

УДК 001.57:004.942

А.В. ПОПОВ, А.Г. ПЛЕШАКОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОЦЕССО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПОВЕДЕНИЕ АГЕНТОВ В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

Проанализированы существующие модели поведения агентов сложных систем. Выделены особенности представления сложных производственных систем как мультиагентных систем. Дано представление логистических потоков и производственных процессов в виде поведения и взаимодействия агентов. Разработана модель поведения агента производственной системы, позволяющая проводить имитационное моделирование параллельно выполняющихся производственных процессов. Предложено решение задачи распределения ресурсов между параллельно выполняющимися производственными процессами. Предложенный подход использован для имитационного моделирования типовой производственной системы.

Ключевые слова: производство, агентный подход, поведение агентов, имитационное моделирование

Введение

Материальное производство становится все более распределенной деятельностью не только территориально, но и по принадлежности производственных процессов различным субъектам [1]. Одной из важнейших задач управления является координация различных производственных процессов субъектов производства с учетом его взаимодействия с другими субъектами.

Анализ показал, что становится затруднительно применение известных подходов для моделирования производственных процессов (системная динамика, дискретно-событийное моделирование) [2]. Одним из способов, позволяющих решить эту проблему, является применение агентного подхода при исследовании сложных производственных систем. Используя концепцию взаимодействия автономных интеллектуальных субъектов, агентный подход, как нельзя лучше, подходит для представления сложных распределенных и децентрализованных производств [3].

В настоящее время активно разрабатывается инструментарий для создания мультиагентных информационных систем (Java Agent DEvelopment Framework, Smart Python multi-Agent Development Environment, Cougaar) и моделей (AnyLogic, Swarm, Java Swarm, NetLogo). К сожалению, системы имитационного агентного моделирования делают упор на количество агентов, а не на их качество (сложность поведения), сводя взаимодействие между агентами к их местоположению на «поле» модели [4]. В свою очередь, наиболее популярные реализации агентных платформ не предоставляют инстру-

ментарий для эффективного описания поведения агентов в контексте современных производственных систем [5].

1. Постановка задачи исследования

Для описания поведения агентов существует ряд готовых решений, наиболее низкоуровневым, из которых, является описание поведения в терминах языка программирования агентной платформы, используя стандартные шаблоны [4, 6]: действия выполняются один раз, действия выполняются циклически, действия выполняются с определенной периодичностью. Такие решения являются зависимыми от конкретной реализации агентной среды и в них отсутствуют механизмы обеспечения последовательности выполнения наборов действий, условий выполнения наборов действий и т.д.

Большой популярностью пользуются решения на основе модели BDI [7] (Belief-Desire-Intention), которая позволяет описать поведение агента в терминах предметной области, но не может гарантировать выполнения определенных действий в установленные сроки. Существуют несколько модификаций этого подхода, в том числе AgentSpeak(RT) [8], позволяющий использовать систему приоритетов и задавать максимально допустимые сроки выполнения действий. Также внимания заслуживают событийно-ориентированный (исключительно реактивное поведение на основе шаблонов) и конечно-автоматный (отсутствие планов и возможности задавать последовательности действий) подходы [9].

Таким образом, учитывая особенности производственных процессов [10], необходимо построить

модель поведения агента, которая соответствует следующим требованиям:

- описание поведения в терминах предметной области;
- наличие гарантий выполнения действий;
- обеспечение строгой последовательности выполнения действий;
- возможность планирования.

Для выполнения поставленной задачи необходимо определить агентное представление производственной системы, на основе которой разработать методику описания поведения агента имитационной модели.

2. Решение задачи исследования

В данной работе рассматривается агентное представление модели логистических цепей снабжения и используется функционально-процедурное описание разработанной модели поведения агента.

2.1. Модель производственной системы

Рассмотрим производственную систему. Такая система представляет собой логистическую цепь, каждое звено которой определенным образом изменяет логистические потоки, протекающие через него. Фактически, такая логистическая система выполняет преобразование всех входящих в нее потоков в выходящие (рис. 1).

