

МУЛЬТИАГЕНТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, СРЕДА BPSIM*

К. А. Аксенов, Е. Ф. Смолий (Екатеринбург)

Работа посвящена актуальной проблеме разработки и внедрения теории, методов и средств динамического моделирования ситуаций (СДМС), позволяющих создавать адекватные модели динамических процессов преобразования ресурсов (бизнес-процессов (БП), производственных и организационно-технических систем (ОТС)) и получать на их основе эффективные управленческие решения, прогнозы последствий принятия решений, прогнозы развития предприятий. В работе также решаются задачи автоматизации технико-экономического проектирования (ТЭП) ОТС и проектирования эффективных информационных систем (ИС, программное обеспечение (ПО)) поддержки деятельности и принятия решений (ППР) с использованием полученных динамических моделей, т.е. задача создания CASE-средств, которые используются для настройки имитационных моделей и прикладных систем поддержки принятия решений.

Применение ситуационных моделей в управлении процессами способствует повышению эффективности и качества принимаемых решений, сокращению времени процесса принятия решений (ППР), более рациональному использованию имеющихся ресурсов. Создание СДМС является одним из перспективных направлений развития систем ППР. В настоящее время наблюдается существенный интерес к области мультиагентных систем, спецификой которых является наличие сообществ взаимодействующих агентов, отождествляющихся с лицами, принимающими решения (ЛПР).

Процессы преобразования ресурсов с точки зрения ОТС

Анализ различных процессов преобразования ресурсов позволяет выделить следующие их особенности:

1. Объекты ОТС характеризуются сложностью структуры и алгоритмов поведения, многопараметричностью, иерархичностью [1].
2. На самых нижних уровнях процесс может быть представлен с точностью до элементарных операций преобразования ресурсов [2].
3. Для систем такого типа характерно вероятностное поведение; высокая изменчивость источников и адресатов информации, номенклатуры и форм представления документов; недостаток квалифицированных специалистов в области информационных технологий [3]. Организационные задачи во многих случаях не имеют точных алгоритмов решения, а разрешаются в рамках некоторых сценариев, которые трудно описать алгоритмическими моделями; более адекватными оказываются модели представления знаний, позволяющие менять правила поведения и делать логические выводы на основании содержания базы знаний (БЗ) [3]. Отсюда вытекает потребность в интеллектуальной системе ППР, которая бы взяла на себя все формализованные функции исполнителей и оказала существенную поддержку при решении трудноформализуемых задач.

Состояние программного обеспечения СДМС и CASE-средств

При решении практических задач принятия решений, анализа бизнес-процессов, проектирования и разработки программного обеспечения с 1997 года был накоплен опыт работы со следующими инструментариями:

1. Экспертная система (ЭС) реального времени G2.
2. Системы имитационного моделирования Arena, AnyLogic, ARIS, iThink, GPSS, PowerSim, ReThink.

* Работа выполнена в рамках конкурса на проведение НИР программы развития УрФУ.

3. CASE-средства All Fusion, Rational Suite.

Анализ состояния в области СДМС [2] показывает, что в настоящее время не существует систем, ориентированных на процессы преобразования ресурсов. Ближайшими по функциональности аналогами являются средства имитационного (ИМ) и экспертного моделирования и, в частности, ЭС реального времени G2; универсальная система ИМ AnyLogic; средство моделирования БП ARIS. Был проведен сравнительный анализ данных систем на соответствие следующим требованиям: 1) проектирование концептуальной модели предметной области; 2) описание знаний о предметной области и вывод на знаниях; 3) описание динамических процессов преобразования ресурсов; 4) создание иерархической модели процесса; 5) наличие языков описания ситуаций, команд; 6) построение мультиагентных моделей (наличие сообществ интеллектуальных агентов (ИА), отождествляющихся с лицами, принимающими решения (ЛПР), обладающими моделью поведения и знаниями); 7) интеграция ИМ, ЭС и ситуационного управления (СУ); 8) интеграция с методикой сбалансированных показателей (Balanced ScoreCard (BSC)); 9) поддержка русского языка. Анализ показал, что ни одна из систем не обладает всеми функциями, необходимыми для мультиагентной СДМС. К достоинствам пакетов AnyLogic и G2 можно отнести использование языков высокого уровня, благодаря чему пакеты могут предоставлять разработчику моделей серьезный уровень функциональности.

