

УДК 004.896

ПРЕИМУЩЕСТВА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЁННЫМ
ИНТЕЛЛЕКТОМ

Федяев О.И., Зудикова Ю.В.

Донецкий национальный технический университет

Рассматривается иерархический подход к разработке мультиагентных моделей динамических объектов. Дается качественная оценка эффективности применения агентно-ориентированных моделей для адекватного описания систем с распределённым интеллектом на примере моделирования производства промышленных смесей.

На сегодняшний день всё чаще возникает необходимость решать задачи анализа, контроля и управления крупными производственными комплексами. Такие системы являются распределёнными и неоднородными. Их компоненты взаимосвязаны, обладают элементами интеллектуальности и поведением высокой степени сложности. Для адекватного описания и исследования динамики функционирования таких сложных систем кроме использования традиционных методов необходимы новые средства, способные отражать трудно формализуемые аспекты взаимодействия компонент системы.

Применяемая в работе новая теория многоагентных систем (МАС) позволяет разрабатывать качественно новые модели сложных объектов в виде интеллектуальных организаций, состоящих из автономных искусственных агентов. Агенты являются моделями реальных компонентов системы. Динамика поведения объекта в этой теории представляется как результат коллективной деятельности искусственных (программных) агентов, каждый из которых автономен, обладает сложным поведением и элементами интеллектуальности, действует сообразно собственным целям, существует в общей среде и взаимодействует со средой и другими агентами.

Данная теория является развивающимся научным направлением. Методологические вопросы создания моделей агентов и их преимущества исследованы не достаточно полно. Поэтому предметом исследования данной работы являются модели агентно-ориентированного типа, позволяющие моделировать неоднородные распределённые системы с интеллектуальными компонентами,

динамику которых трудно описать известными формальными методами. При этом ставилась цель определить место агентно-ориентированного способа моделирования среди других подходов к моделированию сложных распределенных систем, а также оценить методологические и технологические аспекты мультиагентных моделей распределённых систем на примере моделирования процесса производства промышленных смесей.

1. Агентные модели в имитационном моделировании

Многие объекты автоматизации относятся к классу распределённых систем и обладают сложным поведением из-за интеллектуальности их компонент. Неоднородность их структуры и не тривиальное поведение компонент приводит к тому, что традиционные формальные методы описания таких объектов не обеспечивают адекватность создаваемых моделей. Для исследования распределённых систем этого класса наиболее пригодным и нередко единственно возможным является метод компьютерного имитационного моделирования [1], который позволяет изучать поведение и проводить оптимизацию таких систем без их физической реализации.

По способу описания исследуемой системы в современном имитационном моделировании выделяют три широко используемых подхода (рис. 1):

- дискретно-событийное (процессное) моделирование;
- непрерывное моделирование;
- агентное-ориентированное моделирование.

Моделирование на основе искусственных агентов основано на принципе автономности отдельных частей программы (агентов), совместно функционирующих в распределённой системе, где протекает множество взаимосвязанных процессов. Для систем, содержащих большое количество активных объектов с отчётливо выраженным индивидуальным поведением, которое достаточно сложно для формального аналитического описания, многоагентное моделирование является более универсальным подходом [2]. Важным достоинством агентного моделирования является возможность разработки модели даже в отсутствие априорной информации о глобальных зависимостях. Зная индивидуальную логику поведения компонент системы, можно построить агентную модель и спрогнозировать поведение системы в целом. Перспективным направлением развития проблематики многоагентных систем является

задача разработки виртуальных искусственных организаций и сообществ, состоящих из интеллектуальных агентов [3].