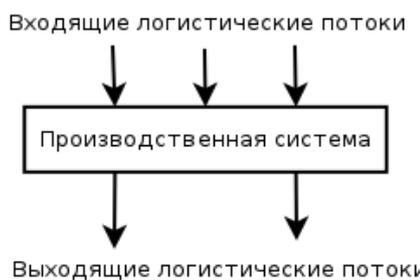


Рис. 1. Типовая логистическая система

Входящими логистическими потоками могут выступать: сырье необходимое для производства; комплектующие, которым необходима сборка; финансовые и людские ресурсы; информация о внешнем, по отношению к системе, пространстве. Выходящими – готовая продукция, отходы производства, финансовые отчисления, необходимые для функционирования системы, запросы на получение информации извне системы и т.п. При этом вектор выходящих потоков зависит не только от значений входящих потоков, но и от текущего состояния ло-

гистической системы.

Таким образом, поведение производственной системы можно описать следующим образом:

$$BH : (\vec{I}, S) \rightarrow (\vec{O}, S'), \quad (1)$$

где \vec{I} – вектор входящих потоков;

\vec{O} – вектор исходящих потоков;

S и S' – старое и новое состояния системы.

В информационных системах управления производством вектора \vec{I} и \vec{O} представляют собой информацию о каких-либо сущностях или процессах (заказы, произведенные системой объекты, поступившие в систему ресурсы, технологические процессы и т.п.).

2.1.1. Субъекты производства

При использовании агентного подхода логистическая цепь представляется как сообщество агентов, каждый из которых может взаимодействовать с другими агентами и окружающей средой.

В контексте логистических систем агентами могут выступать различные сущности исследуемой системы: при рассмотрении технологических процессов агентами могут выступать различные цеха предприятия, если существует необходимость рассмотрения логистической системы на более высоком уровне, то агентами выступают предприятия и их филиалы.

Для примера рассмотрим логистическую систему, изображенную на рис. 2.

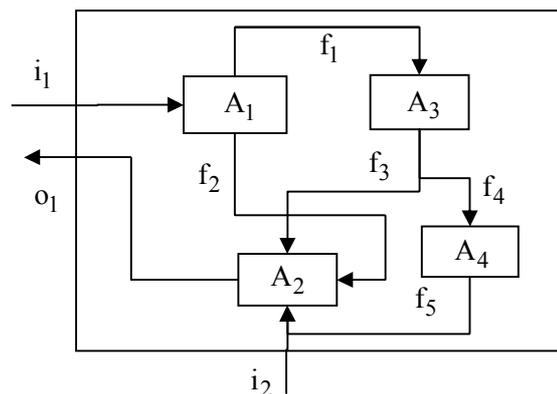


Рис. 2. Агентное представление типовой логистической системы

На рис. 2 $A_1 - A_4$ агенты рассматриваемой логистической системы, o и i – исходящие и входящие соответственно, относительно рассматриваемой системы, логистические потоки, f – потоки, протекающие между агентами. Логистические пото-

ки $f_1 - f_5$ являются материальными и представляют различную продукцию, поток i_1 – сырье, o_1 – готовая продукция, i_2 – заявки на готовую продукцию.

Агентами системы A_1, A_3, A_4 являются производственные цеха, каждый из которых выполняет определенную последовательность технологических операций, агентом A_2 является склад готовой продукции. Действия агента сообщества определяются его поведением.

2.1.2. Объекты производства

Рассмотрим представление логистических потоков в агентных моделях. Как известно [11], выделяют 4 типа логистических потоков: материальные, информационные, транспортные и потоки услуг. Очевидно, что все логистические потоки в конечном итоге можно представить в виде взаимодействия агентов (прием или отправка сообщений определенного типа). По своему характеру, разделим такие взаимодействия на 2 категории:

- высшего уровня;
- низшего уровня.

