

УДК 005:004[031+032+89]

К.В. ТЕМНИК

Інститут інформатики і штучного інтелекту ДонНТУ, Україна

## ФОРМАЛЬНОЕ ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МНОГОАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРСОНАЛОМ В УСЛОВИЯХ УДАЛЁННОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

Для задачи проектирования системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества предложен способ формального представления многоагентных систем с использованием графических диаграмм. Диаграмма агентов позволяет графически отобразить имеющиеся категории агентов, их существенные компоненты. Диаграмма функциональной среды формирует наглядное представление множества элементов внешней среды для некоторого агента относительно его целей и функциональных возможностей. Диаграмма агентной деятельности позволяет определить место жизненных циклов агентов в генеральных процессах системы. Составлен соответствующий набор диаграмм для многоагентной системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества.

**Ключевые слова:** агент, многоагентная система, формальное представление, графическая диаграмма, удалённое сотрудничество.

### Введение

В настоящее время всё большую популярность обретает парадигма агентно-ориентированного проектирования, а также агентно-ориентированной разработки программно-аппаратных систем. Теория проектирования и создания интеллектуальных агентов, а также практика их внедрения в информационные и управляющие системы стала одной из наиболее актуальных областей исследований научного сообщества искусственного интеллекта.

Ранее, в работе [1] автором данного исследования была предложена и обоснована концепция использования программных интеллектуальных агентов для моделирования рабочего поведения удалённых сотрудников распределённого офиса. На основании указанной концепции была спроектирована соответствующая структура системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества с использованием моделей рабочего поведения сотрудников (МРПС), которая показана на рисунке 1.

Система предназначена для сопровождения процессов рабочего взаимодействия в условиях удалённого сотрудничества между исполнителями (собственно удалёнными сотрудниками) и их менеджером (в ситуации, когда один менеджер работает с несколькими исполнителями). Такое сопровождение актуально на двух ключевых этапах взаимодействия: этап согласования работы (поиск и выбор исполнителя, а также передача ему некоторой работы) и этап контроля результата (передача выполненной работы менеджеру со всеми сопутст-

вующими процессами).

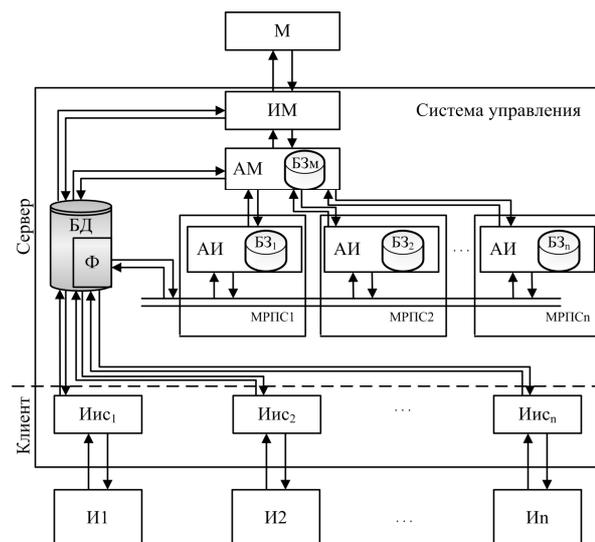


Рис. 1. Структура системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества с использованием МРПС:

АМ – агент-менеджер; АИ – агент-исполнитель; БД – база данных системы; БЗм – база знаний агента-менеджера; БЗ<sub>i</sub> – база знаний агента-исполнителя

Для взаимодействия участников процесса удалённого сотрудничества с системой используются соответствующие интерфейсы. База данных включает в себя все формальные данные рабочего взаимодействия в неизменённом виде. Следует также отметить, что в состав базы данных условно вынесен блок фильтра («Ф»), теоретически входящий в со-

став МРПС. Его практической реализацией является сегмент БД, в который выносятся только доступные моделям данные (к остальной части базы МРПС доступа не имеет). Отметим, что шина данных, которая связывает агентов между собой, также позволяет им отправлять друг другу сообщения. Хотя на данном этапе исследования задачи коллективной работы агентов-исполнителей не исследуются, возможность их взаимодействия присутствует.