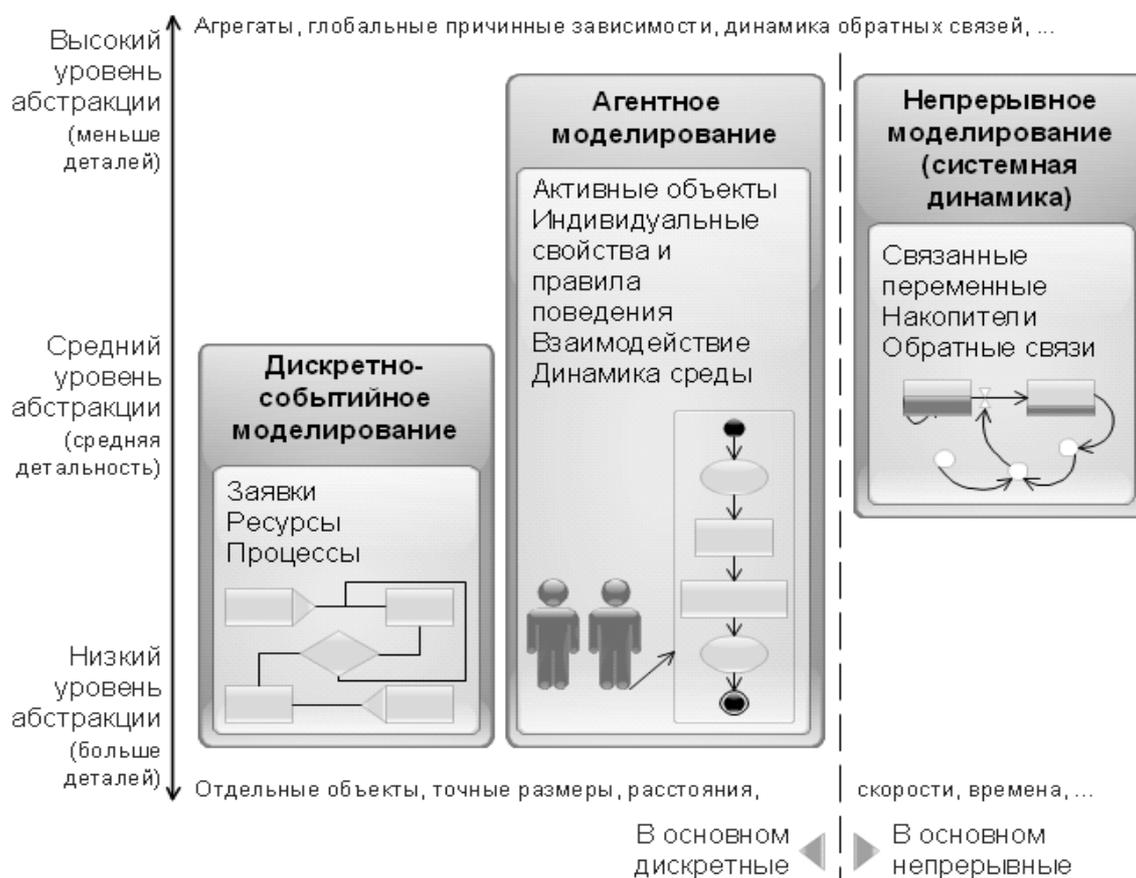


Рисунок 1 – Виды имитационного моделирования по уровню абстракции

2. Агентно-ориентированное представление систем

Парадигма агентно-ориентированного программирования (АОП) предложена Шохагом Й. в 1990 г. [4]. В отличие от ООП, где программа понимается как совокупность взаимодействующих объектов-модулей, АОП уточняет эти рамки, фиксируя активность агентов и изменения их состояний через анализ убеждений, обязательств, намерений. Наличие у агента механизма целеобразования обеспечивает принципиально новый уровень его автономии. На функционирование агента влияют условия внешней среды, цели и намерения других агентов (рис.2).

Если объекты взаимодействуют, вызывая методы друг друга, то агент запрашивает действия другого агента, причём агент-

исполнитель может как принять на себя определённые обязательства, так и отказаться от выполнения некоторой работы.

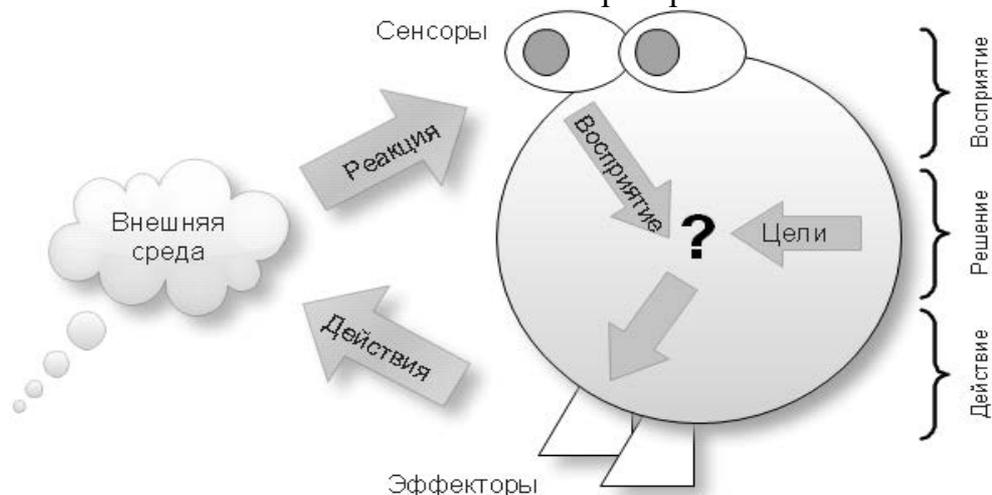


Рисунок 2 – Принцип работы программного агента

Агент, как «активный объект», формирует своё собственное поведение и находится на более высоком уровне сложности по отношению к традиционным объектам. Благодаря автономности поведения, реактивности, целенаправленной активности и коммуникативности искусственный агент является более высокоуровневой абстракцией для формализации и структурирования сложных сущностей предметной области, что и отличает его от обычного объекта, экспертной системы и просто программы. Одна из классификаций агентов по степени важности его свойств показана на рис.3.

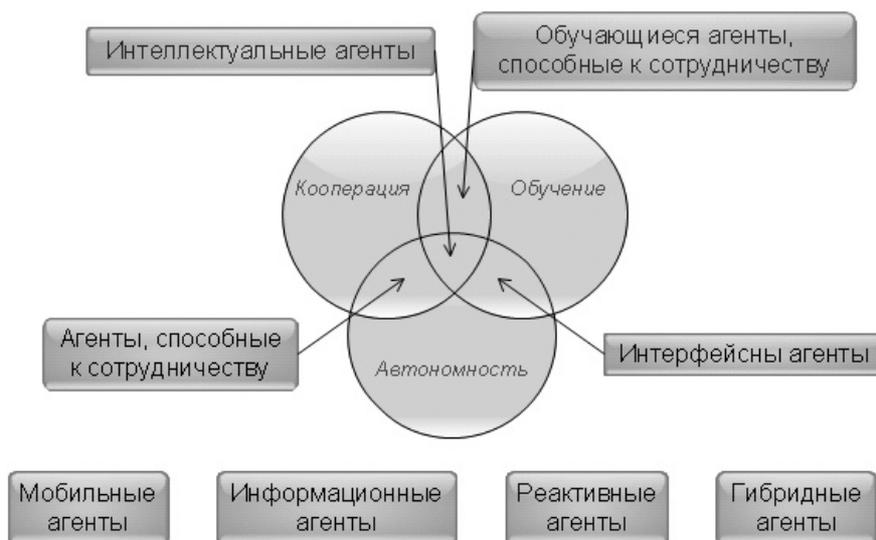


Рисунок 3 – Классификация агентов по степени важности его свойств

Таким образом, используемая в АОП организация программного агента с автономным и интеллектуальным поведением, а также наличие у агентов специфических протоколов коммуникации (даже на основе речевых актов), расширяет теорию программных систем и концепцию ООП.

Агенты могут достаточно точно представлять самые разнообразные сущности предметных областей. Например, такими сущностями могут быть люди, организации, поставщики, заказчики, транспортные средства, станки, проекты, заказы, продукты и прочее. Агент наделяется полномочиями тех субъектов и объектов, сущности которых он представляет.

Многоагентная система определяется как совокупность взаимосвязанных программных и/или аппаратных агентов, способных взаимодействовать друг с другом и с окружающей средой, обладающих определёнными интеллектуальными способностями и возможностью индивидуальных и совместных действий (рис. 4). Тарасов В.Б. даёт следующее формализованное определение многоагентной системы MAS в виде алгебраической модели [3]:

$$MAS = (A, E, R, ORG, ACT, COM, EV),$$

где A – множество агентов; E – множество сред, в которых функционируют агенты; R – семейство базовых отношений между агентами; ORG – формируемая программными агентами организация; ACT – множество действий, выполняемых агентами; COM – множество коммуникативных актов, образующих протокол коммуникации в MAS; EV – множество эволюционных стратегий. Агент задаётся функцией f , которая отображает восприятия P окружающей среды на действия A агента, т.е. $f : P \rightarrow A$.

