

ПРИМЕНЕНИЕ КОАЛИЦИЙ В МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМАХ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А.С. Зраенко

Институт машиноведения УрО РАН
Россия, 620078, Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34
E-mail: zraenko@yandex.ru

Ключевые слова: агент, мультиагентная система, система мультиагентного моделирования, процесс преобразования ресурсов, коалиция

Аннотация: В настоящей работе описаны основные цели применения коалиций в мультиагентных системах на промышленных предприятиях. Дано понятие коалиции и определена область их применения в промышленности. Разработана математическая модель, описывающая коалиционное взаимодействие агентов. Поставлена практическая задача по разработке модели производства индивидуальных тепловых пунктов. Для решения данной задачи в системе мультиагентного моделирования создана модель предприятия, количественно показывающая эффективность применения коалиций

1. Введение

Данная работа посвящена вопросам применения коалиций в мультиагентных системах. В настоящее время мультиагентные системы могут использоваться в любой области человеческой деятельности. Возникающие в крупном промышленном производстве задачи часто касаются взаимодействия существующих на рынке различных предприятий, исследования процессов принятия решений по совместным выполнениям крупных заказов, реализации комплексных производственных проектов одной организацией. Эти задачи с точки зрения системного анализа являются слабо структурированными в связи с содержанием в них большого количества неопределенных параметров. Данные параметры возникают в первую очередь при принятии решений в процессе проектирования, распределении ресурсов и средств в производственных процессах, решении задач по контролю качества и т. д. В связи с этим будем считать актуальным применение мультиагентного моделирования в решении подобных задач, а также исследование методов наиболее эффективного планирования совместного выполнения работ различными агентами.

2. Коалиции агентов

В МАС отдельные агенты могут объединяться в сообщества – коалиции [1-5]. Коалиции сейчас являются большой теоретической темой в мультиагентных системах. Большой вклад в развитие теории коалиций внесли М.Ж. Wooldridge [1], М.В. Губко [2], Ж. Vidal [3], У. Shoham [4], К. Leyton-Brown [4], К. Binmore [5]. В рамках настоящей работы механизм создания коалиции применяется агентом в первую очередь для исполь-

зования ресурсов и средств другого агента по согласованному с ним плану (в определенные временные промежутки).

Под *активными объектами* в МАС будем понимать агентов и коалиций. Будем считать, что при управлении МППР, каждый активный объект имеет ряд *целей*, каждая из которых имеет свой *приоритет*. Под *доминирующей* (основной) целью будем понимать цель активного объекта с наибольшим приоритетом в данный момент времени. Тогда под *коалицией* будем понимать структуру, являющуюся временным объединением некоторого числа агентов в сообщество, основанное на сонаправленности их доминирующих целей. Вступление агента в такое сообщество связано с необходимостью достижения его доминирующей цели и поиском союзников в этом направлении. В рамках МАС каждый агент в конкретный момент времени может состоять только в одной коалиции. При объединении в коалицию ресурсы и средства агентов становятся общими. Модели формирования коалиций и распределения задач между партнерами по коалиции, а также модели планирования и координации работ позволяют описывать и исследовать процессы взаимодействия агентов в МАС.

Применение аппарата коалиций в промышленности наиболее эффективно, когда *одновременно* (например, в один день) на отдельное предприятие (либо подразделение) поступает большое количество заказов, состоящих из однотипных работ, *превосходящее или соразмерное* по объему со всеми имеющимися ресурсами и средствами предприятия (подразделения). В этом случае известные методы и модели (в частности, метод ПВ-сетей [6]) не дают гарантии, что произойдет выполнение всех заказов в срок. Коалиция обеспечивает возможность агентам договориться и составить совместный план действий по использованию общих ресурсов и средств для согласованного выполнения всех заказов в установленные сроки.

Приведем практический пример из области строительства (например), в котором применение аппарата коалиций дает значительный эффект. Менеджер проекта подразделения строительного предприятия договорился о заказе по изготовлению партии из 50 сложных изделий – вводится в эксплуатацию новый жилой район. У предприятия есть в совокупности 50 подразделений (соответственно, 50 менеджеров проектов и 50 пулов ресурсов и средств). После изготовления изделий заказчик предоставляет железнодорожный состав для вывоза готовой продукции. В связи с тем, что изделия сложные и объемные – сдать работы необходимо одновременно (возможности хранения изделий на предприятии нет). А значит, и запустить работы также надо одновременно. Для выполнения всего заказа ни у одного подразделения нет достаточных производственных мощностей. Рассмотрим решение задачи с помощью коалиций. Директор предприятия ставит всем менеджерам проектов доминирующую цель – выполнить данный заказ. 50 менеджеров проектов объединяются в коалицию (их цели сонаправлены). Далее они перераспределяют ресурсы и средства таким образом, чтобы иметь возможность в срок каждому выполнить производство одного изделия, согласовывают дату запуска изделий в производство и запускают работы. В итоге предприятие сдает 50 изделий одновременно и в требуемый срок.