К взаимодействиям низшего уровня можно отнести, к примеру, информацию о партии деталей (в случае материальных потоков) или наступлении определенного события. В математических моделях логистических систем, материальные составляющие логистических потоков представляют собой информацию о свойствах этих объектов. Таким образом, все взаимодействия, имеющие в своей основе материальные объекты, сводятся лишь к передаче информации об этих объектах, что значительным образом упрощает обработку сообщений подобного типа.

Взаимодействия высшего уровня представляют собой более сильные абстракции. Информацией, содержащейся в сообщениях высшего уровня взаимодействия, являются различные агрегированные и статистические значения параметров (интенсивность, плотность и т.п.) логистических потоков.

2.2. Модель поведения агента

Поведение агента обычно рассматривают как совокупность реактивного и проактивного поведения. Реактивное поведение определяет реакцию агента на какое-либо внешнее воздействие, в то время как проактивное поведение, фактически, отражает способность агента принимать решения, исходя из собственного состояния и параметров внешней среды [12]. Каждый агент сообщества на протяжении своего жизненного цикла взаимодействует с другими агентами сообщества и выполняет различ-

ные производственные задачи. Можно выделить следующие аспекты поведения агента:

- реактивная коммуникативная активность (взаимодействие с другими агентами);
- проактивная коммуникативная деятельность (разработка политик взаимодействия);
- реактивная производственная деятельность (выполнение производственных задач);
- проактивная производственная деятельность (планирование, управление ресурсами).

Проактивные аспекты поведения требуют использования эвристических алгоритмов, что проблематично в имитационном моделировании в силу высоких требований к производительности. По этой причине, в данной работе рассмотрены только реактивные составляющие поведения.

Разработанная модель поведения агента основана на абстрактном автомате с комплексным состоянием и представлена через коммуникативную активность и производственную деятельность.

2.2.1 Коммуникативная активность

Рассмотрим реактивное поведение агента при получении информации в процессе взаимодействия. Формально, процедуру обработки сообщения представим следующим образом:

$$REC : (m, S) \rightarrow S', \quad (2)$$

где m – обрабатываемое сообщение;

S – состояние агента до обработки;

S' – состояние агента после обработки;

Для удобства будем считать, что за обработку каждого типа сообщений отвечает своя процедура (что будет, по сути, детализацией (2))

$$\forall m \in M_k, \exists REC_k \in F, REC_k : (m, S) \rightarrow S', \quad (3)$$

где m – обрабатываемое сообщение;

M_k – k -й тип сообщения;

F – множество процедур обработки сообщений;

f_k – процедура обработки сообщений типа M_k ;

Очевидно, что сообщения принадлежат одному типу, если для их обработки требуются одинаковые действия.

Исходя из (3) можно сформулировать интерфейс агента:

$$I = \{k : REC_k \in F, \forall k\}, \quad (4)$$

который определяет, какие сообщения будут восприниматься агентом.

Таким образом, сообщения, которые поступают агенту, представляют входящие логистические потоки, сообщения отправляемые агентом – исходящие потоки. Множество типов сообщений (4), в некоторой степени, отражает роль выполняемую агентом в системе.

2.2.2 Производственная деятельность

Логистическая операция – это действие или последовательность действий, направленных на изменение характеристик логистических потоков. В контексте агентных моделей это означает отправку сообщений и изменение состояния самого агента.

Определим состояние агента как:

$$S = (R, P, O), \quad (5)$$

где R – ресурсы представленные количественно;

P – ресурсы представленные качественно;

O – действия, которые необходимо выполнить.

Рассмотрим логистическую операцию. Для выполнения любой логистической операции в производственной системе необходимо определенное количество ресурсов. Ресурсы могут быть следующих типов:

- материальные (количественные);
- людские (количественные);
- финансовые (количественные);
- информационные (качественные).

Материальные ресурсы представляют собой сырье, комплектующие, оборудование необходимые для выполнения логистической операции.

Людские ресурсы представляют собой персонал, задействованный в выполнении логистической операции. Особенность данного ресурса состоит в том, что один работник может выполнять различные задачи, в некоторых случаях параллельно.

Финансовые ресурсы представляют собой средства, необходимые для функционирования логистической системы, чаще всего используются косвенно для получения остальных типов ресурсов.