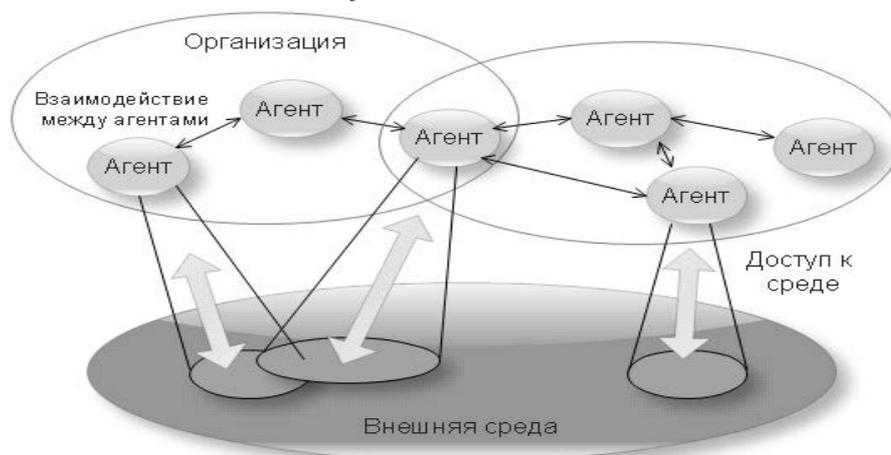


Рисунок 4 – Структура многоагентной системы

Идея многоагентности предполагает кооперацию агентов при коллективном решении задач. Она считается основной формой социального поведения и организации взаимодействия между агентами, характеризуемая объединением их усилий для достижения совместной цели при одновременном разделении между ними функций и обязанностей. При этом агенты обмениваются полученными знаниями, используя некоторый специальный язык (например, KQML) и подчиняясь установленным правилам коммуникации (протоколам) в системе. Протоколы описывают процесс ведения переговоров, направленных на достижение взаимовыгодного соглашения [3].

Архитектура искусственных агентов выбирается в зависимости от концепции, используемой для организации МАС. К базовым классам относятся следующие архитектуры: делиберативные, реактивные и гибридные. Наиболее перспективным видом делиберативных архитектур считается архитектура Belief-Desire-Intention (BDI) [5]. В ней поведение агентов описывается в терминах:

- убеждений (beliefs) – знания агента об окружающей среде, о себе и о других агентах;
- желаний (desires) – цели агента;
- намерений (intensions) – действия, которые должны быть выполнены для достижения цели.

Организация многоагентных систем в таком виде (в отличие от прочих подходов к разработке программных моделей) позволяет воспроизводить структуру и свойства реально существующих систем более естественным образом. Основопологающей специфической особенностью многоагентного подхода является переход от пассивных сущностей, представленных в виде объектов ООП, к активным сущностям, которые описываются в прикладных системах в виде агентов.

2. Технологический процесс производства промышленных смесей как объект с распределённой структурой

В качестве объекта моделирования с распределённой структурой рассмотрен технологический процесс приготовления сухих промышленных смесей. Упрощённая схема технологического процесса представлена на рис. 5. Основной функцией процесса производства как системы является получение смесей заданных характеристик из входного сырья. К структурным составляющим процесса производства относятся здания, технологическое