Аналогичные примеры можно привести и в других областях. Например, в областях химического и биологического производства. В частности, при химических реакциях нет возможности отложить определенные реагенты «на склад» без потери их свойств, т.е. последовательное выполнение исполнителем заказа маленькими партиями невозможно. Если необходимо выполнить объем работ по заказам, необходимо всем исполнителям «договориться» о синхронном выполнении заказа. Только при синхронном выполнении заказа полученная большая партия быстроразлагающихся материалов (реагентов) поступит заказчику в срок для дальнейшей обработки. Это можно обеспечить путем создания коалиции, т.к. там существуют механизмы переговоров владель-

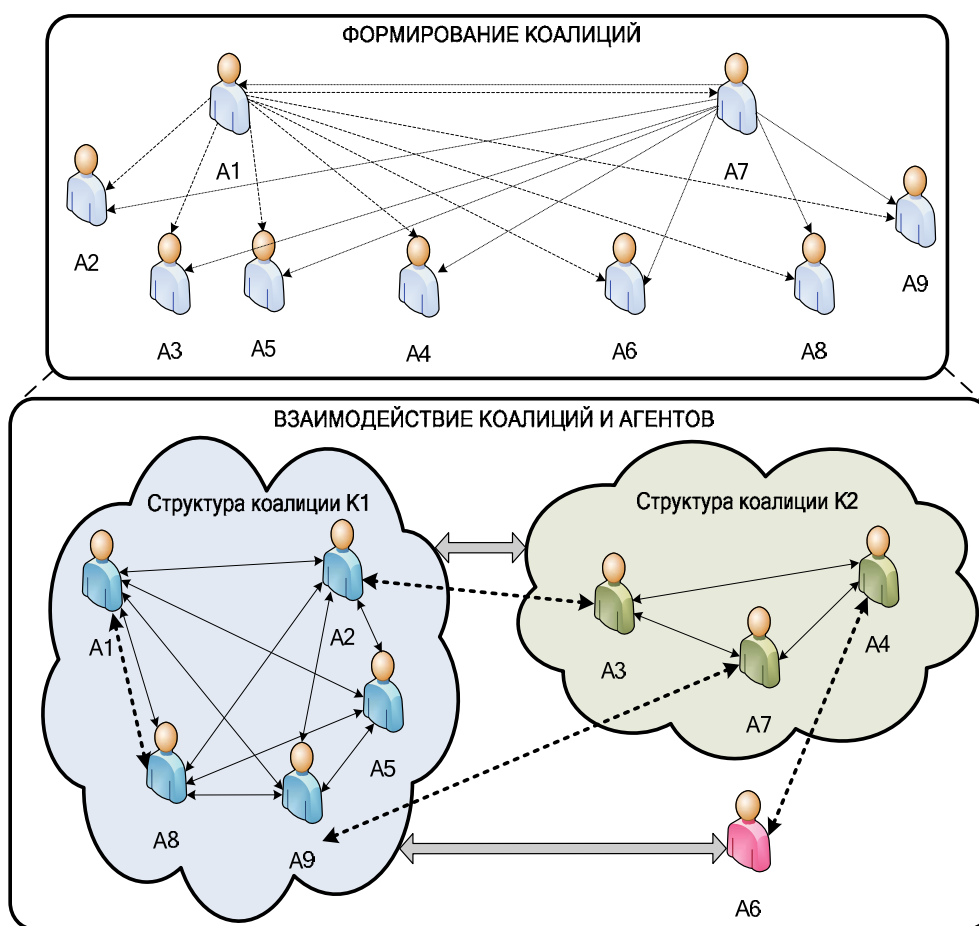
цев ресурсов.

Таким образом, применение механизмов формирования и взаимодействия коалиций расширяет возможности мультиагентного моделирования; их использование при разработке СММ считаем целесообразным. Для практического использования мультиагентного моделирования агентов и коалиций необходимо исследование задач составления планов выполнения работ.