Информационные ресурсы являются данными необходимыми для выполнения логистических операций. Такими данными могут быть параметры технологических процессов, информация о текущем состоянии логистической системы и окружающей ее среде.

В соответствии с (5) логистическая операция может быть представлена как

$$OP : S \rightarrow (S', M_s), \quad (6)$$

где S' – состояние агента после выполнения;

M_s – сообщения, которые должны быть отправлены другим агентам.

Логистические операции (6) чаще всего не имеет смысла рассматривать сами по себе. Производственный процесс представляет собой совокупность операций выполняемых в определенной последовательности. Чаще всего в логистических системах существует несколько процессов, выполняющихся параллельно, что требует разделения доступных системе ресурсов между выполняющимися

процессами. Представим выполнение процесса как

$$EX : (T, R_T, P) \rightarrow (T', R'_T, P', M_s), \quad (7)$$

где T и T' – состояния процесса;

R_T – выделенные процессу ресурсы, представленные количественно;

P – качественные ресурсы агента;

Определим процедуру получения текущих требований к ресурсам:

$$REQ : T \rightarrow (R_T^{req}, P_T^{req}), \quad (8)$$

где R_T^{req} и P_T^{req} – требования к количественным и качественным ресурсам соответственно.

Также определим процедуру для определения выделяемых процессу количественных ресурсов:

$$CRES : (R, R_a, T) \rightarrow R_T, \quad (9)$$

где R_a – требования к ресурсам всех процессов.

Таким образом, алгоритм выполнения процессов агента можно представить следующим образом.

1. Определение текущих требований к ресурсам используя (8):

$$R_a = \bigcup_{\forall T \in T_c} REQ(T),$$

где T_c – активные процессы.

2. Получение результатов выполнения активных процессов, используя (6) и (9):

$$L = \bigcup_{\forall T \in T_c} EX(T, CRES(R, R_a, T), P).$$

3. Формирование нового состояния агента

$$L \rightarrow (R', P', O')$$

и отправка сообщений другим агентам.

При необходимости, процедура (9) может быть реализована с использованием системы приоритетов и алгоритмов планирования.

3. Пример использования предложенного подхода в имитационном моделировании

Предлагаемая модель описания поведения агентов была реализована на языке программирования Java в виде набора библиотек, позволяющих проводить имитационное моделирование сложных производственных процессов. Для достижения максимальной производительности, предлагается использование разработанных библиотек исключительно со средствами языка программирования, однако при реализации была предусмотрена возможность использования JADE [6] в роли агентной платформы.

В качестве примера проведения имитационного моделирования с использованием разработанных библиотек, рассмотрим модель, представленную на

рис. 3. Агент «Поставщик» отвечает за снабжение ресурсами, «Производитель» выполняет производственные задачи, а «Потребитель» генерирует заявки на выполнение задач.

В модели реализовано два вида сложных производственных задач, представленных на рис. 4 и 5 соответственно. Каждая задача состоит из списка работ со строго установленной последовательностью выполнения. Каждая работа представляет собой технологическую операцию. Для работ определены требования к ресурсам и время их выполнения в тактах (табл. 1).

На каждом такте имитации агент «Потребитель» с вероятностью 0,14 (это значение параметра, а также все указанные ниже значения использовались для получения приведенных графиков зависимостей параметров модели и позволяют наиболее явно представить исследуемые зависимости) отправляет агенту «Производитель» заявку на выполнение каждой задачи. Получив заявку, агент «Производитель» помещает соответствующую задачу в очередь, после чего выполняет максимально возможное, за данный такт времени, количество работ выполняемых задач. Также «Производитель» выполняет проверку наличных на складе ресурсов и если уровень какого-либо из них меньше 10 единиц (начало использования резервных запасов) – отправляет заказ агенту «Поставщик».