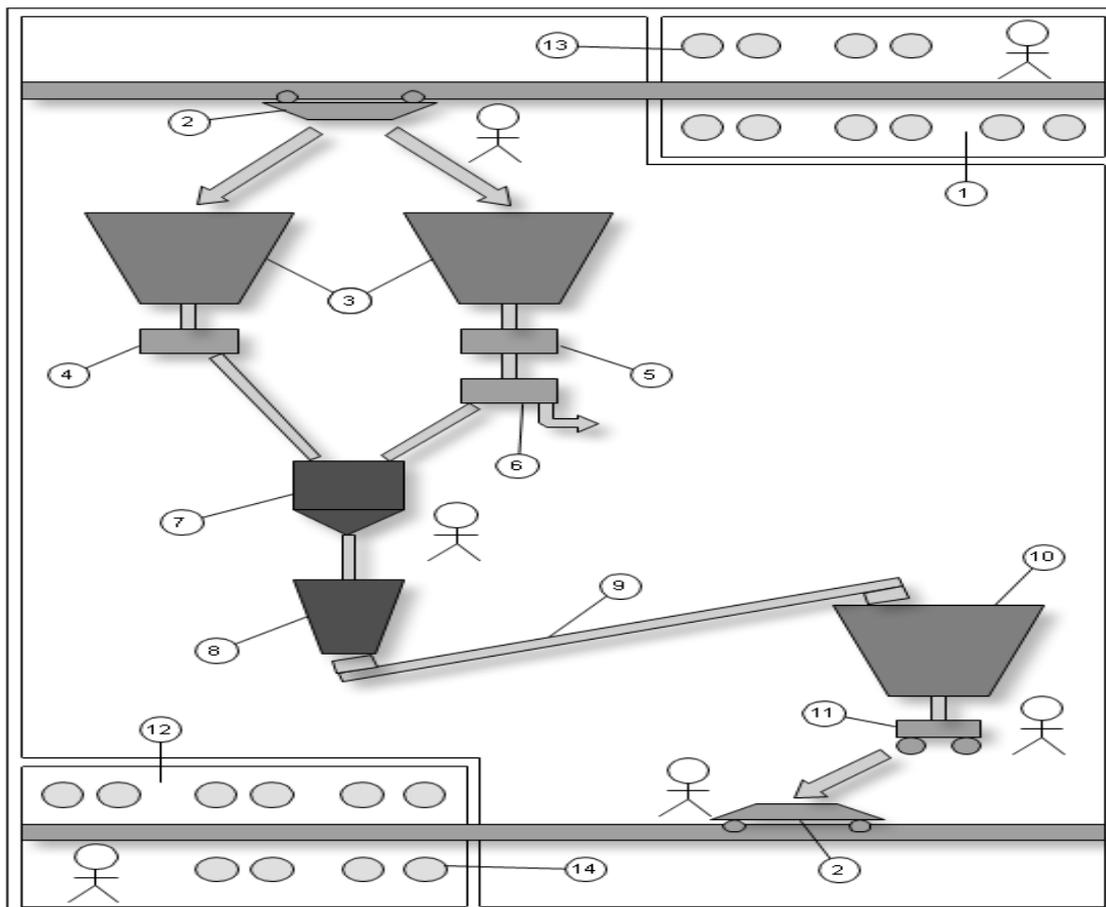


Рисунок 5 – Схема технологического процесса производства промышленных смесей: 1 – склад сырья; 2 – кран-балка; 3 – бункер; 4 – грохот; 5 – дробилка; 6 – сепаратор; 7 – дозатор; 8 – смеситель; 9 – винтовой конвейер; 10 – накопительная емкость; 11 – тележка; 12 – склад готовой продукции; 13 – сырье; 14 – готовые смеси

оборудование, персонал, сырье, готовая продукция и транспорт. Участники производства распределены территориально и функционируют автономно. Работа персонала заключается в координировании хода производства: управлении работой устройств и принятии решений по обеспечению нормального протекания производственных процессов.

С позиции системного анализа такой технологический процесс производства является сложной системой с распределённым интеллектом, которая состоит из автономных, взаимосвязанных, целенаправленно функционирующих элементов и находится во взаимодействии с внешней средой. Элементы системы функционируют во времени и пространстве. Поэтому каждый участник динамического процесса производства описан как подсистема (рис.б), характеризующаяся входными и выходными

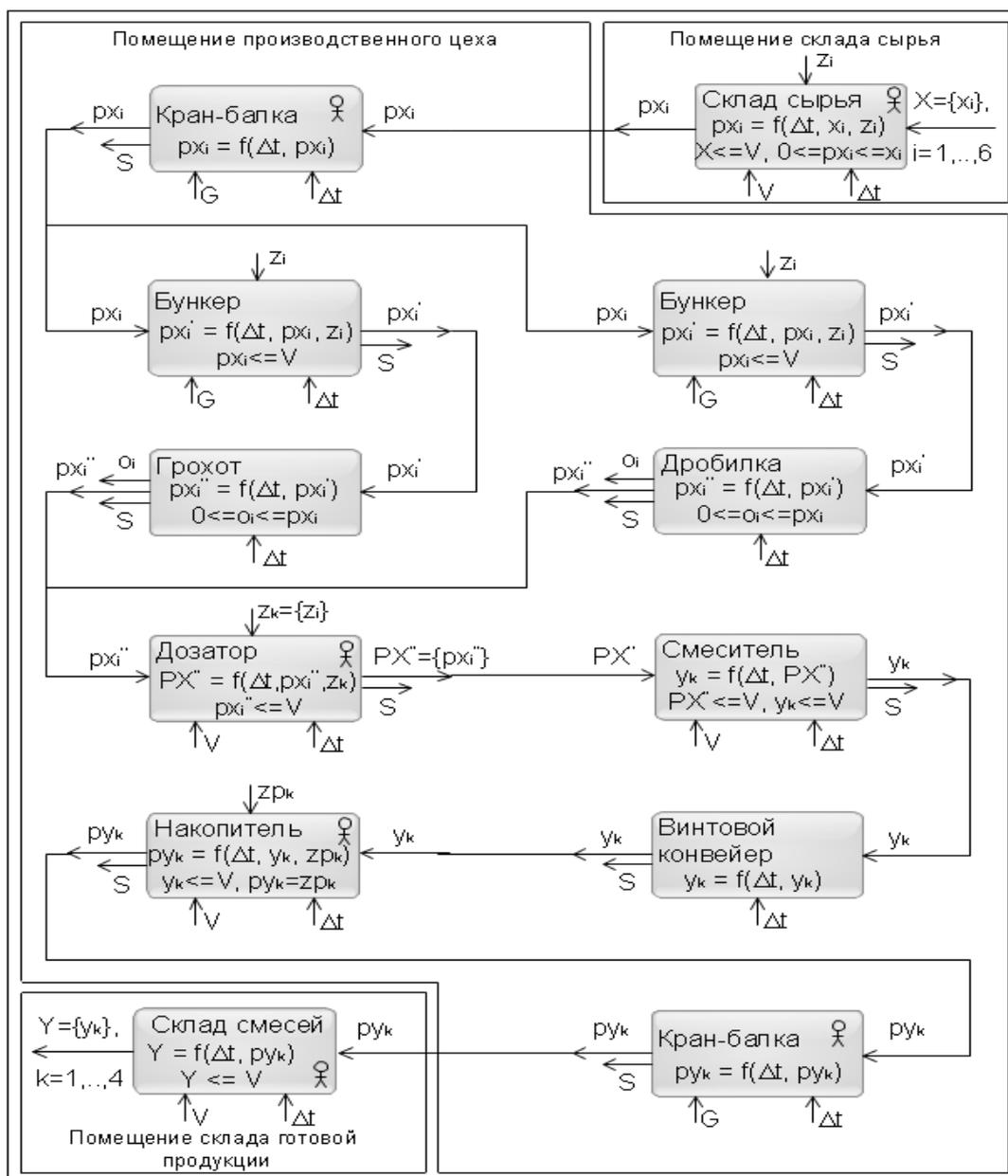


Рисунок 6 – Параметрическое описание автономных процессов при производстве промышленных смесей: x_i – запасы сырья i -ого типа, p_{xi} – порция сырья i -ого типа, y_k – запасы смеси k -ого типа, y_k – порция смеси k -ого типа, z_i – количество требуемого сырья i -ого типа, z_k – количество требуемого сырья для приготовления смеси k -ого типа, V – вместительность/емкость, G – грузоподъемность, Δt – длительность технологической операции

данными, параметрами и выполняемыми функциями. Применение традиционных способов моделирования таких сложных объектов автоматизации затруднительно в силу сложности формализации

человеко-машинного поведения. Теория многоагентных систем позволила построить модель данного производства в виде интеллектуальной организации, представленной автономными искусственными агентами (рис. 7).