Принципиально важными элементами системы являются агент-менеджер и набор агентов-исполнителей.

Каждый агент-исполнитель накапливает и обрабатывает уникальную для соответствующего ему фактического удалённого сотрудника информацию. Эта информация впоследствии может быть использована менеджером с целью прогнозирования определённых аспектов рабочего поведения такого сотрудника посредством использования соответствующей МРПС. Использование программного агента для реализации данной задачи логически обосновано тем, что автономный агент является наиболее подходящей методологией для моделирования интеллектуальной деятельности человека.

Агент-менеджер фактически заменяет в системе центральный управляющий блок, и снабжен всей соответствующей функциональностью (сопровождение всех ключевых процессов работы системы). Решение внедрить в систему программного агента с новой ролью было принято по причинам, перечисленным ниже.

1. Управляющий блок по определению обладает наибольшей степенью автономности в любой системе, что позволяет оценить его, как агента.

2. Помещение в систему управляющего агента позволяет логически обосновано объединить в рамках одного блока несколько важных функций.

3. Чем большее количество блоков одной системы реализовано в рамках одной и той же парадигмы, тем легче сама система поддаётся обновлению и расширению.

На данном этапе проектирования предполагается, что в рамках интерфейсов (ИМ – интерфейс менеджера и Иис; – интерфейс исполнителя) никакая специфическая обработка не выполняется. Таким образом, именно программные агенты представляют собой основу предлагаемой системы управления, и, соответственно, выступают в качестве предмета детального рассмотрения исследования.

### Постановка задачи исследования

Поскольку алгоритмически вся функциональная часть системы заключена в работе входящих в её состав программных агентов, то для эффективно-

го проектирования такой системы, в первую очередь, необходимо разработать её многоагентное представление.

Задача формального представления проектных решений относительно многоагентных систем косвенно затрагивается практически во всех работах, посвящённых данной тематике. Среди наиболее значительных работ зарубежных авторов по данной тематике можно выделить [2,3,4,5]. В работах отечественных авторов разработки в рамках многоагентной парадигмы встречаются намного реже (например [6]). Кроме того, какой-либо документации либо монографии, включающей в себя полное проектное описание некоторой комплексной многоагентной системы, выявлено не было.

В указанных работах неоднократно встречаются комплексные описания агентных и многоагентных систем, однако не делается попыток разработать методiku общего представления произвольной многоагентной системы, которое освещало бы все основные её стороны и особенности. Очевидно, что только текстово-графическое описание может претендовать на полноту изложения особенностей функционирования многоагентной системы, сохраняя при этом достаточную компактность.

В данной статье разработан способ формального представления многоагентных систем с использованием набора графических диаграмм.

### Результаты исследования

Согласно предлагаемому способу, для того, чтобы формально графически выразить все основные особенности некоторой многоагентной системы, необходимо составить набор диаграмм трёх типов, которые перечислены ниже.

1. Диаграмма агентов. Позволяет определить имеющиеся категории агентов, их существенные компоненты, а также вид отношений между ними.

2. Диаграмма функциональной среды. Позволяет определить множество элементов внешней среды для некоторого агента относительно его целей и функциональных возможностей.

3. Диаграмма агентной деятельности. Позволяет определить место жизненных циклов агентов в генеральных процессах системы.

Рассмотрим указанные диаграммы более подробно.

#### 1. Диаграмма агентов

Фактически данный тип диаграммы представляет собой проекцию диаграммы классов UML на область агентного проектирования. Основным элементом такой диаграммы является собственно агент,

который изображается аналогично классу (см. рис. 2): в виде вертикального прямоугольного блока, разделённого на три сегмента.



Рис. 2. Графическое изображение агента в диаграмме агентов

В первом (верхнем) указывается название категории (тип) агента. Два других имеют следующее содержание:

– второй (средний) сегмент содержит цели функционирования агента, причём, допускается указание только основных целей;

– третий (нижний) сегмент заполняется функциями агента, т.е. вариантами его поведения; ключевое отличие от понятия поведения в ООП состоит в том, что агентная парадигма не признаёт внешние события, изменяющие внутреннее состояние агента, его поведением (такие события указывать в этом сегменте нельзя).

