

УДК 004.896

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНОЙ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ СНАБЖЕНИЯ СЕТИ АВТОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЙ

Аксенов К.А., Неволлина А.Л.*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: wiper99@mail.ru*

В статье решена задача разработки гибридной мультиагентной архитектуры для мультиагентной модели процесса преобразования ресурсов. За основу мультиагентной архитектуры модели процесса преобразования ресурсов взяты системы массового обслуживания, имитационное моделирование процессов и гибридная агентная архитектура InteRRaP. Для описания реактивной составляющей в данной архитектуре используются диаграммы деятельности и продукционная база знаний. Для описания интеллектуальной составляющей используется фреймовая база знаний. Данная гибридная архитектура была применена при разработке интеллектуальной системы поддержки принятия решений планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций. Гибридная мультиагентная архитектура процесса преобразования ресурсов программно реализована в результате интеграции мультиагентной системы динамического моделирования ситуаций BPsim.MAS, корпоративной информационной системы, системы поддержки принятия решений BPsim.DSS и интеллектуального агента «Планировщик». Проведена экспериментальная проверка архитектуры и системы поддержки принятия решений.

Ключевые слова: сети автозаправочных станций, планирование, анализ процессов, автоматизированная информационная система, мультиагентный подход, имитационное моделирование, агентная архитектура

APPLICATION OF HYBRID MULTI AGENT ARCHITECTURE IN SUPPLY CHAIN SCHEDULING DECISION SUPPORT SYSTEM OF PETROL STATIONS NETWORKS

Aksenov K.A., Nevolina A.L.*Ural Federal University named after First President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, e-mail: wiper99@mail.ru*

In this work hybrid agent architecture of multi agent resources processes model is developed. The model of multi agent resources conversion process based on queue systems, process simulation and hybrid agent architecture of InteRRaP. For description reactive part the architecture are used activity diagram and production knowledge base. For description intelligent part the architecture is used frame knowledge base. The hybrid agent architecture was applied for intelligent decision support system development of supply chain scheduling of petrol stations network. The hybrid agent architecture was software developed in integration result of multi agent simulation system BPsim.MAS, enterprise information system, decision support system BPsim.DSS and intelligent agent «Scheduling». Experimental analysis of new architecture and decision support systems was done.

Keywords: petrol stations networks, scheduling, analysis of processes, automated information system, multi agent approach, simulation, agent architecture

Результаты применения мультиагентных технологий уже хорошо зарекомендовали себя в логистике: так, аппарат сетей потребностей и возможностей [10–12], программно реализованный в мультиагентных системах Magenta и Смарт Трак эффективно применяется. Результаты анализа ряда мультиагентных систем приведены в [3].

Одним из первых применений мультиагентных систем было использование распределенных информационных систем управления и планирования производственных системами [7–9], системами информационного поиска и электронной коммерции. Целью использования таких распределенных вычислительных узлов было разбиение большой задачи на более мелкие и их передача для обработки на узлах с меньшими вычислительными ресурсами по сравнению с централизованной системой.

Выделяют 3 класса архитектур агентов:

1) «интеллектуальный агент», данный тип строится на базе систем, основанных на знаниях (англ., deliberative agent architecture);

2) «реактивный агент», данная архитектура поведенческая или событийная (англ., reactive architecture);

3) «гибридный агент», гибридная архитектура использует одновременно принципы построения интеллектуального и реактивного агента.

Анализ развития и применения мультиагентных систем

В последние десятилетия идет гибридизация и интеграция различных методов моделирования. Так, разрабатываются системы мультиагентного имитационного моделирования, которые по своей сути за

счет расширения проблемно и объектно ориентированных языков моделирования и использования различных аппаратов (схем массового обслуживания, дискретно-событийного подхода, агентов) позволяют строить агрегативные схемы реальных систем. К таким системам относятся системы AnyLogic, BPsim. Развитие языков и средств программирования, СУБД, информационных технологий позволило вывести на новый уровень технологии, используемые при разработке мультиагентных систем.

Один из вариантов реализации распределенной мультиагентной системы для топливных предприятий описан в [5]. Пример гибридизации мультиагентного подхода и имитационного моделирования демонстрирует мультиагентная модель процесса преобразования ресурсов (МППР). Модель МППР [2] разработана на основе расширения модели процесса преобразования ресурсов интеллектуальными агентами и предназначена для моделирования организационно-технических, технологических, логистических, производственных и бизнес-процессов и поддержки принятия управленческих решений.