3. Описание коалиционной модели

Целью разработки коалиционной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР) является описание процессов взаимодействия агентов и формирования коалиций при решении вопросов коллективного использования ресурсов и средств в условиях параллельного выполнения МППР.

В коалиционной модели МППР функционируют процессы, представленные на рис. 1.



Условные обозначения:

- ←·····→ Процессы формирования коалиции K1
- ←·····→ Процессы формирования коалиции K2
- ←·····→ Процессы взаимодействия агентов внутри коалиции, направленные на достижение их общей цели
- ↔ Процессы взаимодействия коалиций между собой и с отдельными агентами
- ←·····→ Процессы взаимодействия агентов, направленные на достижение их второстепенных целей

Рис. 1. Схемы процессов в коалиционной модели МППР.

Коалиционной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов M соответствует структура, включающая множество объектов $\{Obj_1, \dots, Obj_m\}$, ориентированных на взаимодействие коалиций и агентов:

$$(1) \quad M = \langle Name_M, Desc_M, \{Obj_1, \dots, Obj_m\}, \{Relation_1, \dots, Relation_m\}, \{Attr^{self}_1, \dots, Attr^{self}_k\} \rangle,$$

где $Name_M$ – имя модели; $Desc_M$ – описание модели; $\{Obj_1, \dots, Obj_m\}$ – объекты (элементы модели): ресурсы, средства, сообщения, преобразователи, цели, агенты, коалиции, параметры; $\{Relation_1, \dots, Relation_m\}$ – связи; $\{Attr^{self}_1, \dots, Attr^{self}_k\}$ – собственные атрибуты системы.

Для описания коалиционной модели МППР определены следующие основные понятия. Мультиагентная система в коалиционной модели МППР имеет следующую структуру:

$$(2) \quad MAS = \langle \{A_1, \dots, A_k\}, \{K_1, \dots, K_a\}, GKB \rangle,$$

где $\{A_1, \dots, A_k\}$ – множество агентов в МАС; $\{K_1, \dots, K_a\}$ – множество коалиций в МАС; GKB – общая база знаний МАС.

Каждая коалиция K_i и каждый агент A_j имеют возможность обращаться к своим базам знаний KB_{K_i} и KB_{A_j} , получая необходимую информацию. Хранилищем информации, доступным для всех коалиций и агентов МАС, является общая база знаний GKB (General Knowledge Base). В ней хранится описание параметров всех МППР, функционирующих в данной модели МАС; методы разрешения конфликтов $\{Q_1, \dots, Q_s\}$ между агентами и коалициями и алгоритмы стратегий поведения $\{Str_1, \dots, Str_v\}$ агентов и коалиций в МАС.

Агенты в коалиционной модели МППР представлены в виде следующей структуры:

$$(3) \quad A = \langle Name_A, \{G_{A1}, \dots, G_{An}\}, KB_A, \{Str_{A1}, \dots, Str_{Av}\} \rangle,$$

где $Name_A$ – имя агента; $\{G_{A1}, \dots, G_{An}\}$ – цели агента; KB_A – база знаний агента (knowledge base); $\{Str_{A1}, \dots, Str_{Av}\}$ – множество допустимых стратегий взаимодействий агента.

Каждый агент A_i в МАС имеет собственную базу знаний KB_{A_i} , в которой хранятся: текущие стратегии поведения $\{Str^l_{A_i}, \dots, Str^v_{A_i}\}$ с конкретными агентами МАС, данные по использованию собственных ресурсов агента $\{Res^l_{A_i}, \dots, Res^m_{A_i}\}$ и собственных средств $\{Mech^l_{A_i}, \dots, Mech^k_{A_i}\}$, план действий агента PD_{A_i} , план выполнения работ агента PW_{A_i} .

Каждый агент A_i в МАС имеет множество целей $\{G^l_{A_i}, \dots, G^n_{A_i}\}$, хранящихся в его базе знаний KB_{A_i} , включающих одну доминирующую цель $G^D_{A_i}$ и множество второстепенных целей $\{G^l_{A_i}, \dots, G^h_{A_i}\}$. При достижении доминирующей цели $G^D_{A_i}$ агента A_i , либо ее изменении, связанным с изменением состояния окружающей среды (освобождения или захвата другими агентами МАС $\{A_1, \dots, A_j\}$ определенных ресурсов $\{Res_1, \dots, Res_m\}$ или средств $\{Mech_1, \dots, Mech_k\}$, действий других агентов $\{D^l_{A_1}, \dots, D^t_{A_j}\}$, состояния функционирующего процесса PR), новой доминирующей целью агента A_i становится цель из множества его второстепенных целей $\{G^l_{A_i}, \dots, G^h_{A_i}\}$.