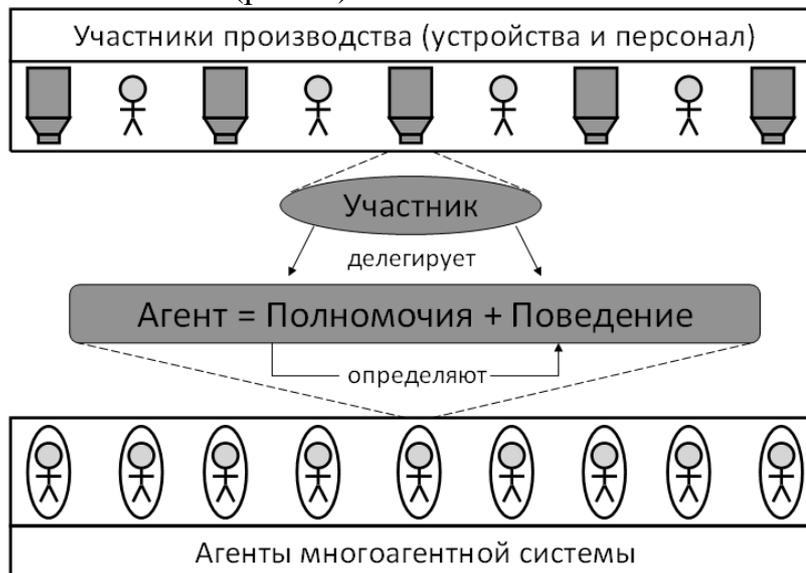


Рисунок 7 – Идея многоагентного моделирования процесса производства

Каждый из агентов наделяется полномочиями того участника производственного процесса, которого он представляет, и обладает поведением, определяемым этими полномочиями. Взаимодействуя с другими агентами и оценивая текущее состояние процесса производства, каждый агент самостоятельно принимает решение о своих дальнейших действиях. Коллективная работа и коммуникация агентов имитируют протекание технологического процесса.

3. Построение концептуальных и физических моделей производственного процесса

Учитывая сложность объекта исследования, применён иерархический и многомодельный подход к разработке многоагентной модели объекта. На верхнем уровне объект моделирования рассмотрен с позиции системного анализа. Затем на уровне агентно-ориентированного анализа по методологии Gaia разработаны следующие концептуальные модели производственного процесса: ролей, взаимодействий, агентов, услуг и связей (рис.8) [3,6]. В рамках этой методологии МАС представлена совокупностью взаимодействующих ролей. Роль рассматривается как абстрактное описание свойств и функций объекта. Она задаётся тремя элементами:

обязательствами, полномочиями и протоколами. Каждая роль связана с определённым числом протоколов, которые определяют пути взаимодействия её с другими ролями.

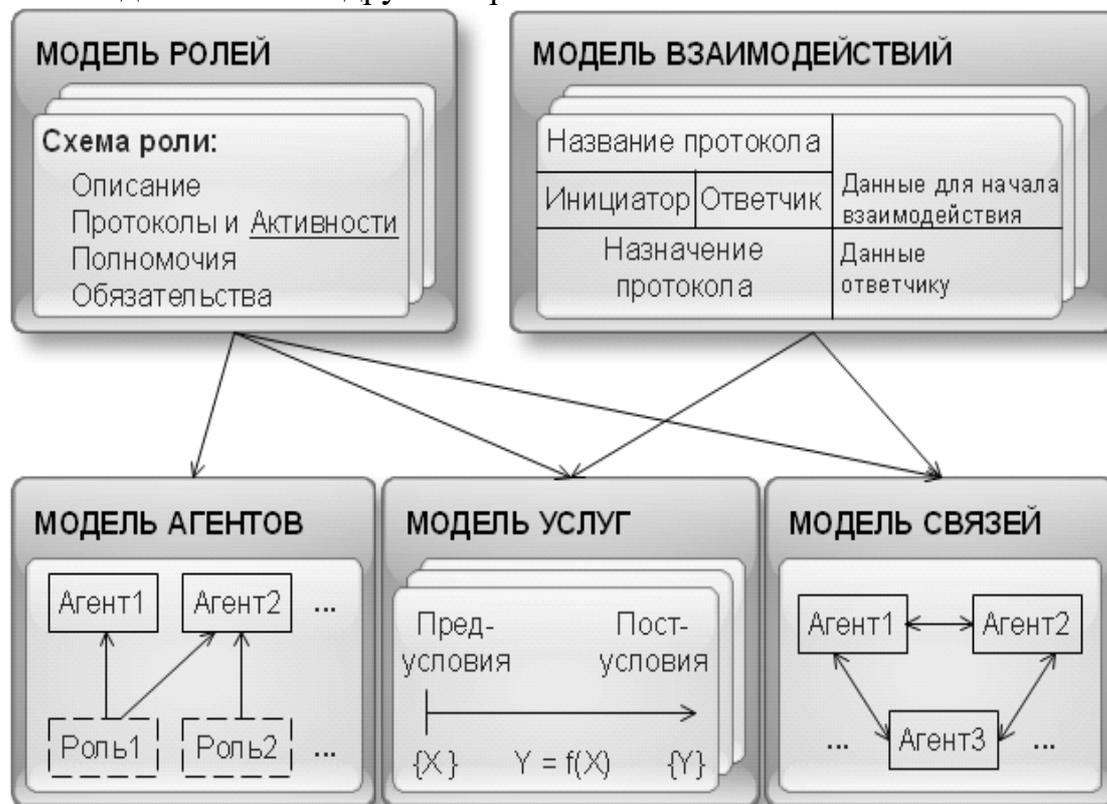


Рисунок 8 – Взаимосвязь абстрактных моделей при агентно-ориентированном проектировании по методологии Gaia

В результате проведения агентно-ориентированного анализа процесса производства выделены следующие роли: Кладовщик_сырья, Кладовщик_готовой_продукции, Кран-балка_сырья, Кран-балка_готовой_продукции, Бункер, Грохот, Дробилка, Дозатор, Смеситель, Винтовой_конвейер, Накопительная_ёмкость. Некоторые из ролей (Кран-балки, Дозатора, Накопительной_ёмкости) объединяют в себе функции устройства (кран-балки, дозатора и накопительной ёмкости соответственно) и управляющего им работника. Для всех выделенных ролей составлены схемы их описания [7].

