

**ДИСКРЕТНАЯ СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ VPsim2\*****К. А. Аксенов, Е. Ф. Смолий, О. П. Аксенова, Н. В. Гончарова (Екатеринбург)**

Статья посвящена разработке системы динамического интеллектуального моделирования, ориентированного на непрограммирующего пользователя.

**Мультиагентные системы**

Для решения задачи построения моделей лиц, принимающих решения (ЛПР) на разных уровнях сложной системы, целесообразно дополнить модель ситуационного управления (СУ) аппаратом мультиагентных систем (МАС). Важной областью применения МАС является моделирование. В этой области Д. А. Поспелов [1] выделяет следующие классы задач: 1) задачи распределенного управления и задачи планирования достижения целей, где усилия разных агентов направлены на решение общей проблемы и необходимо обеспечение эффективного способа кооперации их деятельности; 2) локальные задачи, при решении которых агенты используют общие, как правило ограниченные, ресурсы. Подходы проектирования МАС разделяют на две группы [2]: 1) базирующиеся на объектно-ориентированных методах; 2) использующие традиционные методы инженерии знаний.

**Ситуационный подход в управлении**

Основоположниками в области ситуационного моделирования (СМ) являются Ю. И. Клыков и Д. А. Поспелов. Элементарный акт управления представлен в [3]:

$$S_i : Q_j \xrightarrow{U_k} Q_i, \quad (1)$$

где  $S_i$  – полная ситуация;  $Q_i$  – новая ситуация;  $Q_j$  – текущая ситуация;  $U_k$  – способ воздействия на объект управления (одношаговое решение).

По назначению системы СМ делятся на три класса [4]: ситуационного отображения информации, динамического моделирования ситуаций (СДМС) и аналитические системы. В настоящее время существуют лишь единичные разработки в области СДМС: экспертная система (ЭС) реального времени G2 [4] и полиграфическая система СМ [3]. В предметной области процессов преобразования ресурсов (ППР) в настоящее время СДМС отсутствуют (таблица).

---

\* Работа выполняется при поддержке программы «СТАРТ» в рамках государственного контракта между Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и ООО «НПП «Системы автоматизации поддержки бизнеса»» по договору № 5058 р/7296 «Разработка моделей, методов и системы динамического моделирования ситуаций и автоматизации проектирования программного обеспечения в области процессов преобразования ресурсов», а также в рамках гранта Президента Российской Федерации МК-2208.2007.9.

## Сравнительный анализ систем моделирования

Наименование	ARIS	G2	AnyLogic	BPsim
Проектирование концептуальной модели предметной области	Нет	Нет	Нет	Нет
Язык описания ППР	+	+	+	+
Описание целей системы: в виде графа; в виде Balanced ScoreCard.	+ +	+ Нет	Нет Нет	Нет Нет
Иерархическая модель процесса	+	+	+	+
Наличие языка описания команд	Нет	+	Нет	Нет
Описание модели на ограниченном естественном языке	Нет	+	Нет	+
Построение мультиагентной модели				
элемент АГЕНТ	Нет	Нет	+	Нет
модели поведения агентов	Нет	Нет	+	Нет
база знаний агента	Нет	Нет	Нет	Нет
язык обмена сообщениями	Нет	Нет	Нет	Нет
Имитационное моделирование	+	+	+	+
Экспертное моделирование	Нет	+	Нет	Нет
Ситуационный подход	Нет	+	Нет	Нет
Стоимость, тыс. у.е.	<b>50</b>	<b>70</b>	<b>4,8</b>	<b>2</b>

## Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов (МППР)

Динамическая модель ППР [5] была разработана, на базе следующих математических схем: сетей Петри, систем массового обслуживания, моделей системной динамики. Данная модель взята за основу и расширена интеллектуальными агентами [6]. Основными объектами агентной модели ППР являются (рис. 1): операции (*Op*), ресурсы (*RES*), команды управления (*U*), средства (*MECH*), процессы (*PR*), источники (*Sender*) и приемники ресурсов (*Receiver*), перекрестки (*Junction*), параметры (*P*), агенты (*Agent*). Описание причинно-следственных связей между элементами преобразования и ресурсами задается объектом «связь» (*Relation*).