Агент A_i выбирает стратегию взаимодействия $Str^{Aj}_{A_i}$ (из множества допустимых стратегий $\{Str_1, \dots, Str_v\}$) с другим агентом A_j для достижения определенной цели из множества целей $\{G^l_{A_i}, \dots, G^h_{A_i}\}$. Разрешение конфликтов между агентами происходит по определенным методам $\{Q_1, \dots, Q_s\}$, основанным на использовании стратегий поведения агентов или организации аукционов.

Каждый агент A_i в МАС управляет собственными ресурсами $\{Res^l_{A_i}, \dots, Res^m_{A_i}\}$ и собственными средствами $\{Mech^l_{A_i}, \dots, Mech^k_{A_i}\}$. Управление организуется с помощью формирования плана действий PD_{A_i} агентом A_i в процессе его жизненного цикла L_{A_i} на основе использования информации из собственной базы знаний KB_{A_i} и общей базы зна-

ний GKB . Жизненному циклу L_A соответствует весь период активности агента в МАС от его определения до прекращения его функционирования.

В процессе работы МАС агенты $\{A_1, \dots, A_k\}$ могут взаимодействовать друг с другом, формировать коалиции $\{K_1, \dots, K_a\}$ с целями организации взаимовыгодного сотрудничества, увеличения шансов получения необходимых ресурсов и средств при возникновении конфликтов.

Коалиция агентов в МАС имеет следующую структуру:

$$(4) \quad K = \langle Name_K, \{A_1, \dots, A_m\}, G_K, \{Str_1, \dots, Str_v\}, KB_K \rangle$$

где $Name_K$ – имя коалиции; $\{A_1, \dots, A_m\}$ – множество агентов, входящих в коалицию; G_K – цель коалиции; $\{Str_1, \dots, Str_v\}$ – множество допустимых стратегий поведения коалиции; KB_K – база знаний коалиции.

План выполнения работ PW_K формируется коалицией K для достижения цели G_K^i и состоит из определенной последовательности работ $\{W_{K1}, \dots, W_{Ki}\}$, плану PW_K соответствует следующая структура:

$$(5) \quad PW_K = \langle \{W_{K1}, \dots, W_{Ki}\}, G_K^i, KB_K, GKB, \{AD_1, \dots, AD_h\}, \{Res_{K1}, \dots, Res_{Km}\}, \{Mech_{K1}, \dots, Mech_{Kk}\} \rangle,$$

где $\{W_{K1}, \dots, W_{Ki}\}$ – работы плана; G_K^i – цель плана; $\{AD_1, \dots, AD_h\}$ – множество агентов, участвующих в плане; $\{Res_{K1}, \dots, Res_{Km}\}$ – ресурсы, участвующие в плане; $\{Mech_{K1}, \dots, Mech_{Kk}\}$ – средства, участвующие в плане.

4. Постановка практической задачи

В рамках внедрения разработанной модели и системы поставлена задача: разработка модели производства индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) на производственном предприятии с целью ее использования в реальном времени для оценки целесообразности взятия в работу новых заказов. Опишем процесс решения данной задачи.

- 1) Будем считать что каждое подразделение предприятия состоит из менеджера проектов и определенного пула ресурсов и средств. Менеджеры проектов производят поиск заказов и управляют их выполнением. Для каждого заказчика они производят расчет необходимой ему конфигурации ИТП. При нахождении заказа, менеджер проектов должен оценить загруженность своих ресурсов и средств, и принять решение – готов ли он взять новый заказ (с определенным объемом работ и сроком выполнения).

Для этого менеджеры проектов проводят имитацию перераспределения ресурсов и средств с целью составления нового плана выполнения работ с учетом ограничений выполнения всех заказов по времени.

- 2) При отсутствии необходимых для выполнения заказа ресурсов или средств имеется возможность провести моделирование переговоров с другими менеджерами проектов. В систему каждый менеджер проектов закладывает: стратегию взаимодействия (в зависимости от загрузки его ресурсов, выполнения своих целевых показателей, а также личного решения; стратегия необходима для определения готовности вступления в коалицию для совместного использования ресурсов и средств); цену каждого ресурса и средства (для проведения аукционов).