Разработанные агентно-ориентированные модели позволили системно перейти от этапа проектирования к этапу программной реализации МАС процесса производства промышленных смесей. В качестве инструментальной среды для разработки МАС был выбран инструментарий Zeus [8], который оперирует схожими с методологией агентно-ориентированного анализа Gaia

спецификациями сообщества агентов. Инструментальная среда Zeus помимо средств программной реализации предоставляет свой набор абстракций (моделей) для описания структуры агентов и их поведения. Ключевым вопросом в иерархическом проектировании многоагентной системы является трансформация моделей одного уровня описания в другой, т.е. разработчик при использовании какой-нибудь методологии и инструментария, оперирующих разными концептами, должен связать абстрактные и физические модели. На рис.9 видно, что инструментальная среда Zeus в отличии от методологии Gaia оперирует другими базовыми понятиями: онтология, факт, агент, задача, правило, координация и организация агентов.

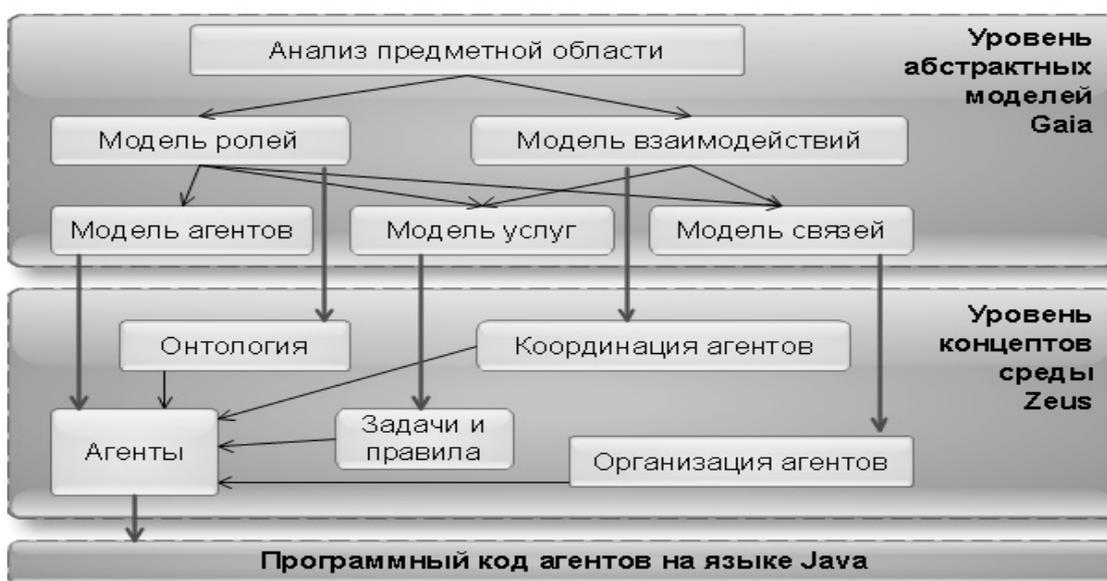


Рисунок 9 – Взаимосвязь моделей методологии Gaia и
инструментария Zeus

В этой части работы авторами установлена семантическая связь между концептуальными моделями процесса производства уровня методологии Gaia и физическими моделями уровня программирования агентов в инструментальной среде Zeus [7]. Онтология в среде Zeus представляется декларативным набором знаний, который отражает существенные понятия предметной области и их характеристики. Онтология Ont задаётся множеством фактов f , представленных в виде иерархической структуры:

$$Ont = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}.$$

Каждый факт характеризует одно понятие предметной области. Он является знанием агента о самом себе или окружающей среде.

Факт f определяется в общем случае множеством атрибутов или четвѐрок вида:

$$f = \{(AN, T, R, DV)_1, (AN, T, R, DV)_2, \dots, (AN, T, R, DV)_m\},$$

где AN – название атрибута; T – тип атрибута; R – ограничение на значение атрибута; DV – значение атрибута по умолчанию. Факты онтологии получаютсЯ из полномочий (или информационных ресурсов) модели ролей Gaia.

Понятие агента A в Zeus является ключевым и описывается на трёх уровнях: определения D , организации O и координации C (рис.10):

$$A = (D, O, C), \quad D = (R, G, T), \quad O = (AD, R, NA), \quad C = (CP, IS).$$



Рисунок 10 – Концептуальная структура агента Zeus

На уровне определения D агент рассматривается как автономная сущность, способная к рассуждениям. Агент задается множеством ресурсов (фактов) R , множеством целей G и множеством задач T .

Понятие цели связано с выполнением агентом обязательств перед другими агентами. Цели порождаются агентом и достигаются посредством его действий. Цель Zeus задается в виде факта и дополнительных параметров: агента, которому принадлежит цель, стоимости и возможного числа инициирования, а также временных ограничений, необходимых для планирования достижения целей.

Агент достигает поставленных целей посредством выполнения задач. В задачах агента реализуются функции агента. В среде Zeus предусмотрено три вида задач: простая (неделимая) задача, группа

простых задач, выполняющихся в некоторой последовательности, и база правил. Простая задача t определяется следующим набором атрибутов:

$$t = (N, T, P, E, CP, CE, C, D),$$

где N – название задачи; T – тип задачи; P – входные факты (предусловия); E – выходные факты (эффекты); CP – ограничения на значения входных фактов; CE – ограничения на значения выходных фактов; C – стоимость задачи; D – продолжительность выполнения задачи. База правил состоит из множества правил rl :

$$rl = (P, A),$$

где P – условия, зависящие от входных фактов; A – действия, выполняющиеся при истинности условий. Задачи вытекают из услуг модели услуг Gaia, а правила строятся по протоколам модели взаимодействий Gaia.

На уровне организации O агент рассматривается в контексте его отношений с другими агентами. Для агента определяется множество «знакомых» агентов AD и множество отношений R , в которых он состоит с другими агентами. Множество фактов NA содержит факты, принадлежащие «знакомым» агентам, о которых осведомлён конфигурируемый агент. Множество «знакомых» агентов и множество известных фактов можно сформировать из модели связей Gaia.