Архитектура агента МППР основана на гибридной архитектуре InteRRaP [4, 8–9] и представлена на рис. 1.

СППР, согласно модели МППР и гибридной архитектуре InteRRaP, позволяет вырабатывать решения как с проверкой их на мультиагентной имитационной модели, так и без нее (в данном случае ре-

альные данные с корпоративной информационной системы поступают на сенсоры агента «Планировщик», а результат его работы (сформированный план) выдается через эффекторы.

Согласно InteRRaP-архитектуре модель агента МППР состоит из 4-х уровней [4]:

1. Модель *внешней среды* соответствует следующим элементам МППР: преобразователям, ресурсам, реактивно-интеллектуальным агентам, средствам, параметрам, целям. Внешняя среда выполняет следующие функции: генерирует задания, осуществляет передачу сообщений между агентами, обрабатывает команды агентов (выполняет преобразование ресурсов), изменяет текущее состояние внешней среды (переводит ситуацию S_n в ситуацию S_{n+1}). Внешняя среда представляет собой модель объекта управления, построенную из элементов МППР. Модель объекта управления описывает процессы потребления топлива на АЗС, процессы работы АЗС, нефтебаз, процессы поставок топлива.

2. Компоненты *интерфейса с внешним миром* и *реактивного поведения* реализованы в виде базы продукционных правил агента (*тактическая БЗ*) и машины логического вывода (алгоритма имитатора).

3. Уровень *локального планирования* предназначен для поиска эффективных решений. Компонента локального планирования реализована на основе фреймовой ЭС (представляет собой фреймовую *стратегическую БЗ*).

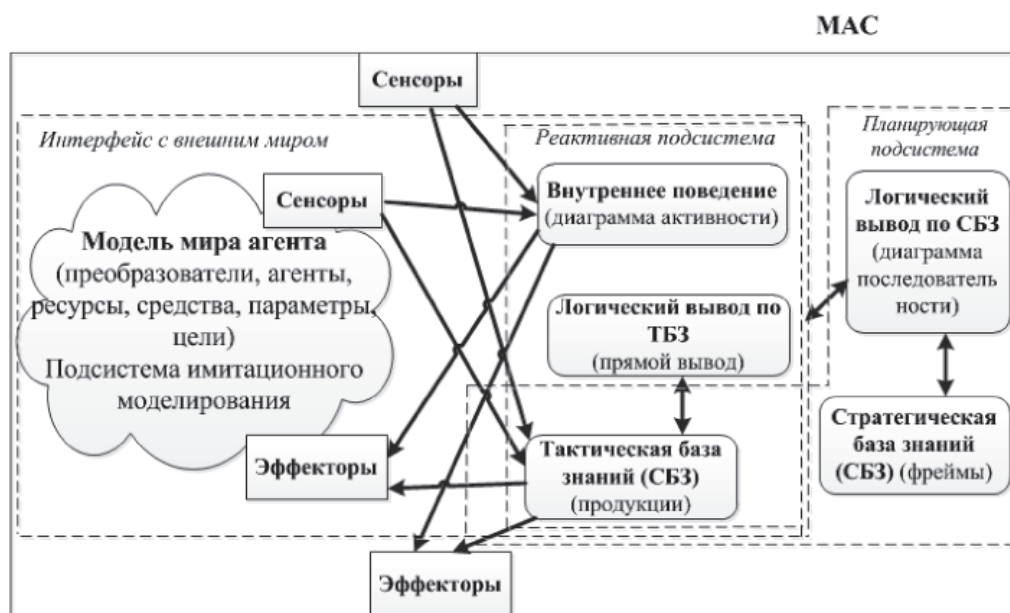


Рис. 1. Архитектура агента МППР

4. Подсистема кооперации с другими агентами позволяет интегрироваться с гибридными агентами МППР, а также с внешними информационными системами. В качестве подсистемы кооперации с другими агентами выступает модуль обмена данными с автоматизированными системами предприятия, который реализует принципы шины данных предприятия (Enterprise Services Bus), такой подход реализован в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции [6].

Проектирование концептуальной модели предметной области и базы знаний (БЗ) локального планирования агента реализовано на основе расширения диаграммы классов языка UML. Механизм логического вывода по данной БЗ реализован через диаграмму поиска решений, построенной на основе диаграммы последовательности [1]. Каждое решение в БЗ представляет собой план действий агента. Каждый план состоит из набора правил из базы реактивного компонента. На основе найденного решения происходит обновление текущего плана агента. Перебор всех вариантов, содержащихся в БЗ, формирует библиотеку планов агента.