Таким образом в модели МАС проводится имитация переговоров. Результаты переговоров транслируются всем участникам для поддержки принятия их решений: они могут согласовать либо не согласовать эти результаты. При отсутствии согласования вопрос выносится на совместное решение менеджера проекта и руководителя отдела по управлению проектами.

Результаты переговоров и формирования коалиций являются исходными данными

для составления плана выполнения работ.

- 3) Менеджер проектов формирует план выполнения работ с учетом ограничений по времени (включающий работу по новому договору). Данный план утверждается руководителем отдела по управлению проектами. С заказчиком подписывается договор, в котором указывается срок выполнения работы и штрафные санкции за сдвиг сроков (процент от суммы договора). После этого производство начинает работать по новому плану (включающему работу по новому договору по производству ИТП).

Рассмотрим практическую задачу, показывающую целесообразность применения коалиций на базе описанного процесса производства ИТП на предприятии «Альтернативные энергосистемы».

В штатном режиме работы предприятия заказов от менеджеров проектов приходит мало. Менеджеры проектов конкурируют за ресурсы и средства, могут объединяться в коалиции. В таком режиме предприятие справляется с выполнением всех работ в срок.

Пусть от менеджеров проектов на предприятие **одновременно** (в один день) поступает 15 заказов (например, в связи со строительством крупного района города Екатеринбурга – «Академический»), при этом заказы типовые и все их нужно сдать также **одновременно** (в рамках одной недели). Для предприятия это большое количество заказов, **в совокупности соразмерное по объему со всеми ресурсами предприятия** (и безусловно превышающее производственные мощности агента, получившего заказ). В этом случае выполнение всех заказов в срок находится под угрозой, и в связи с этим агент-директор ставит доминирующую цель для всех агентов-менеджеров проектов: «выполнить все заказы в срок (без штрафов) или с минимальными штрафами для предприятия в целом».

Известные методы и модели, в частности, ПВ-сеть [6] – не дает гарантии, что будет обеспечено выполнение всех заказов одновременно и в срок (или с минимальным штрафом). Коалиция дает возможность агентам договориться и составить совместный план действий по использованию ресурсов всех агентов для синхронного запуска заказов и их выполнения в срок (или с минимальным штрафом).

Программная реализация системы мультиагентного моделирования. Разработанная система мультиагентного моделирования (СММ) обеспечивает возможности формирования сообществ агентов (коалиций), планирования действий агентов (и коалиций), применения различных сценариев взаимодействий (на основе использования стратегий поведения и проведения различного вида аукционов) и формирования решений агентов (на основе механизма согласования решений и организации досок с объявлениями) при моделировании. Графический интерфейс СММ представлен на рис. 2 на примере модели по разработке индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) на промышленном предприятии «Альтернативные энергосистемы» [7].