При получении заявки на поставку ресурса, агент «Поставщик» выполняет заказ за время в интервале от минимальной задержки снабжения ($t_{\min} = 20$) до максимальной задержки снабжения

$$(t_{\max} = \frac{3 \times t_{\min}}{2} = 30).$$

Для описанной производственной системы определены зависимости времени выполнения и количества невыполненных производственных задач от поведения поставщика ресурсов и политики управления ресурсами. Результаты моделирования приведены на рис. 6 – 9 в виде графиков зависимостей.

Из приведенных графиков очевидно, что для достижения минимального времени выполнения задач, оптимальное значение уровня ресурсов, при котором происходит заказ, лежит в диапазоне от 8 до 10 единиц, а максимально допустимая величина задержки снабжения лежит в диапазоне от 0 до 10 тактов системного времени.

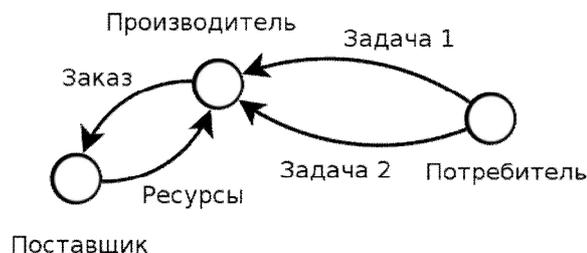


Рис. 3. Схема взаимодействия агентов модели

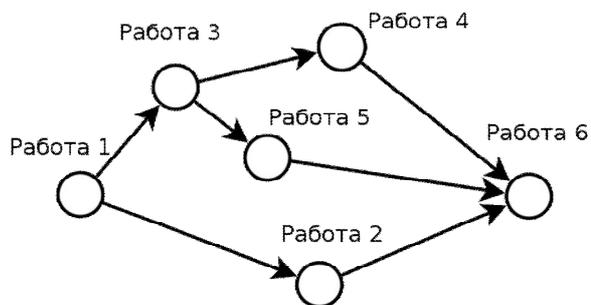


Рис. 4. Последовательность выполнения работ задачи 1

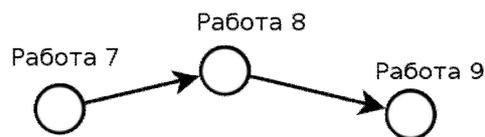


Рис. 5. Последовательность выполнения работ задачи 2

Таблица 1

Требования работ к ресурсам

Работа	Уст-во 1	Уст-во 2	Уст-во 3	Уст-во 4	Ресурс 1	Ресурс 2	Время
Работа 1	Да				1	0	5
Работа 2		Да			0	1	8
Работа 3			Да		0	1	4
Работа 4		Да			1	0	2
Работа 5	Да				1	1	3
Работа 6				Да	0	0	2
Работа 7				Да	0	1	2
Работа 8			Да		1	1	1
Работа 9		Да			0	0	1

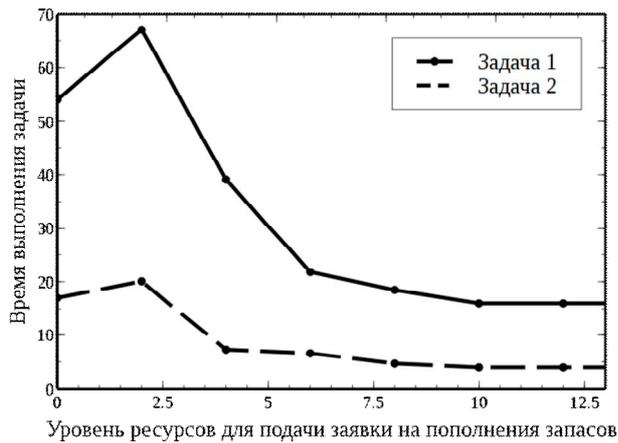


Рис. 6. Зависимость времени выполнения задач от уровня ресурсов, при котором происходит подача заявки на пополнение