Применение продукционного подхода в BPsim.MAS при планировании развоза топлива

Продукционная модель представления знаний используется при описании реактивных и интеллектуально-реактивных агентов МППР. Пример фрагмента продукционной базы знаний агента показан на рис. 2.

В результате работ по оптимизации алгоритма имитатора BPsim.MAS в алгоритм обработки агентов и в их структуру были добавлены **правила «глобального условия»** и соответствующий признак, что позволило «отсеивать» правила агентов, которые для них являются второстепенными и требуют проверки в случае выполнения правила «глобального условия». Пример описания правил глобального условия показан на рис. 3.

Был проведен эксперимент, по оценке скорости работы модели с оптимизированным и более ранним алгоритмом. **В результате оптимизации алгоритма добились ускорения работы модели в 4,58 раза.** Параметры рабочего компьютера 2,13 ГГц Intel Core™ 2 CPU, 2 GB ОЗУ.

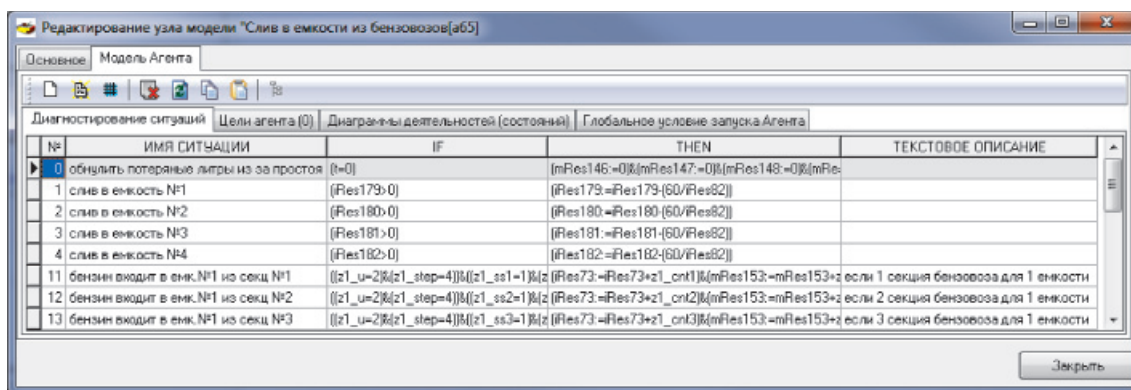


Рис. 2. Условия блока, реализующего слив бензина из бензовозов

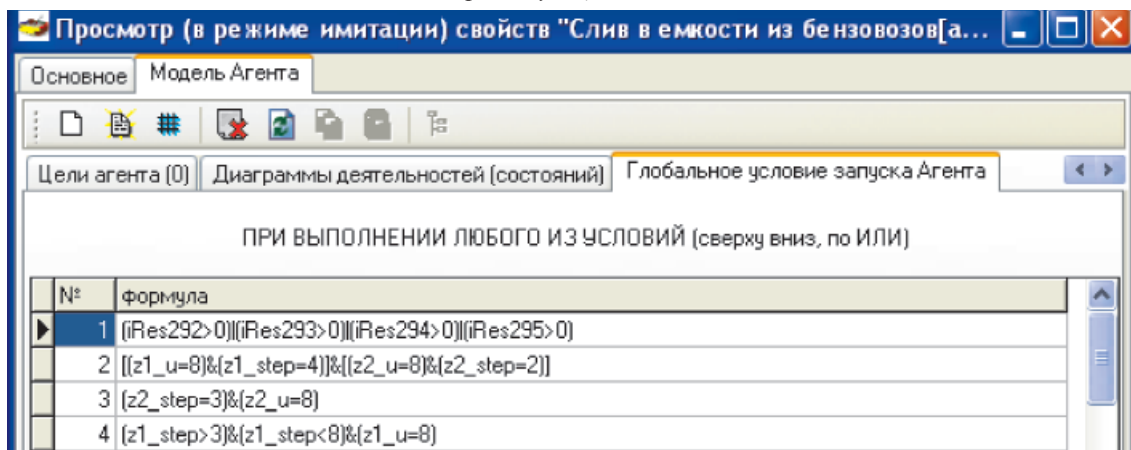


Рис. 3. Глобальное условие запуска Агента

Применение фреймового подхода в программном агенте «Планировщик»

Пример диаграммы поиска решения для агента подзадачи распределения заявок-потребностей от АЗС по бензовозам в визуальном конструкторе машины логического вывода BPsim.DSS для агента «Планировщик» показан на рис. 4.