Между агентами могут существовать исключительно ассоциативные связи (если иного не подразумевает некоторая конкретная агентная архитектура). При этом допускаются обозначения кратности, имеющие место в диаграмме-прототипе UML. Кроме того, поскольку между автономными агентами на практике может существовать только один способ обмена данными, а именно, приём и передача сообщений, то допускается маркирование ассоциативных связей названием формального средства коммуникаций (языка общения агентов).

На рисунке 3 показана диаграмма агентов многоагентной системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества.

Отметим, что как данная, так и последующие диаграммы не позволяют раскрывать внутреннюю архитектуру агентов, их структуру данных и прочие возможные особенности внутренней реализации. Такой подход выбран автором умышленно по причине того, что указанные особенности не имеют никакого принципиального влияния на многоагентную систему в целом, и, таким образом, для формального определения многоагентных систем являются лишними.

Диаграмма рассмотренного типа всегда составляется первой при проектировании многоагентной

системы, поскольку позволяет определить наиболее важные базовые моменты: роли агентов, их количество, а также суть их автономности.

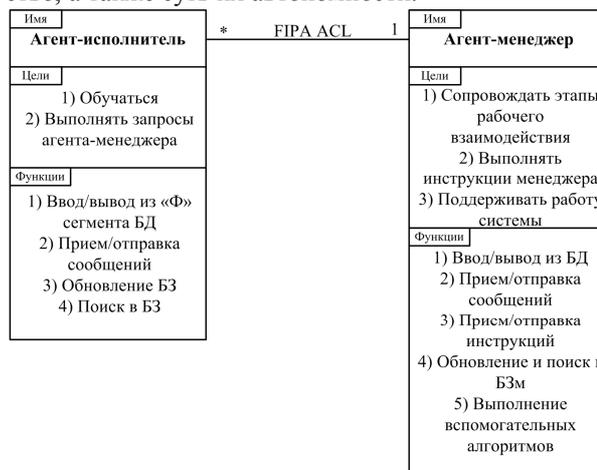


Рис. 3. Диаграмма агентов многоагентной системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества

После того, как цели и возможности агентов определены, необходимо выразить ещё один фундаментальный компонент, образующий (в сочетании с предыдущими) агента как сущность – окружающую среду.

## 2. Диаграмма функциональной среды

Данный тип диаграммы показывает, какие из объектов системы вовлечены в процессы работы определённых внутренних алгоритмов определённого агента. Таким образом, диаграмма функциональной среды позволяет определить рабочую среду агента, ограниченную его целями и возможностями (и отбрасывая таким способом несущественные для него объекты этой среды).

Порядок составления диаграммы функциональной среды показан ниже.

1. В первую очередь изображается агент, относительно которого разрабатывается диаграмма.

2. Затем на диаграмме отмечаются все объекты функциональной среды агента.

3. После того, как изображены все объекты диаграммы, проставляются функциональные нити.

4. Каждая нить подписывается сверху той функцией (набором функций) текущего агента из диаграммы агентов, в исполнении которой принимает участие соответствующий блок функциональной среды.

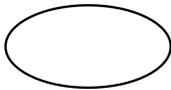
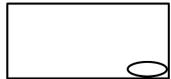
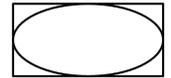
5. Каждая нить подписывается снизу той целью (набором целей) текущего агента из диаграммы агентов, в контексте достижения которой выполняется соответствующая функциональность. С целью

устранения возможных разночтений, подпись цели рекомендуется заключать в фигурные скобки («{}»).

Отметим также, что такая двойственная подпись функциональных нитей в рассматриваемой диаграмме позволяет проектировщику, помимо прочего, установить связь между целями агента и его функциональными возможностями.

Введём набор базовых элементов диаграммы для определения функциональной среды (см. табл. 1).

Таблица 1  
Базовые элементы диаграммы функциональной среды

Представление	Название	Описание
	Агент	Собственно агент, относительно которого строится диаграмма.
	Функциональная нить	Ассоциативная связь, представляемая между агентом и каждым из объектов его среды.
	Объект	Любой объект функциональной среды агента, не попадающий в другие категории представления. Как правило, в качестве таких объектов выступают хранилища данных.
	Внутренний объект	Некоторый объект, который структурно является частью самого агента, однако также служит объектом обработки для его алгоритмов.
	Объект-агент	Объект внешней среды, являющийся другим агентом.