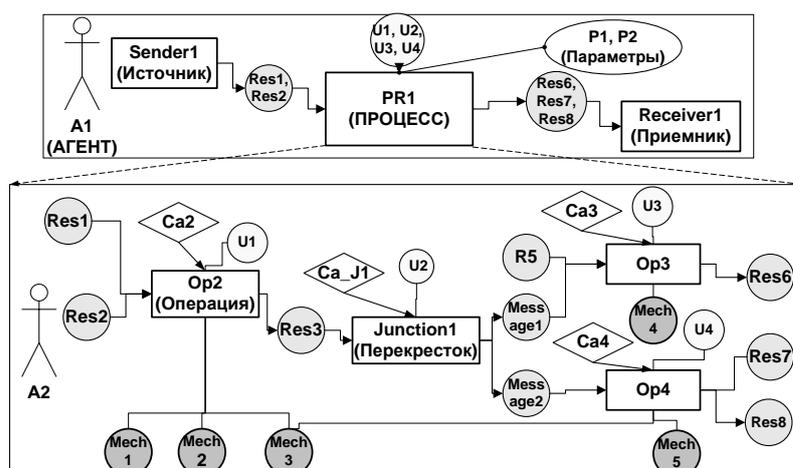


Рис. 1. Объекты мультиагентной модели ППР

Существование агентов предполагает наличие ситуаций (*Situation*) и решений (*Decision*). Модель мультиагентного ППР представлена в виде:

$$M = \langle Name, desc, O, \{Relation\}, Aself \rangle, \quad (2)$$

где *Name* – имя модели; *desc* – описание модели; *O* – объекты (элементы), ресурсы, средства, преобразователи, сигналы, заявки, цели, параметры, агенты, сообщения; *Relation* – связи; *Aself* – собственные атрибуты модели.

Модель интеллектуального агента имеет в следующий вид:

$$Agent = \langle Name, G\_Ag, prior, KB\_Ag, M\_In, M\_Out, SPA, Control\_O, AU, AD \rangle, \quad (3)$$

где *Name* – имя агента; *G\_Ag* – цели агента; *prior* – приоритет агента; *KB\_Ag* – база знаний агента; *M\_In* – количество входящих сообщений; *M\_Out* – количество исходящих сообщений; *SPA* – сценарии поведения; *Control\_O* – множество управляемых объектов процесса преобразования ресурсов; *AU* – множество агентов «начальников»; *AD* – множество агентов подчиненных.

Агенты управляют объектами ППР, выполняя следующие действия (рис.2): 1) анализирует внешние параметры (текущую ситуацию); 2) диагностирует ситуацию, обращается к базе знаний (БЗ); в случае определения соответствующей ситуации агент пытается найти решение (сценарий действий) в БЗ или выработать его самостоятельно; 3) вырабатывает (принимает) решение; 4) определяет (переопределяет) цели; 5) контролирует достижение целей; 6) делегирует цели своим и чужим объектам ППР, а также другим агентам; 7) обменивается сообщениями.

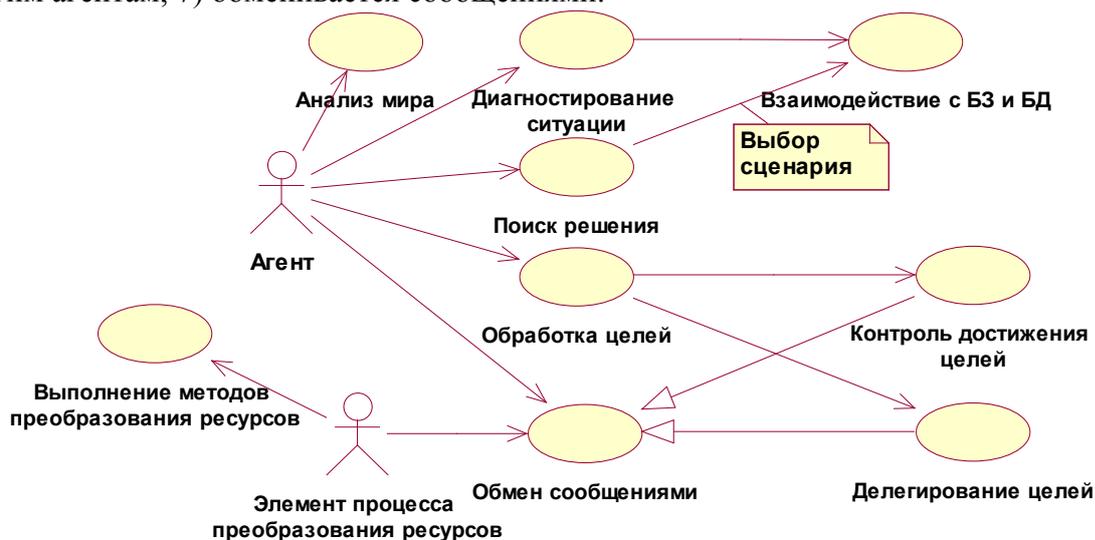


Рис.2. Диаграмма прецедентов, определяющая отношения между агентом и ППР

Для построения ядра моделирующей системы был использован аппарат продукционных систем. Структура продукционной системы ППР определена в виде