Наиболее распространенными CASE-средствами проектирования ПО в настоящее время являются ARIS, All Fusion и Rational Rose. Основным недостатком данных систем – слабая связь (или ее отсутствие) с динамическими моделями, которые используются в ППР (часто следствием ППР является изменение процессов (оптимизация, реинжиниринг), что, в свою очередь, влечет за собой изменение инфраструктуры бизнеса). В области CASE-средств существуют лишь два комплекса программ, которые могут использовать в виде входной информации данные, полученные на этапе моделирования БП: 1) пакет ARIS, который предлагает меньшие возможности в области ИМ, но позволяет проектировать архитектуру ПО; 2) пакет AllFusion, который интегрируется со средством ИМ Arena. Лидер в области проектирования ПО Rational Rose не имеет средств интеграции с системами ИМ. Таким образом, задача проектирования ПО поддержки бизнеса на базе полученных динамических моделей является также актуальной, так как позволяет использовать полученные результаты на этапе моделирования в виде составляющих ПО в повседневной деятельности и ведет к сокращению сроков разработки и внедрения ИС. К недостаткам данных систем относятся: высокая стоимость, отсутствие поддержки русского языка и слабый уровень автоматизации работы аналитика и архитектора ПО.

Теоретические основы построения СДМС и интеллектуальных САПР

Математическим обеспечением СДМС выступают следующие методы: ИМ, ЭС, СУ, мультиагентное моделирование. Анализ существующего уровня CASE-средств позволяет сделать вывод, что наиболее развитые представители относятся к интеллектуальным САПР, так как программно реализуют семантические и метамодели проектирования ПО. При проектировании мультиагентного ПО такие CASE-средства состоят из следующих компонентов: онтология (БЗ) о предметной области, онтология о ПО, средства описания поведенческой модели и его динамического моделирования, графические средства проектирования и формирования элементов ПО.

Системный анализ мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) и динамическая модель

При проведении системного анализа (СА) ОТС обычно описывают следующие составляющие: миссию, виденье, стратегии, процессы. Применение теории МППР позволяет по-новому взглянуть на ОТС с точки зрения динамических систем, основанных на знаниях.

Динамическая модель дискретного процесса преобразования ресурсов [4, 6] была разработана на основе следующих математических схем: сетей Петри, систем массового обслуживания, моделей системной динамики. В дальнейших исследованиях, данная модель была взята за основу и расширена ИА. В результате создания модели МППР [2] была решена задача интеграции ИМ, ЭС, ситуационного и мультиагентного моделирования.

Модель интеллектуального агента представлена в следующем виде:

$Agent = \langle Name, G_Ag, prior, KB_Ag, M_In, M_Out, SPA, Control_O, AU, AD \rangle$,

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 процесса преобразования. Агент выполняет следующие действия (рис.2): 1) анализирует внешние параметры (текущую ситуацию); 2) диагностирует ситуацию, обращается к 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 процесса преобразования, а также другим агентам; 7) обменивается сообщениями.

Для построения ядра моделирующей системы был использован аппарат продукционных систем. Определена структура продукционной системы МППР в виде:

$PS = \langle Rps, Bps, Ips \rangle$,

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

Для описания иерархической структуры МППР были использованы системные графы высокого уровня интеграции и объектно-структурный подход к построению моделей ОТС Гавриловой Т.А. [5]. В качестве средства формализации знаний МППР используется подход на основе фрейм-концептов и концептуальных графов, предложенный Швецовым А.Н. [3].

Архитектура мультиагентной системы процессов преобразования ресурсов

За основу архитектуры агента МППР [7] взята InteRRap-архитектура [8] (как наиболее соответствующая предметной области) – множество вертикально упорядоченных уровней, связанных через общую структуру управления и использующих общую базу знаний. Архитектура состоит из блоков: интерфейса с внешним миром, реактивной подсистемы, планирующей подсистемы, подсистемы кооперации с другими агентами и иерархической базы знаний. Интерфейс с внешним миром определяет возможности агента по восприятию объектов или событий внешнего мира, воздействия на него и средства коммуникации. Реактивная подсистема использует базовые возможно-

сти агента по реактивному поведению, а также частично использует знания агента процедурного характера. Она базируется на понятии “фрагмента поведения” как некоторой заготовки реакции агента на некоторые стандартные ситуации. Компонент, ответственный за планирование, содержит механизм планирования, позволяющий строить локальные планы агента (планы, не связанные с кооперативным поведением). Компонент, ответственный за кооперацию агентов, участвует в конструировании планов совместного поведения агентов для достижения некоторых общих целей или выполнения своих обязательств перед другими агентами, а также выполнения соглашений.