Для формирования наборов функций и целей предлагается использование следующих символов:

- символ «|» используется для объединения нескольких целей или функций на одной нити;
- символ «ALL» используется для формирования полной выборки целей либо функций.

Универсальность предлагаемой диаграммы также подкрепляется тем, что она не актуализует интерфейсы объектов для обмена информацией, а также структуру и типизацию самих информационных потоков. Таким образом, даже неопределённость среды можно выразить с помощью данного формализма, например, реализовав её в качестве некоторого блока генерации неопределённых возмущений с привязанной к нему функциональностью выявления и анализа таких возмущений.

На рисунках 4 и 5 показаны диаграммы функциональной среды агента-исполнителя и агента-менеджера соответственно для многоагентной системы управления персоналом в условиях удалённого сотрудничества.

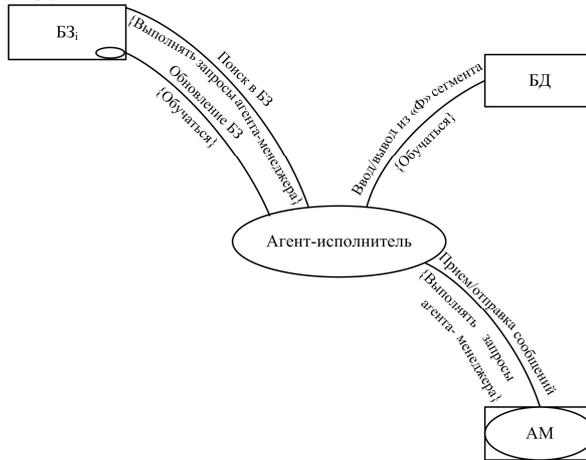


Рис. 4. Диаграмма функциональной среды агента-исполнителя

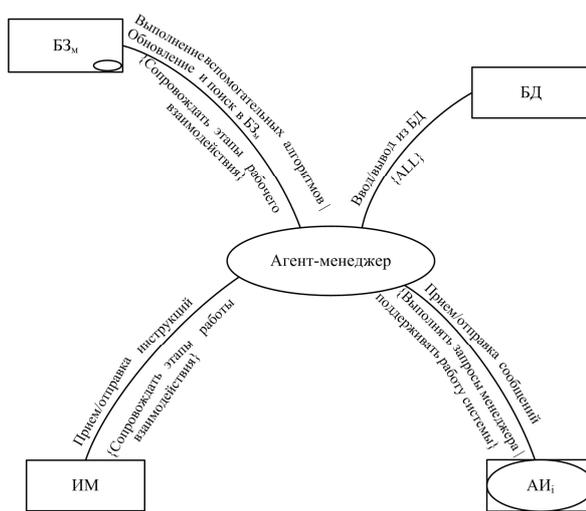


Рис. 5. Диаграмма функциональной среды агента-менеджера

Как видно на приведённых диаграммах, в среду каждого агента входят все значимые для его работы объекты, включая также и других агентов, что в полной мере соответствует развивающейся в мире

агентно-орієнтованої методології проектування.

Отметим, что надписи, сопровождающие функциональные нити, могут принимать как обтекаемую форму, так и быть написаны ровной линией. Кроме того, во всех рассматриваемых формализмах не регламентируется толщина линий, возможные цвета заливки, размеры и формат шрифтов и прочие графические тонкости – это не имеет принципиального значения для сути диаграмм.

Рассмотренные диаграммы составляют минимально допустимый объём содержательного проектирования многоагентной системы. Однако, для того, чтобы рассмотреть систему с функциональной точки зрения, такого представления не достаточно. Чтобы сделать возможной реализацию системы необходимо показать жизненные циклы агентов системы с алгоритмической точки зрения, для чего рассмотрим диаграммы деятельности агентов.

### 3. Диаграмма агентной деятельности

Данный тип диаграммы представляет собой развитие диаграммы деятельности UML. Весь формализм исходной диаграммы сохраняется, однако, для того, чтобы иметь возможность с её помощью отражать особенности функционирования систем, в состав которых входят агенты, следует расширить её за счёт элементов и особенностей, которые перечислены ниже.