$$PS = \langle Rps, Vps, Ips \rangle, \quad (4)$$

где  $Rps = \{RES(t)\} \cup \{MECH(t)\} \cup \{U(t)\} \cup \{G(t)\}$  – текущее состояние ресурсов, средств, команд управления, целей (рабочая память); *Vps* – множество правил преобразования ресурсов и действий агентов (база знаний); *Ips* – машина вывода, состоящая из планировщика и машины логического вывода по БЗ агентов.

Алгоритм имитатора состоит из следующих основных этапов: определения текущего момента времени  $SysTime = \min(T_j), j \in RULE$ ; обработки действий агентов; формирования очереди правил преобразования; выполнения правил преобразования и изменения состояния рабочей памяти. Для диагностирования ситуаций и выработки команд управления имитатор обращается к модулю экспертной системы (ЭС).

### Система динамического моделирования ситуаций

За основу построения СДМС была взята проблемно-ориентированная система имитационного моделирования (СИМ) VPsim [5]. Подобный подход к созданию СДМС, был применен в [3], когда СДМС была построена на базе проблемно-ориентированной СИМ допечатных процессов. СДМС (рис. 3) VPsim2 [7–9] обеспечивает выполнение следующих функций: создание динамической модели мультиагентного ППР; динамическое моделирование; анализ результатов эксперимента; получение отчетов по моделям и результатам экспериментов.