Программное обеспечение семейства BPsim

Для решения задач моделирования, поддержки принятия решений, автоматизации ТЭП МСС и проектирования ИС была разработана линейка проблемно-ориентированных пакетов семейства BPsim (www.bpsim.ru):

1. BPsim.MAS – мультиагентная СДМС;
2. BPsim.DSS – интеллектуальная система принятия решений и ТЭП;
3. BPsim.SD – CASE-средство.

СДМС BPsim.MAS [2, 6] (до 2007 года название BPsim2) предназначена для решения задач динамического интеллектуального моделирования МППР (производственных и бизнес-процессов, организационно-технических систем). Система BPsim.MAS предназначена в целом для решения задач системного анализа (обследования), разработки моделей производственных и бизнес-систем, анализа узких мест, реинжиниринга. Применение математических моделей мультиагентных процессов преобразования ресурсов позволяет на новом уровне генерировать и анализировать возможные прогнозы принятия решений. Удобный графический интерфейс позволяет решать задачи бизнес-моделирования непрограммирующему пользователю.

СДМС BPsim.MAS обеспечивает выполнение следующих функций: проектирование концептуальной модели предметной области; создание динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов; динамическое моделирование (рис. 1); анализ результатов экспериментов; получение отчетов по моделям и результатам экспериментов; экспорт результатов экспериментов в MS Excel и MS Project.

CASE-средство BPsim.SD [9] обеспечивает выполнение следующих функций:

- описание процессов предметной области в виде диаграмм DFD, прецедентов, последовательности, графической нотации мультиагентного процесса преобразования ресурсов;
- формализация процессов проектирования информационных систем с использованием расширенных диаграмм языка Unified Modeling Language (UML);
- создание диаграммы классов и сопоставление объектов диаграммы последовательности (кроме границ) с классами этой диаграммы;
- генерация кода на языке Object Pascal (Delphi);
- проектирование пользовательского интерфейса информационной системы;
- проектирование программного обеспечения в диалоговом режиме (используется аппарат диалоговых экспертных систем);
- конвертация имитационной модели МППР в модель ИС;
- визуальный проблемно-ориентированный графический интерфейс и реализованные алгоритмы позволяют существенно облегчить труд аналитика и/или архитектора программного обеспечения, что существенно позволяет ускорить процесс проектирования.

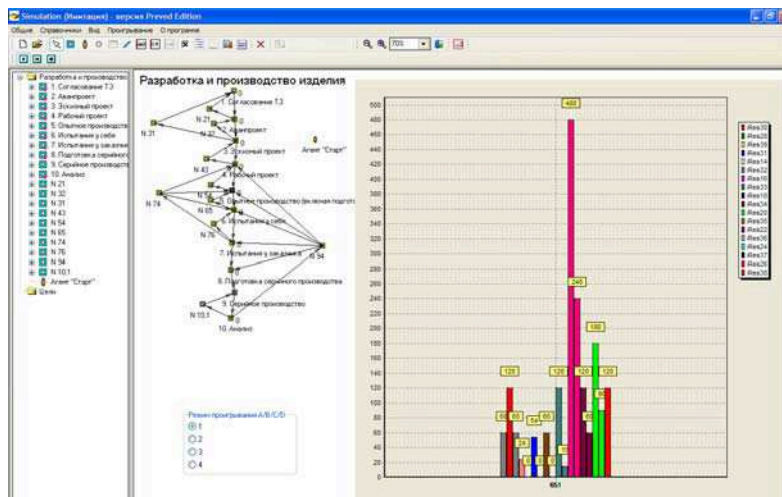


Рис. 1. СДМС BPsim.MAS

СППР BPsim.DSS (рис. 1) изначально создавалась как система технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи BPsim.MSN (BPsim3) [10], которая впоследствии была интегрирована с СДМС BPsim.MAS и расширена архитектурой InteRRap [7]. BPsim.DSS обеспечивает выполнение следующих функций:

- системный анализ предметной области;
- проектирование концептуальной модели предметной области (рис. 2);

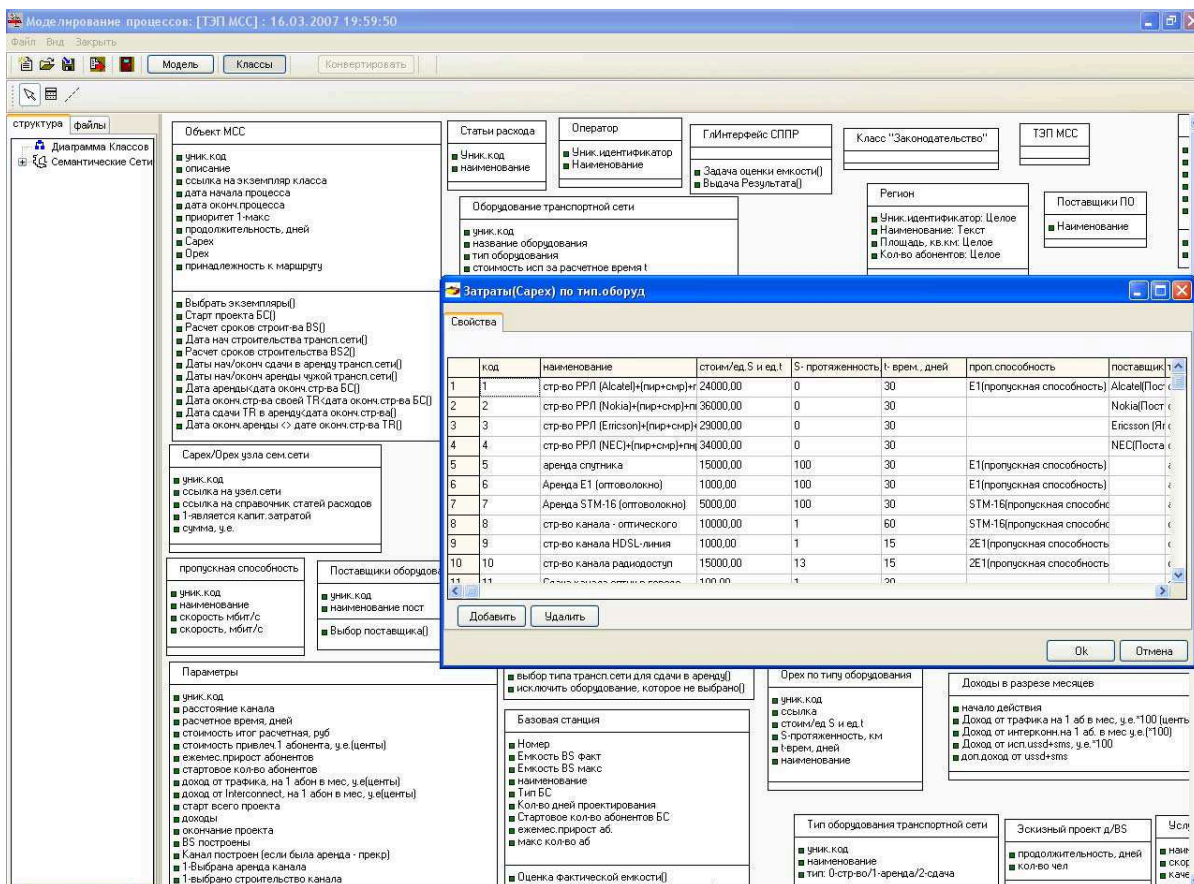


Рис. 2. Диаграмма классов и наполнение БЗ экземплярами в BPsim.DSS

- экспертное технико-экономическое проектирование (рис. 3);
- имитационное моделирование;

- анализ результатов экспериментов;
- получение отчетов по моделям и результатам экспериментов (формирование бизнес-кейса и диаграмм Ганта);
- экспорт результатов экспериментов в MS Excel и MS Project.

