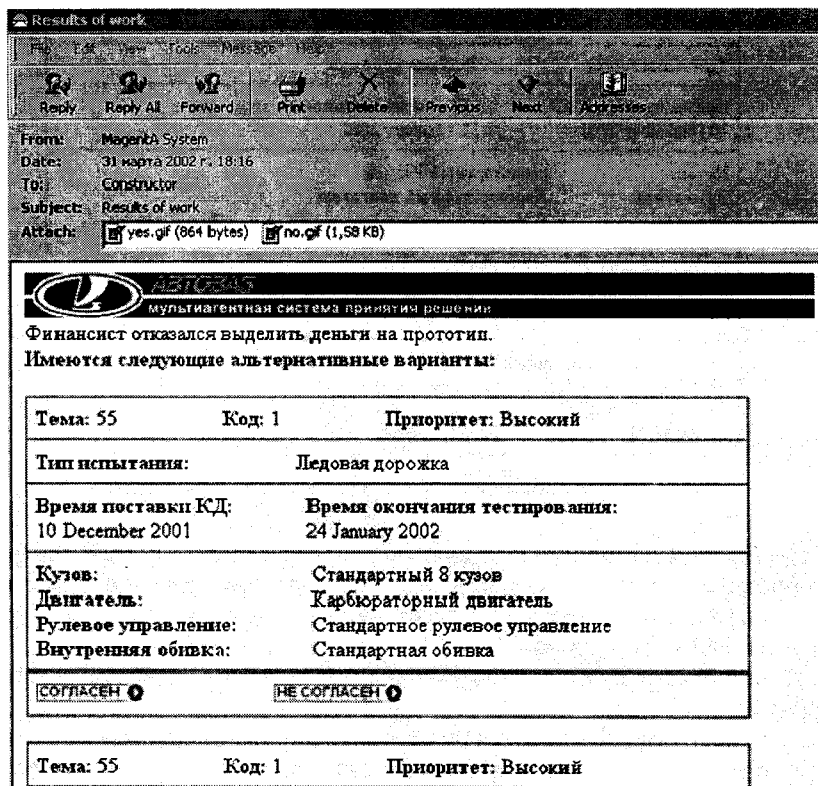


Рис. 11. Пример сообщения конструктору для начала нового раунда переговоров

При согласии снабженца аналогичное письмо пойдет экономисту с просьбой подтвердить требуемое увеличение финансирования. Если экономист не согласен, начинаются новые переговоры и конструктору будет послано письмо с альтернативными вариантами и объяснениями причины отказа (рис. 11).

Данный подход фактически полностью воспроизводит схему переговоров реальных специалистов предприятия. Но в этом случае в компьютерной сети предприятия будет постоянно функционировать виртуальный круглый стол агентов, реагирующий на каждое изменение в ситуации на производстве. Этот круглый стол будет отличаться от реального в основном тем, что сможет работать в автоматическом режиме 24 часа в сутки и 7 дней в неделю, а специалисты предприятия будут привлекаться лишь для формирования или изменения своих текущих предпочтений и принятия окончательных решений.

**Заключение.** Приведенные модели продемонстрировали высокую эффективность, гибкость и надежность рассматриваемых систем, а также возможность индивидуального подхода в работе с каждым пользователем.

За счет предоставления средств работы со знаниями и высокой технологичности разработок обеспечена возможность значительного сокращения сроков создания новых систем и снижения затрат на их разработку и поддержание.



Дальнейшее развитие данного подхода и его использование при решении широкого спектра задач, требующих коллективного и согласованного принятия решений, является перспективным.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Виттих В. А.** Управление открытыми системами на основе интеграции знаний // Автометрия. 1999. № 3. С. 38.
2. **Vittikh V. A., Skobelev P. O.** Developing of multi-agent system for the decision making process for companies with networking organization // Proc. of the XVI IMACS World Congress on Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulations, Lausanne, Switzerland, August 21–25, 2000. Lausanne: IMACS, 2000. P. 526.
3. **Городецкий В. И., Грушинский М. С., Хабалов А. В.** Многоагентные системы (обзор) // Новости искусственного интеллекта. 1998. № 2. С. 64.
4. **Skobelev P. O.** Holonic systems simulation // Proc. of the 2nd Intern. Conf. “Complex Systems: Control and Modeling Problems”, Samara, June 20–23, 2000. Самара: СНЦ РАН, 2000. P. 73.
5. **Brussel H. V., Wyns J., Valckenaers P. et al.** Reference architecture for holonic manufacturing systems: PROSA // Computers in Industry. 1998. N 37. P. 255.
6. **Marik V., Fletcher M., Pechoucek M.** Holons and agents: recent developments and mutual impacts: Lecture Notes in Computer Science (Lecture Notes in AI, Vol. 2322) // Multi-Agent Systems and Applications-2. Germany: Springer-Verlag, 2002. P. 234.
7. **Виттих В. А., Ржевский Г. А., Скобелев П. О.** Мультиагентные модели взаимодействия в процессах принятия решений // Тр. 4-ой Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования сложных систем, Самара, 17–24 июня 2002. Самара: СНЦ РАН, 2002.
8. **Андреев В., Батищев С., Ивкушкин К. и др.** Принципы построения открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // Там же.
9. **Скобелев П. О.** Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями // Известия Самарского научного центра РАН. Январь–июнь 2001. С. 71.
10. **Batishhev S. V., Ivkushkin C. V., Minakov I. A. et al.** MagentA Multi-agent systems: engines, ontologies and applications // Proc. of the 3rd Intern. Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2001, Ufa, Russia, 21–26 September, 2001. Ufa: State Aviation Technical University – Institute JurInfoR-MSU, 2001. Vol. 1. P. 73.
11. **Ивкушкин К. В., Минаков И. А., Ржевский Г. А., Скобелев П. О.** Мультиагентная система для решения задач логистики // Тр. 7-й Нац. конф. по искусственному интеллекту с междунар. участием ИИ-2000. Переславль-Залесский, Россия, 24–27 октября 2000. М.: Физматлит, 2000. Т. 2. С. 789.
12. **Батищев С. В., Виттих В. А., Ивкушкин К. В. и др.** Мультиагентные системы для управления опытно-экспериментальным производством АО «АвтоВАЗ» // Тр. 4-ой Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования сложных систем, Самара, 17–24 июня 2002. Самара: СНЦ РАН, 2002.

*Институт проблем управления сложными системами РАН,  
MagentA Corporation, Ltd (UK),  
E-mail: skobelev@magenta-corp.com*

*Поступила в редакцию  
27 августа 2002 г.*