Визуальный интерфейс диспетчера агента «Планировщик» показан на рис. 5.

Применение машины логического вывода фреймовой системы и визуального интерфейса диспетчера позволяют гибко решать ситуации, связанные с диспетчеризацией. Ситуации диспетчеризации, требующие минимальной корректировки плана, обрабатывает ЛПП с использованием визуального интерфейса. В случаях существенной корректировки плана или полного перестроения используется сценарий машины логического вывода.

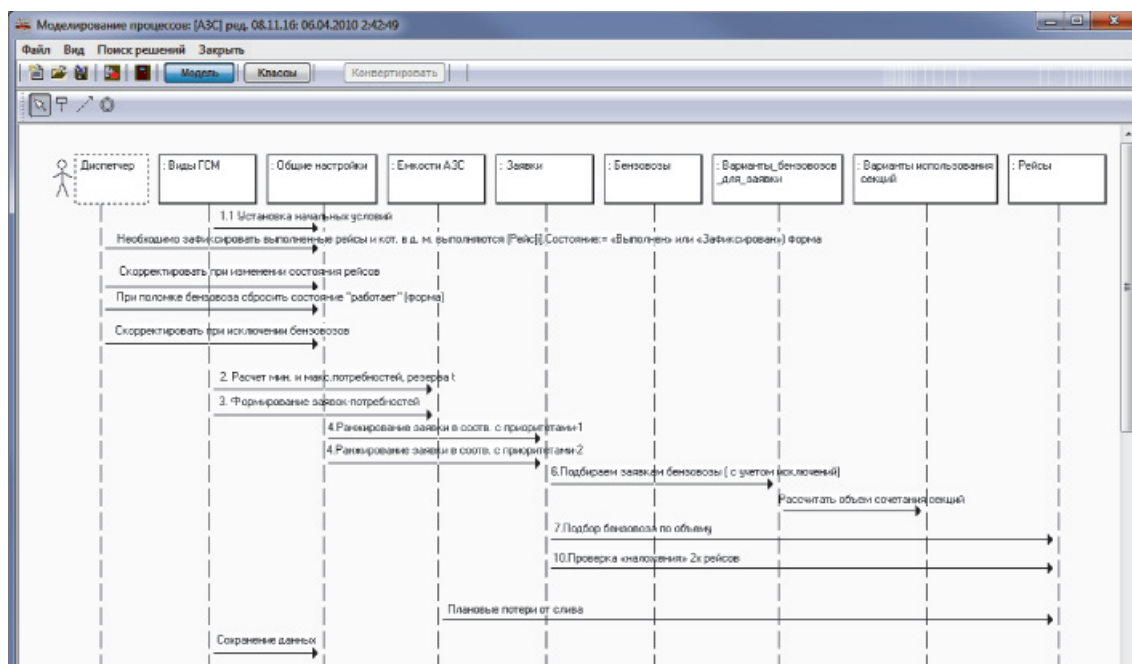


Рис. 4. Диаграмма дерева поиска решений «Планирование развоза топлива. Распределение заявок по бензовозам»