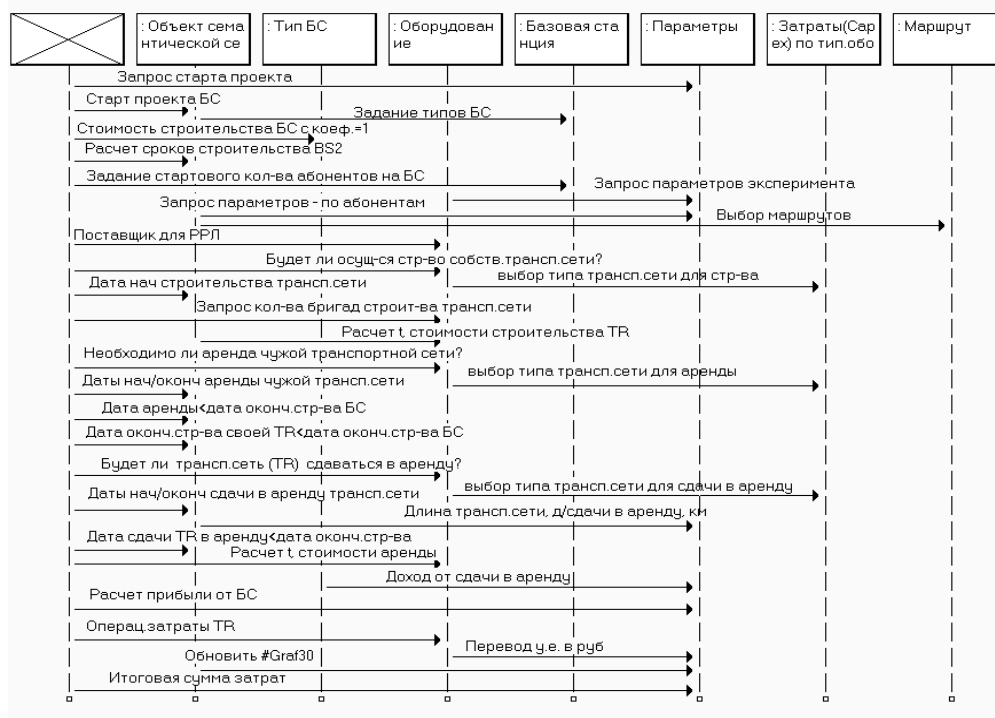


Рис. 3. Диаграмма «поиска решения» для задачи ТЭП мультисервисной сети связи

Использование различных инструментарием и методов на различных этапах анализа и синтеза мультиагентных процессов преобразования ресурсов и их поддержка линейкой продуктов BPsim показано в таблице.

№ п.п.	Этап	Инструментарий	Поддержка продуктами BPsim		
1.	Описание процессов	Нотация IDEF0	SD, DSS		
		Нотация DFD	SD, DSS		
		Диаграмма прецедентов UML	SD, DSS		
		Нотация МППР	MAS		
2.	Проектирование программного обеспечения	Диаграммы DFD, прецедентов, классов, последовательности, проектирование и настройка прикладных СППР на основе среды BPsim	SD, DSS		
		Семантические сети	DSS		
		Фреймы	DSS		
3.	Формализация знаний	Продукции	MAS		
		4.	Поддержка принятия решений	Имитационное моделирование (дискретно-событийное)	MAS
				Мультиагентное моделирование	MAS
Ситуационное управление	MAS, DSS				
Диалоговые ЭС	DSS				
	Гибридные модели	MAS, SD, DSS			

Классификация агентов процессов преобразования ресурсов

На основе архитектуры гибридного агента МППР можно создавать следующие виды агентов, для решения различных прикладных задач:

✓ **реактивные агенты**, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только диаграммой деятельности (конечным автоматом). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР;

✓ **реактивно-интеллектуальные агенты**, поведение которых определяется реактивной подсистемой и описывается только продукционной базой знаний (тактической). Данный вид агентов используется для задач динамического моделирования МППР, описания моделей ЛПР, управляющих процессами. Модели с такими агентами применялись в задачах моделирования производственных и бизнес-процессов, разработки маркетинговой стратегии (рис. 4–5), управления портфелем проектов, задач логистики и управления строительными работами [11–13]¹;