На уровне координации C агент рассматривается как социальная сущность, взаимодействующая с другими агентами сообщества по протоколам координации CP и стратегиям взаимодействия IS . Атрибуты CP и IS могут быть получены из модели взаимодействий Gaia.

Установленная связь концептов среды Zeus и моделей методологии Gaia позволила составить в среде Zeus адекватные спецификации онтологии, структуры и поведения агентов, по которым сгенерирован программный код онтологии, агентов, базы правил каждого агента, шаблоны задач на языке Java. К полученным компонентам добавлен программный код, реализующий логику выполнения задач агентов, и программный код связанных с агентами внешних программ, предоставляющих интерфейс взаимодействия с пользователем. Для визуализации динамики моделирования был разработан визуализатор процесса, который показывает взаимодействие агентов-устройств и агентов-персонала в ходе моделирования производства промышленных смесей (рис.11).

Красный индикатор рядом с графическим изображением агента обозначает, что агент выполняет задачу, зелёный индикатор – агент

завершил выполнение задачи. «Песочные» стрелки показывают направление взаимодействия между агентами в текущий момент времени. С каждым из агентов связано окно спецификации его характеристик.

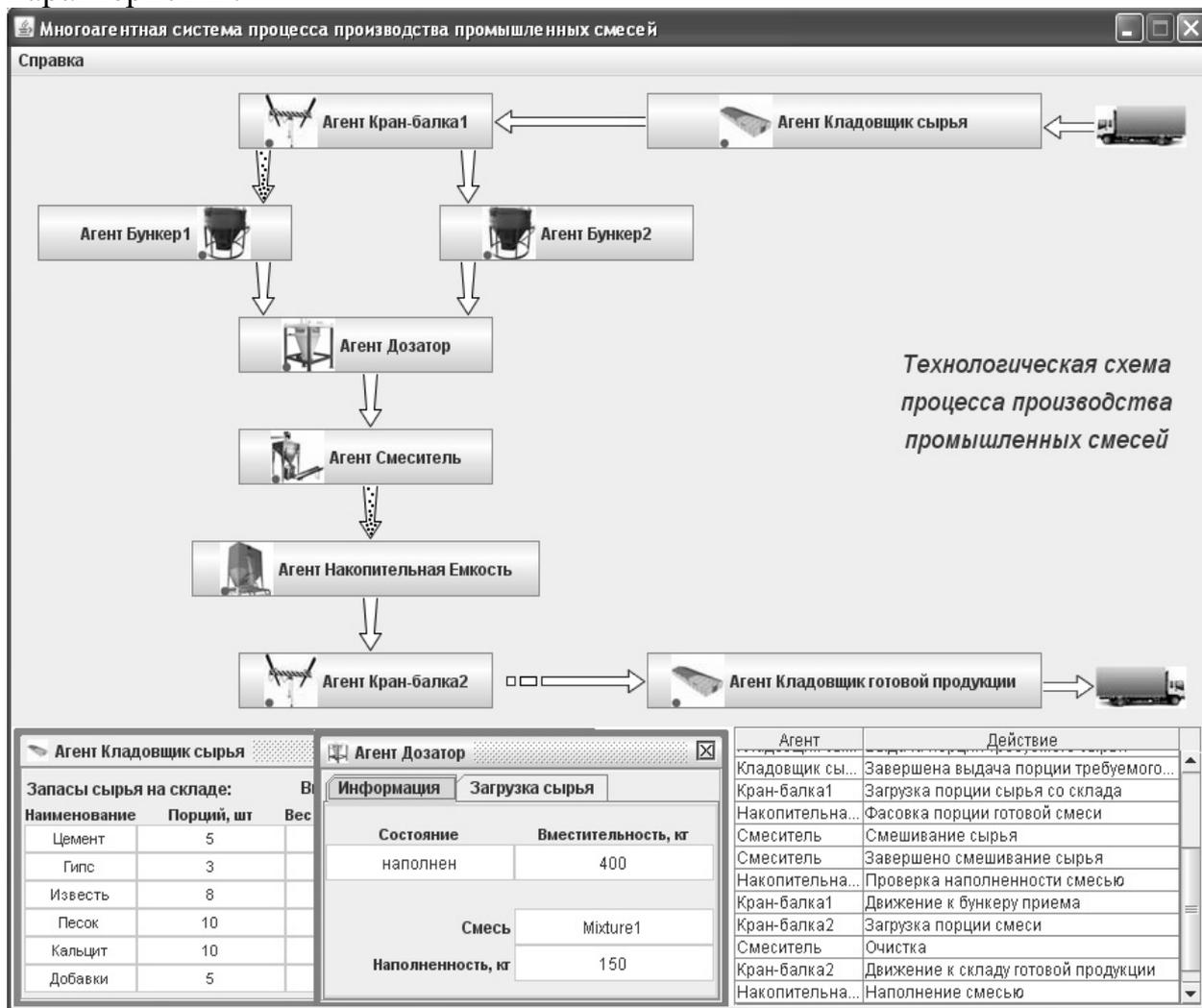


Рисунок 11 – Окно визуализатора процесса моделирования

4. Результаты моделирования на основе агентов

На основе разработанной многоагентной программной модели можно выполнять анализ, реинжиниринг и управление производством промышленных смесей. В частности были проведены модельные эксперименты по определению рациональной структуры производства и минимизации непроизводительных простоев. Рассмотрим решение второй задачи.

Пусть $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}, y_k$ – объёмы смесей каждого типа, которые должны быть приготовлены; $T = \{t_1, t_2, \dots, t_l\}, t_k$ – время приготовления заданного количества y_k смеси k -го типа в условиях выбранной структуры S производства. Тогда ежедневный план приготовления M смесей функционально зависит от следующих параметров:

$$M = f(Y, T, t_{\text{пер}}, t_{\text{пр}}),$$

где $t_{\text{пер}}$ – время технологического перерыва, $t_{\text{пр}}$ – время непроизводительного простоя.

Задача минимизации непроизводительных простоев $t_{\text{пр}}$ заключается в организации эффективного ежедневного плана приготовления смесей в условиях выбранной структуры производства.