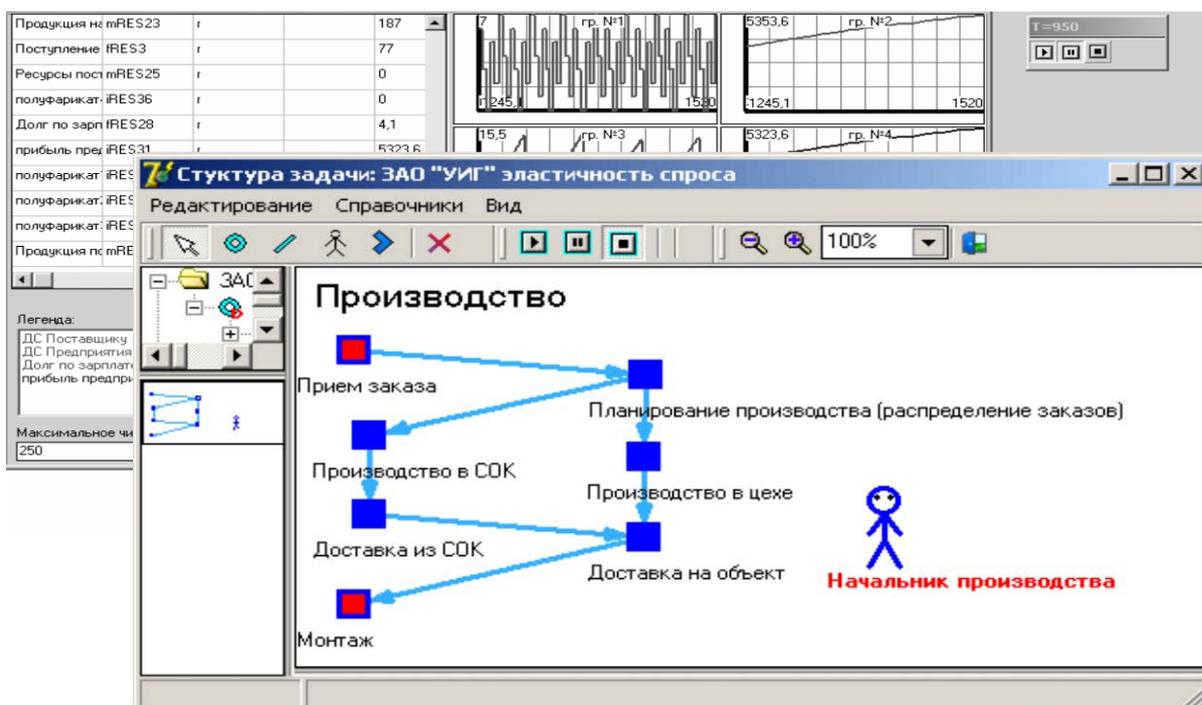


Рис. 3. СДМС VPsim2

### Применение СДМС VPsim2

Для предметной области организации научно-исследовательской работы студентов (НИРС) была создана мультиагентная модель. В результате системного анализа предметной области и проведения экспериментов удалось выработать управленческие решения, позволившие Радиотехническому институту занять в 2004/2005 г. первое место по организации НИРС УГТУ-УПИ и второе место на выставке научно-технического творчества студентов (НТТС) УГТУ-УПИ, а в 2005/2006 г. первое место и в организации НИРС, и в выставке НТТС.

Для предприятия ЗАО «Уральская индустриальная группа» с помощью VPsim2 была спроектирована мультиагентная динамическая модель его деятельности. Цель создания модели – разработка алгоритма поведения предприятия и его ценовой стратегии для увеличения доли рынка и перехода на новый технологический уровень, повышающий его конкурентоспособность.

В модели используются следующие параметры: 1) предприятия (доля рынка сбыта; объем продаж в месяц; цена 1 м<sup>2</sup>; временные характеристики процессов); 2) конкурентной среды (количество конкурентов на рынке, доля рынка, интенсивность борьбы, цены конкурентов, реакция по времени и цене, оценка конкурентоспособности, эластичность спроса

по цене, сезонность спроса, емкость рынка). Процессы предприятия, рассмотренные в модели: производство; продажа; монтаж; сервисное обслуживание.

Были проведены серии экспериментов, позволившие определить ценовую стратегию, следуя которой можно увеличить в течение года долю рынка с 6,6% до 20–22%. В рамках данной задачи также были найдены оптимальные значения количеств монтажных звеньев в зависимости от объема продаж в месяц. Прогнозируемый экономический эффект составляет 46 млн. руб. в год.

### Выводы

Разработанная СДМС VPsim2 мультиагентных ППР базируется на аппарате дискретно-событийного ИМ и интегрирована с ЭС. Применение мультиагентного подхода к модели ППР дает возможность увеличения ее интеллектуальности благодаря интеграции экспертного, ситуационного, мультиагентного, имитационного моделирования, а также позволяет решать новые классы задач, связанные с моделированием процессов управления и разрешением конфликтов в МАС, возникающими между ЛПР на почве ограничений, накладываемых на ресурсы.

### Литература

1. **Поспелов Д. А.** Многоагентные системы – настоящее и будущее//Информационные технологии и вычислительные системы. 1998. № 1.
2. **Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н.** Интеллектуальные информационные системы: Учебник. М.: Финансы и статистика, 2004. 424 с.
3. **Филиппович А. Ю.** Интеграция систем ситуационного, имитационного и экспертного моделирования. М.: ООО Эликс+, 2003. 300 с.
4. Статические и динамические экспертные системы: Учеб. пособие/**Э. В. Попов, И. Б. Фоминых, Е. Б. Кисель, М. Д. Шапот.** М.: Финансы и статистика, 1996. 320 с.
5. **Аксенов К. А., Клебанов Б. И.** Принципы построения системы имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов VPsim ресурсов//Имитационное моделирование. Теория и практика: Материалы первой Всероссийской научн.-практ. конф. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2003. Т. 1. С. 36–40.
6. **Аксенов К. А., Гончарова Н. В., Смолий Е. Ф.** Мультиагентный подход к процессам преобразования ресурсов//IX отчетная конференция молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. Екатеринбург, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. С. 186–190.
7. **Аксенов К. А., Гончарова Н. В., Смолий Е. Ф.** Создание ситуационной системы имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов//Имитационное моделирование. Теория и практика: Материалы второй Всероссийской научн.-практ. конф. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2005. Т. 2. С. 11–15.
8. Development of Multi Agent Resource Conversion Processes Model and Simulation System/**Konstantin A. Aksyonov, Elena F. Smolij, Natalia V. Goncharova, Alexey A. Khrenov, Anastasia A. Baronikhina**//Computational Science – ICCS 2006: 6th International Conference, Reading, UK, May 28–31, 2006. Proceedings, Part III. P. 879–882.
9. Development of Resource Conversion Processes Model and Simulation System/**K. A. Aksyonov, E. F. Smolij, N. V. Goncharova, A. A. Khrenov, A. A. Baronikhina**// Proceedings of the EUROCON 2005. Belgrad, 2005. P. 1722–1725.