Во-первых, обязательным является наличие строго определённых функциональных дорожек. В то время, как в классическом UML их использование предполагается в произвольной форме именования и семантической нагрузки, в диаграмме агентной деятельности автор предлагает усиление агентной составляющей за счёт применения следующих правил:

- одна дорожка может соответствовать либо одному из агентов системы, либо одному из объектов, включённому предварительно в составленные диаграммы функциональной среды;
- деятельность каждого агента отражается на отдельной дорожке;
- дорожки, соответствующие агентам именуется определённым образом, а именно: в формате (без кавычек) «Агент: <<имя>>», где вместо записи <<имя>> указывается любой уникальный идентификатор данного агента.

Во-вторых, помимо стандартных символов, обозначающих начальное и конечное состояния общего процесса, используются специальные символы, обозначающие начальное и конечное состояние агентов (см. рис. 6 а)).

К указанным символам предъявляются следующие требования:

- для обеспечения однозначного соответствия, для определённого агента данные символы располагаются только на той дорожке, которая отражает его деятельность;
- как следствие из предыдущего правила, на каждой дорожке может располагаться только один символ, обозначающий начало агентной деятельности;
- указанная пара символов должна графически ограничивать всю деятельность на той дорожке, на которой присутствует;
- отсутствие таких символов на дорожке, связанной с агентом, не допускается;
- в случае, если начало или завершение деятельности некоторого агента совпадает с началом либо завершением (соответственно) всего генерального процесса, то для обозначения подобных ситуаций применяются конструкции, показанные на рисунке 6 б, в).

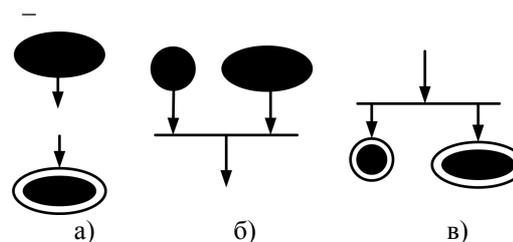


Рис. 6. Символы начального и конечного состояния агентов

В-третьих, отдельные блоки действий, определяющие те части процесса, в которых задействовано больше одного агента (многоагентные действия) должны быть расширены за пределы одной дорожки, покрывая дорожки всех задействованных в процессе агентов. Подобные блоки должны внедряться в диаграмму с использованием следующих правил:

- линия течения генерального процесса входит в такой блок на дорожке того агента, который является инициализатором акта многоагентного взаимодействия;
- на остальных дорожках деятельность других агентов либо приходит к данному блоку по некоторому глобальному условию, либо инициализируется непосредственно перед входом в него.
- обязательным является наличие отдельной диаграммы деятельности UML, отражающей содержание рассматриваемого блока.

С учётом рассмотренных особенностей составим диаграммы агентной деятельности для двух основных этапов процесса удалённого сотрудничества, протекание которых входит в сферу участия

разрабатываемой системы управления: этап согласования работы и этап контроля результата. На рисунке 7 показана диаграмма агентной деятельности для этапа согласования работы.