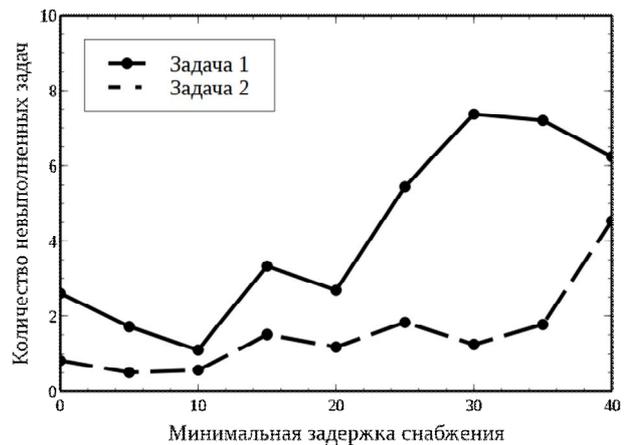


Рис. 9. Зависимость количества невыполненных задач от минимальной задержки снабжения

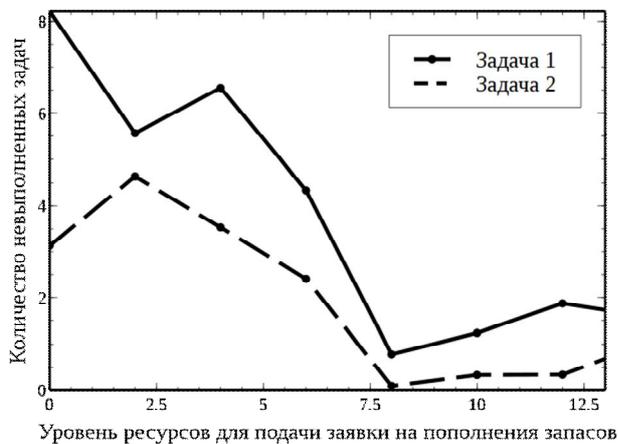


Рис. 7. Зависимость количества невыполненных задач от уровня ресурсов, при котором происходит подача заявки на пополнение

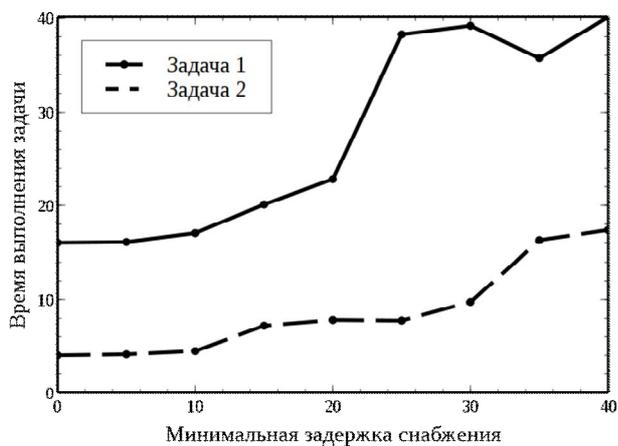


Рис. 8. Зависимость времени выполнения задач от минимальной задержки снабжения

Полученные, в ходе моделирования, зависимости могут быть использованы для выбора оптимального поставщика ресурсов и определения необходимой величины резервных запасов производственного предприятия.

Заклучение

В данной работе предложено агентное представление и построена процессо-ориентированная модель поведения агента имитационной модели производственной системы. Предложенный подход позволяет создавать агентные модели сложных систем с параллельно выполняющимися сложными производственными процессами.

Модель поведения агентов реализована на языке программирования Java в виде набора библиотек имитационного моделирования. Используя разработанные библиотеки, проведен пример исследования типовой производственной системы с параллельно выполняющимися производственными процессами. Для рассматриваемой системы были определены зависимости времени выполнения и количества невыполненных производственных задач от задержки снабжения и величины резервных запасов ресурсов.

Литература

1. *Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation [Text]* / H.-P. Wiendahl, H.A. ElMaraghyb, P. Nyhuisa, M.F. Zähc, H.-H. Wiendahl, N. Duffiee, M. Brieke // *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. – 2007. – V. 56, I. 2. – P. 783-809.
2. *Beamon, B.M. Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods [Text]* / B.M. Beamon // *International Journal of Production Economics*. – 1998. – V. 55. – P. 281-294.
3. *Toward a methodological framework for*

agent-based modeling and simulation of supply chains in mass customization context [Text] / O. Labarthe, B. Espinasse, A. Ferrarini, B. Montreuil // Simulation Modelling Practice and Theory. – 2007. – V. 12, I. 2. – P. 113-136.