1. Информация по состоянию АЗС									
АЗС	Топливо	27.11	Ср. расход	Мин. расход	Средний расход	Остаток топлива	Емкость	Вид топлива	Вид
1 АЗС №2 Рек	1071	1030	1030	1030	1030	1.46	2200	10300	
2 АЗС №2 Рек	992	3200	3200	3200	3200	3.6	14222	1714	
3 АЗС №2 Рек	763	430	430	430	430	18.72	14118	5370	
4 АЗС №2 Рек	Д(14)	2330	2330	2330	11270	4.67	15254	4994	
5 АЗС №2 Рек	985	0	0	0	0	0	0	0	
6 АЗС №3 Шелков	937	7000	7000	7000	14039	1.86	25430	11381	
7 АЗС №3 Шелков	952	5000	5000	5000	19963	3.42	25679	9716	
8 АЗС №3 Шелков	763	500	500	500	12830	23.66	27877	19047	
9 АЗС №3 Шелков	Д(14)	7000	7000	7000	16380	2.29	25675	9696	
10 АЗС №3 Шелков	935	5000	5000	5000	18807	3.52	25695	7889	
11 АЗС №5 Павловский Канализ	937	7700	7700	7700	13850	1.67	26415	12955	
12 АЗС №5 Павловский Канализ	Д(12)	10700	10700	10700	18820	16.97	26298	7449	
13 АЗС №5 Павловский Канализ	993	3180	3180	3180	8150	2.25	11061	2911	
14 АЗС №7 Н. Таган	767	365	365	365	27507	100.03	38538	9031	
15 АЗС №7 Н. Таган	Д(12)	485	485	485	14905	28.67	37561	22896	
16 АЗС №7 Н. Таган	933	1350	1350	1350	7909	5.12	36750	27881	
17 АЗС №7 Н. Таган	934	1810	1810	1810	18112	9.45	36066	17954	
18 АЗС №7 Н. Таган	965	950	950	950	14465	14.17	37223	23558	
19 АЗС №7 Н. Таган	985	100	100	100	2549	25.43	36095	32540	
20 АЗС №8 Павловский Канализ	767	500	500	500	4817	7.03	3677	5160	
21 АЗС №8 Павловский Канализ	Д(12)	950	950	950	19151	8.43	14165	5024	
22 АЗС №8 Павловский Канализ	937	4900	4900	4900	5930	1.1	14147	8217	
23 АЗС №8 Павловский Канализ	994	1300	1300	1300	6276	3.29	9016	4638	
24 АЗС №10 Шелков 2	991	0	0	0	0	0	0	0	
25 АЗС №10 Шелков 2	932	0	0	0	0	0	0	0	
26 АЗС №10 Шелков 2	763	0	0	0	0	0	0	0	
27 АЗС №10 Шелков 2	Д(14)	0	0	0	0	0	0	0	
28 АЗС №10 Шелков 2	Д(15)	0	0	0	0	0	0	0	
29 АЗС №14 Серов. Заправка 1	767	860	860	860	14399	15.59	26098	11610	
30 АЗС №14 Серов. Заправка 1	Д(12)	1695	1695	1695	48398	27.96	54848	6490	
31 АЗС №14 Серов. Заправка 1	933	3075	3075	3075	22700	7.06	54511	31811	
32 АЗС №14 Серов. Заправка 1	934	700	700	700	6704	11.01	26330	17529	
33 Мени АЗС №22 Аламанкастры	991	1499	1499	1499	7230	4.15	0	0	
34 Мени АЗС №22 Аламанкастры	932	2915	2915	2915	12100	3.81	0	0	

2. Информация по состоянию БВ									
БВ	№	Вид	на 27.11	Остаток	на 27.11	Остаток	на 27.11	Остаток	на 27.11
Служ. ГСМ и Личный	1	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Служ. ГСМ Шелков	1	60000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
Служ. ГСМ Дроздовский	1	60000	40000	40000	40000	40000	40000	40000	40000
Служ. ГСМ Дроздовский	2	50000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Служ. ГСМ Бавленко	1	60000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Служ. ГСМ Ровинская	2	80000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000

3. Информация по плану бензовозов									
№	Марка	Расч.	Объем	сод. 1	сод. 2	сод. 3	сод. 4	сод. 5	сод. 6
1	ТЭДРМ	КАМАЗ 54111	54	23343	7890	7798	7895		
2	ОТБЕД	КАМАЗ	41	17212	8545	8667			
3	МАЗ	КАМАЗ 5334	34.5	7860	7890				
4	ПРБТТ	КАМАЗ 533702	38.5	19665	6115	5040	8910		
5	ТЭДРМ	КАМАЗ 5337	34.5	11060	11060				
6	АМАЗ	КАМАЗ 533702	32.5	11080	5915	5185			
7	ТЭДРМ	КАМАЗ 5337	25	4536	4536				
8	АМАЗ	КАМАЗ 5337	37.5	11070	5905	5165			
9	ТЭДРМ	КАМАЗ 5336	38.5	19600	5890	5150	8900		
10	ТЭДРМ	КАМАЗ	0	11070	5165	5165			
11	ТЭДРМ	КАМАЗ	0	22850	7525	7785	7885		
12	ТЭДРМ	КАМАЗ	0	23242	7954	7798	7898		
13	ТЭДРМ	КАМАЗ	0	10980	5900	5480			
14	ТЭДРМ	КАМАЗ	0	10927	5427	5000			