Проведены эксперименты по определению времени приготовления порции смеси $y_1 = f(t, x_1, x_4, x_5, S)$ и порции смеси $y_2 = f(t, x_1, x_2, x_4, x_5, S)$ в условиях ранее выбранной рациональной структуры производства S . На программной модели рассчитано время t_1 приготовления порции смеси 1-го типа объемом y_1 ($t_1 = 90$ минут) и время t_2 приготовления порции смеси 2-го типа объема y_2 ($t_2 = 100$ минут). Тогда при технологическом перерыве $t_{\text{пер}} = 0,5$ часа после каждого цикла приготовления возможны следующие варианты дневного плана приготовления смесей, показанные на рис. 12. По критерию минимизации непроизводительных простоев $t_{\text{пр}}$ лучшим вариантом является вариант В.

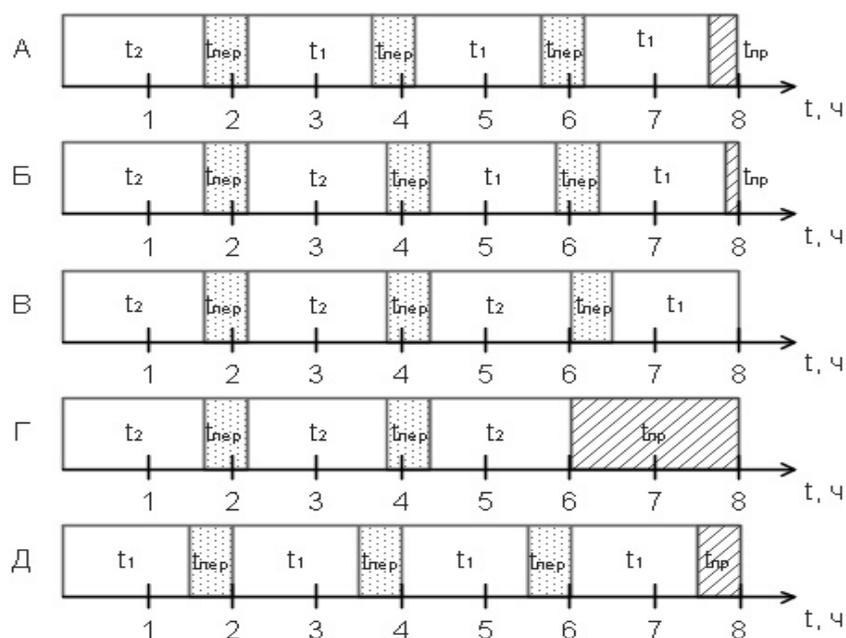


Рисунок 12 – Варианты технологических карт приготовления смесей в течение рабочего дня

Выводы

Проведенные исследования показали, что искусственные агенты – качественно новое средство представления сложных сущностей. Агентно-ориентированная концепция, основанная на использовании знаний в виде продукционных правил и различных протоколов взаимодействий автономных искусственных агентов, порождает новый подход к программированию распределенных неоднородных систем [3]. Он даёт возможность программно реализовать динамику взаимодействия автономных компонентов сложной системы с учётом их интеллектуальности.

Искусственные агенты моделируют поведение компонентов системы. Когда поведение компонентов в среде не поддаётся традиционному математическому описанию, представление об их поведении можно выразить с помощью продукционных правил. В искусственном интеллекте продукционные правила как форма представления знаний широко используются для формализации интеллектуальной деятельности. В многоагентных системах продукционные правила вида «**Если условие, то действие**» позволяют описать в естественной форме сложное поведение искусственного агента в изменяющейся внешней среде. Они дают возможность агенту оценивать состояние внешней среды и предпринимать соответствующие действия.

Применение продукционных правил обеспечивает гибкость создаваемых агентных моделей, которая проявляется в следующем:

- удобстве модификации (старые правила можно изменять и заменять на новые относительно независимо от других правил);
- возможности уточнения поведения агентов (добавление новых правил происходит относительно независимо от других).

Наличие механизма формирования целей и механизма взаимодействия (коммуникации и кооперации) агентов является ещё одним преимуществом многоагентных систем по сравнению с другими программными моделями. Потребность в коммуникации связана с реализацией агентом целенаправленной деятельности. Агенты взаимодействуют, чтобы совместно использовать информацию, выполнять задачи, достигать общих целей. В многоагентных системах решение задач достигается благодаря взаимодействию (коммуникации и кооперации) автономно действующих искусственных агентов, что соответствует в большей степени процессу принятия решений коллективом сущностей,

обладающих интеллектом. Из коллективного взаимодействия агентов рождается обобщённое поведение системы.

Таким образом, искусственные агенты не только воплощают в себе преимущества традиционных объектов и систем, основанных на знаниях, но и обладают новым качеством, обусловленным возможностью коммуникации и кооперации. Это придаёт новые качества агентным моделям, с помощью которых можно строить модели предметных областей, трудно описываемых традиционными методами.

Список литературы

1. Кельтон В. Имитационное моделирование. Классика CS [Электронный ресурс] / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб.: Питер: Киев: Издательская группа ВHV, 2004. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/182848/>
2. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты [Электронный ресурс] / А. Борщев. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>
3. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
4. Agent-oriented programming [Электронный ресурс] / Y. Shoham // Artificial Intelligence. – 1993. – №60. – p. 51-92. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.5119&rep=rep1&type=pdf>
5. BDI agents: from theory to practice [Электронный ресурс] / A.S. Rao, M.P. Georgeff. – Режим доступа: <https://www.aaai.org/Papers/ICMAS/1995/ICMAS95-042.pdf>
6. Федяев О.И., Жабская Т.Е., Грач Е.Г. Многоагентная модель процесса обучения студентов на кафедральном уровне // Сб.науч.тр. ДонНТУ. Серия: «Проблемы моделирования и автоматизации проектирования динамических систем»(МАП-2006).-2006. - Вып. 5(116).- С.105-116.
7. Федяев О.И., Зудикова Ю.В. Иерархическая разработка многоагентной модели процесса производства промышленных смесей // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка" (КОТ-2011). - Вип. 13(185). – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011.- С. 216-223.
8. Building electronic marketplaces with the ZEUS agent toolkit [Электронный ресурс] / J.C. Collis, L.C. Lee. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.54.3018>

Получено 10.09.2011