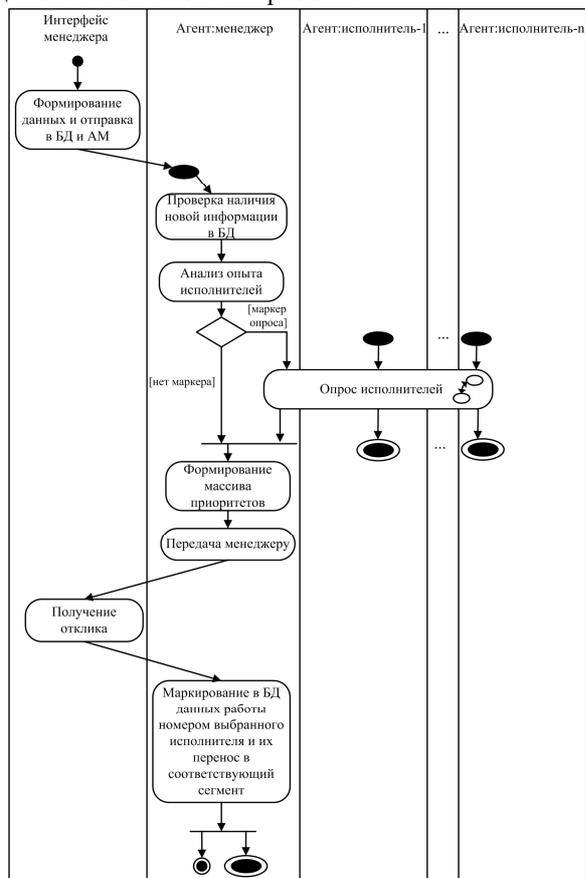


Рис. 7. Диаграмма агентной деятельности этапа согласования работы

Фактически, рассматриваемый тип диаграммы является основой для проектирования и реализации внутренних алгоритмов функционирования агентов. Связано это, в первую очередь, с самим формализмом диаграммы, а также с тем, что центральным её объектом выступает именно агент и его жизненный цикл. При этом, в случае, если агент составляет лишь некоторую часть системы, то при составлении диаграммы агентной деятельности могут быть опущены некоторые элементы более общего процесса, в рамках которого функционирует агент (не существенные для агента элементы). По этой причине применение рассматриваемого формализма наиболее целесообразно в тех случаях, когда система многоагентная, и когда агенты составляют основу её функционирования.

Диаграмма агентной деятельности этапа контроля результата составляется аналогичным образом.

На рисунке 8 показана диаграмма деятельности для блока опроса исполнителей. Согласно рассмот-

ренным выше требованиям данная диаграмма выполнена в рамках классического формализма UML, и отражает суть процесса опроса моделей рабочего поведения сотрудников.

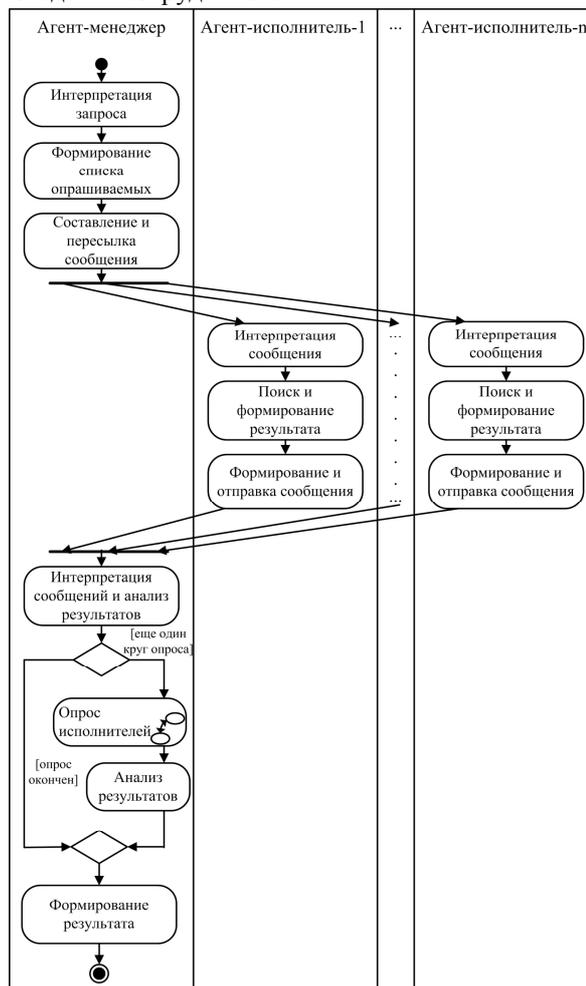


Рис. 8. Диаграмма деятельности опроса исполнителей

Отметим также, что для освещения определённых аспектов многоагентной системы, в зависимости от ситуации, допускается подкрепление рассмотренной совокупности диаграмм дополнительными описаниями с использованием формализмов, не противоречащих парадигме агентно-ориентированного проектирования. Так, в случае, когда роль определённого агента в системе требует более детального рассмотрения, рекомендуется в сочетании с диаграммой агентов использовать PEAS описание ([7]) проблемной среды такого агента.