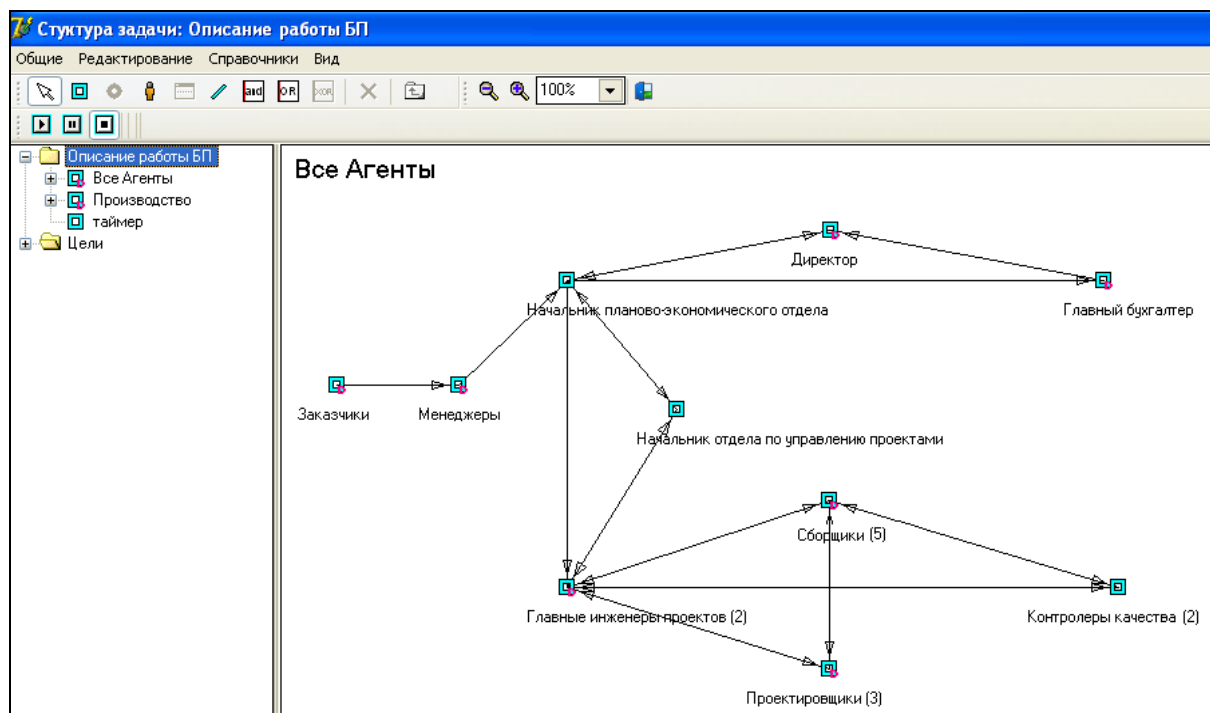


Рис. 2. Модель по разработке ИТП в разработанной СММ.

5. Внедрение системы мультиагентного моделирования

В модели предприятия «Альтернативные энергосистемы» на рис. 2 решаются задачи оптимизации распределения ресурсов между главными инженерами проектов (ГИП) с использованием различных механизмов взаимодействия и планирования действий по выполнению проекта. Цель проведения моделирования – исследование влияния стратегий взаимодействия агентов на финансовые показатели предприятия и выработка наиболее выгодной схемы производства ИТП. Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) определение стратегии взаимодействия агентов-менеджеров проектов, при которой предприятие выполняет наибольшее количество проектов за фиксированное время с наименьшими простоями ресурсов и средств;
- 2) изучение и сравнительный анализ возможных стратегий взаимодействия агентов;
- 3) исследование динамики использования ресурсов и средств агентами в зависимости от стратегий их взаимодействия.

Цели агентов – менеджеров проектов (A_1, A_2):

- минимизация времени выполнения работ по заказу: $t^{Ai} (W_i) \rightarrow \min$;
- минимизация финансовых затрат по выполнению работ (т.е. максимизация прибыли агента): $S^{Ai} \rightarrow \max$;
- минимизация количества используемых «общих» ресурсов и средств в связи с вероятностью возникновения «параллельного» заказа: $N^{Ai} \rightarrow \min$.

В результате внедрения СММ BPsim.KIT чистая прибыль предприятия от деятельности по производству ИТП выросла на 27%. В перспективе систему возможно применять для разработки моделей крупных предприятий по производству ИТП.

6. Заключение

В заключении отметим основной вывод работы: использование коалицией целесообразно в случае, когда одновременно необходимо выполнить заказы, в совокупности соразмерные со всеми имеющимися ресурсами, либо превышающие их. Разработанная коалиционная модель и система мультиагентного моделирования позволяют:

- 1) получать наиболее эффективные решения при совместном выполнении сложных заказов, превосходящих производственные мощности отдельных предприятий (подразделений);
- 2) использовать встроенные и разрабатывать новые алгоритмы взаимодействий агентов в моделях;
- 3) проводить имитационные эксперименты с визуализацией диаграммы последовательности взаимодействий агентов.

Список литературы

1. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley, 2009.
2. Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников. М.: ИПУ РАН, 2003. 140 с.
3. Vidal J. Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples. 2007.
4. Shoham Y., Leyton-Brown K. Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations. Cambridge University Press, 2008.
5. Binmore K. Playing for Real: A Text on Game Theory. – Oxford University Press, 2007.
6. Скобелев П.О. Открытые мультиагентные системы для оперативной обработки информации в процессах принятия решений: дисс. ... д-ра. техн. наук: 05.13.01. СамГТУ. М.: РГБ, 2003. 418 с.
7. ООО «Альтернативные энергосистемы»: [Электронный ресурс]. Екатеринбург, 2010-2012. Режим доступа: <http://www.aesm.ru>