4. Gilbert, N. *Platforms and methods for agent-based modeling [Text] / N. Gilbert, Steven Banks // PNAS. – 2002. – V. 99, Suppl. 3. – P. 7197-7198.*

5. *Applications of agent-based systems in intelligent manufacturing: An updated review [Text] / W. Shen, Q. Hao, H.J. Yoon, D.H. Norrie // Advanced Engineering Informatics. – 2006. – V. 20. – P. 415-431.*

6. *Jade Programmer's Guide [Электронный ресурс] / F. Bellifemini, G. Caire, T. Truco, G. Rimassa. – Режим доступа: <http://jade.tilab.com/doc/>. – 09.10.2011.*

7. Rao, A.S. *Formal Models and Decision Procedures for Multi-Agent Systems [Text] / A.S. Rao, M. eorgeff // Technical report. – Australian Artificial*

Intelligence Institute. – 1995. – 52 с.

8. *Vikhorev, K. Agent programming with priorities and deadlines [Text] / K. Vikhorev, N. Alechina, Brian Logan // AAMAS. – 2011. – P. 397-404.*

9. *Foncesa, S.P. Agent Behaviour Architectures. A MAS Framework Comparasion [Text] / Steven P. Foncesa, Martin L. Griss, Reed Lestingier // AAMAS. – 2002. – Part 1. – P. 86-87.*

10. *Kumar S.A. Production and Operations Management [Text] / S.A. Kumar, N. Suresh. – New Age International, 2006. – 208 с.*

11. *Lambert, D.M. Fundamentals of Logistics Management [Text] / D.M. Lambert, J.R. Stock, L.M. Ellam. – Irwin: McGraw-Hill, 1998. – 611 с.*

12. *Kelefas, P. Modelling of Multi-Agent Systems: Experiences with Membrane Computing and Future Challenges [Text] / P. Kelefas, I. Stamatopoulou // EPTCS. – 2010. – V. 33. – P. 71-82.*

Поступила в редакцию 15.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проф. каф. АСУ И.П. Гамаюн, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

ПРОЦЕСО-ОРІЄНТОВАНА ПОВЕДІНКА АГЕНТІВ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВИРОБНИЧОЇ СИСТЕМИ

А.В. Попов, А.Г. Плешаков

Розглянуті існуючі моделі поведінки агентів складних систем. Викладена специфіка подання складних логістичних систем рівня виробництва як мультиагентних систем. Логістичні потоки та виробничі процеси подані у поведінці та взаємодії агентів. Розроблена процесно-орієнтована модель поведінки агентів, що дозволяє моделювати складні, паралельно виконуючися, виробничі процеси. Надано рішення проблеми розділення ресурсів між паралельно виконуючимися виробничими процесами. Реалізація запропонованої моделі використана при імітаційному моделюванні типової виробничої системи.

Ключові слова: моделювання, агентний підхід, поведінка агентів, імітаційне моделювання

PROCESS-BASED BEHAVIOUR OF PRODUCTION SYSTEM SIMULATION MODEL AGENT

A.V. Popov, A.G. Pleshakov

Existing complex system agent behaviour models are reviewed. Specificity of logistic and production complex system representation as multi-agent system is showed. Logistic flows and production processes are defined in terms of agent communication and behaviour. Process-based behaviour model is developed considering production process concurrentness. Solution to a resource sharing problem caused by parallel process execution is developed. Model implementation is applied to simulation studying of the typical production system.

Keywords: modeling, agent-based approach, agent behaviour, simulation

Попов Андрей Вячеславович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры информационных управляющих систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина.

Плешаков Андрей Геннадиевич – магистрант кафедры информационных управляющих систем, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: pleshakov.kh.ua@gmail.com.