Рис. 5. Визуальный интерфейс диспетчера

Сопоставление планов на конец сентября – начало октября

Номер дня	Количество рейсов, факт	Количество рейсов, расчет	Объем перевозки, факт, л	Объем перевозки, расчет, л
1	24	22	330955	303530
2	7	14	105504	249972
3	22	20	303036	304103
4	16	18	242312	267848
5	21	21	338067	320061
6	23	19	344424	289223
7	20	19	251136	289761
8	18	29	264748	440392
9	18	23	275179	349396
10	20	20	303533	305164
ИТОГО:	189	205	2758894	3119450
Отклонение объема перевозки расчета к факту				1,131

Результаты сравнения расчетного плана (с использованием СППР) и фактического представленных в таблице. Предварительным этапом отработки алгоритма машины логического вывода программного агента была отладка и уточнение знаний предметных специалистов.

Отлаженный алгоритм демонстрирует хорошую сходимость и превышение дневного объема перевозки в среднем на 13%. Дополнительно требуется отметить, что качество принимаемых решений как без информационных технологий, так и с использованием интеллектуальных СППР решения, зависит от диспетчера и в конечном итоге от его опыта, а также от доступных и находящихся в его распоряжении ресурсов и средств (парка транспортных средств, их габаритов, объемов и количества секций и т.д.).

Заключение

В данной работе описано применение гибридной архитектуры мультиагентного процесса преобразования ресурсов к задаче снабжения развоза топлива по сети автозаправочных станций. Гибридный агент МППР содержит две базы знаний: производственную для реактивной составляющей и фреймовую для интеллектуальной. Разбиение правил производственной базы знаний на обычные правила и правила глобального условия позволили ускорить алгоритм мультиагентного имитационного моделирования. Гибридная мультиагентная архитектура была апробирована в ходе разработки и отладки системы поддержки принятия решений задачи снабжения сети автозаправочных станций.

Список литературы

1. Аксенов К.А. Интеллектуальная система моделирования «BPSIM.MSS» и объектно-структурный метод технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М., 2010. – № 8. – С. 19–27.
2. Аксенов К.А. Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. – М., 2009. – № 6. – С. 38–45.
3. Аксенов К.А., Неволлина А.Л., Аксенова О.П., Смолий Е.Ф. Мультиагентное моделирование и планирование логистики // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=9744> (дата обращения: 24.10.2016).
4. Аксенов К.А., Шолина И.И., Сафрыгина Е.М. Разработка и применение объектно ориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб., 2009. – № 3 (80). – С. 87–97.
5. Заходякин Г.В., Мешалкин В.П. Логистическое управление цепями поставок нефтеперерабатывающих предприятий с использованием мультиагентных имитационных моделей // Нефтегазовое дело. – 2003. – <http://www.ogbus.ru> URL: http://www.ogbus.ru/authors/Meshalkin/Meshalkin_1.pdf (дата обращения: 29.05.2013).
6. Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A. Industrial Simulation of Metallurgical Logistics // International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (CISIA 2015). June 28–29. – Bangkok, Thailand. – P. 600–603.
7. Van Dyke Parunak H. Manufacturing Experience with the Contract Net (1987) <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.12.2958> (дата обращения: 22.09.2014).
8. Jorg P. Muller, Markus Pischel The Agent Architecture InterRRap: Concept and Application. – German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI).
9. Klaus Fischer, Jörg P. Müller, Markus Pischel, Darius Schier. A model for cooperative transportation scheduling (1995). – <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.53.7577> (дата обращения: 02.06.2013).
10. Rzevski G., Himoff J., Skobelev P. MAGENTA Technology: A Family of Multi-Agent Intelligent Schedulers. International conference on multi-agent systems // Proceedings of Workshop on Software Agents in Information Systems and Industrial Applications 2 (SAISIA). Fraunhofer IITB. – Germany, February 2006. – URL: <http://rzevski.net/06%20i-Scheduler%20Family.pdf>.
11. Skobelev P.O. Open multi-agent system for operative processing of information in the decision-making processes: Avtoref. dis. on competition of a scientific degree. Kazan. step. Ph. D. – Samara, 2003.
12. Vittikh V.A., Skobelev P.O. Multiagent Interaction Models for Constructing the Needs-and-Means Networks in Open Systems // Automation and Remote Control. – 2003. – Vol. 64. – P. 162–169.