## Выводы

Для формального графического представления многоагентных систем было предложено использовать три вида диаграмм: агентов, функциональной среды и агентной деятельности.

Діаграма агентів дозволяє графічно зобразити існуючі категорії агентів, їх суттєві компоненти.

Діаграма функціональної середовища формує наглядне представлення множини елементів зовнішнього середовища для певного агента стосовно його цілей та функціональних можливостей.

Діаграма агентної діяльності дозволяє визначити місце життєвих циклів агентів в загальних процесах системи.

Для демонстрації застосовності запропонованого формалізму було складено відповідний набір діаграм для багатоагентної системи управління персоналом в умовах віддаленого співробітництва.

### Література

1. Шушур, А.Н. *Моделювання робочого поведіння віддалених співробітників з використанням інтелектуальних агентів [Текст] / А.Н. Шушур, К.В. Темник // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2011. – №6/2(54). – С. 19 – 21.*

2. Wooldridge, M. *An Introduction To Multiagent Systems [Text] / M. Wooldridge. – Liverpool. : Wiley & Sons, 2002. – 342 p.*

3. Jennings, N.R. *On agent-base software engineering [Text] / N.R. Jennings // Artificial Intelligence. – 2000. – №117. – P. 277 – 296.*

4. Vidal, J.M. *Fundamentals of Multiagent Systems with NetLogo Examples [Електронний ресурс] / J.M. Vidal. – 2010. – Режим доступу: <http://multiagent.com/p/fundamentals-of-multiagent-systems.html> - 01.09.2012г.*

5. Shoham, Y. *Multiagent Systems: Algorithmic, Game-Theoretic, and Logical Foundations [Text] / Y. Shoham, K. Leyton-Brown. – New York : Cambridge University Press, 2008. – 504 p. – ISBN 0521899435.*

6. Тарасов, В.Б. *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика [Текст] / В.Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.*

7. Рассел, С. *Искусственный интеллект: современный подход [Текст] / С. Рассел, П. Норвіг. – 2-е изд. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1408 с.*

Поступила в редакцию 20.09.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., зав. каф. вычислительной математики и программирования В.Н. Павлыш, Донецкий национальный технический университет, Украина.

### ФОРМАЛЬНЕ ГРАФІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ БАГАТОАГЕНТНИХ СИСТЕМ В ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ В УМОВАХ ВІДДАЛЕНОГО СПІВРОБІТНИЦТВА

*К.В. Темник*

Для задачі проектування системи управління персоналом в умовах віддаленого співробітництва запропоновано засіб формального представлення багатоагентних систем з використанням графічних діаграм. Діаграма агентів дозволяє графічно відобразити наявні категорії агентів, їх суттєві компоненти. Діаграма функціонального середовища формує наочне представлення множини елементів зовнішнього середовища для певного агента стосовно до його цілей та функціональних можливостей. Діаграма агентної діяльності дозволяє визначити місце життєвих циклів агентів у загальних процесах системи. Складено відповідний набір діаграм для багатоагентної системи управління персоналом в умовах віддаленого співробітництва.

**Ключові слова:** агент, багатоагентна система, формальне представлення, графічна діаграма, віддалене співробітництво.

### MULTIAGENT SYSTEMS FORMAL GRAPHICAL REPRESENTATION IN THE TASK OF PERSONNEL MANAGEMENT IN REMOTE EMPLOYMENT CONDITIONS

*К.В. Темник*

Multiagent systems formal representation way with use of graphical diagrams is offered for the task of design of personnel management system in remote employment conditions. Agent diagram allows to display graphically available categories of agents and their essential components. Functional environment diagram forms evident representation of a set of elements of external environment for some agent concerning his purposes and the functional capabilities. Agent activity diagram allows to define a place of life cycles of agents in general processes of system. The corresponding set of diagrams for multiagent personnel management system in remote employment conditions is made.

**Key words:** agent, multiagent system, formal representation, graphical diagram, remote employment.

**Темник Кирилл Валериевич** – аспирант каф. компьютеризированных систем управления, Институт информатики и искусственного интеллекта ДонНТУ, Донецк, Украина, e-mail: temnykk@gmail.com