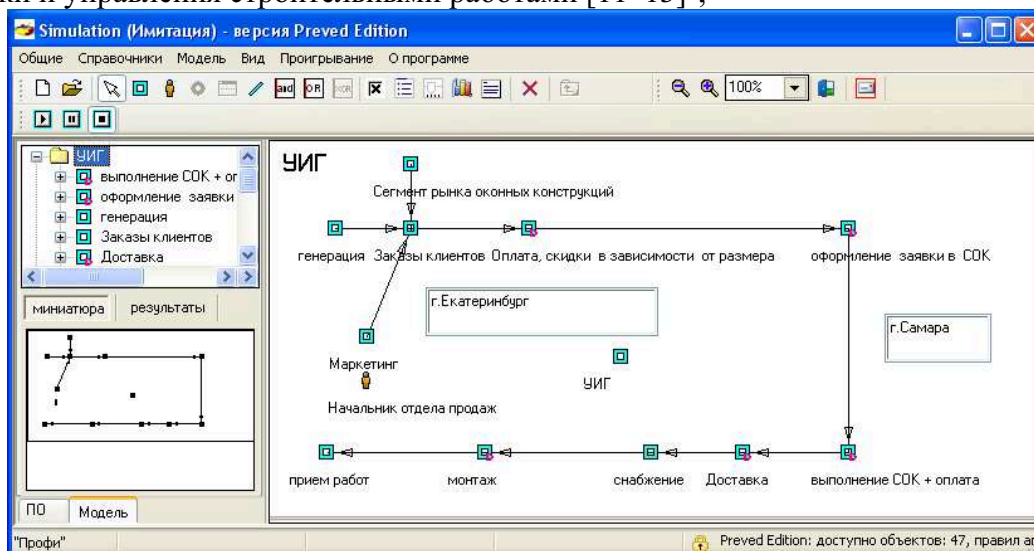


Рис. 4. Основной процесс ЗАО «УИГ»

№	ИМЯ СИТУАЦИИ	IF	THEN	ТЕКСТОВОЕ ОПИСАНИЕ
1	реакция 1 раз в 5 дней	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes105:=fRes104)&(iRes68:=	реакция 1 раз в 5 дней
2	1/действ.цена находится в окр. Цmin.	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=max(fRes55,fRes66	Действующая цена наход
3	2/действ.цена находится в окр. Цmin.	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=1,01*fRes104)	Действующая цена наход
4	3/действ.цена находится вне окр. Цmin.	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=fRes104)	Действ. цена находится в
5	4/действ. цена находится вне окр. Цmin.	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=max(fRes55,fRes66	Действ. цена находится в
6	5/действ. цена находится вне окр. Цmin.	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=1,01*fRes104)	Действ. цена находится в
7	6/действ.цена вне окр., уменьшение цены	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=0,99*fRes104)	Действующая цена наход
8	7/действ.цена нах. вне окр.Цmin. Уменьш	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes104:=min(fRes55,fRes66;	Действующая цена наход
9	вычислим Dцены - изменение цены в про	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes68:=0-((fRes105-fRes104)	вычислим Dцены - измене
10	выч. Dкд при (Dцены<-30)	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes73:=70)	сначала Dкд
11	выч. Dкд при (Dцены [-30, -25)	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes73:=50)	
12	выч. Dкд при (Dцены [-25, -20)	((t>0)&{!\$Res119)=	(fRes73:=32)	

Рис. 5. База знаний агента-конкурента

¹ См. также доклад «Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительством», т. 2, с.

✓ *интеллектуальные агенты*, поведение и логика работы которых определяется только планирующей подсистемой и знания хранятся в фреймовой базе знаний (стратегической). Данный вид агентов используется для построения проблемно-ориентированных интеллектуальных систем на основе аппарата фреймовых экспертных систем (задачи диагностики, проектирования, построения советующих ЭС и систем технико-экономического проектирования). Модели с такими агентами применялись при решении задач технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи (МСС), проектировании информационных систем [9–10];

✓ *гибридные агенты*, полностью реализующие функциональность архитектуры гибридного агента МППР. Данный вид агентов используется для построения сложных интеллектуальных систем управления и планирования, контур которых состоит из двух элементов: 1) динамической модели процесса управления и 2) блока (модуля), реализующего поиск решения многопараметрической задачи и выработки (генерации) управляющего воздействия на модель процесса управления. Основы такой модели изложены на примере решения задачи планирования развоза топлива по сети автозаправочных станций².

Практические результаты применения теории, моделей и средств на предприятиях

СДМС BPsim.MAS внедрена и применялась при решении практических задач в ЗАО «Уральская индустриальная группа» (ЗАО «УИГ»), в ЗАО «Ведение реестров компаний», в ЗАО «ТелеСистемы». Так, внедрение в ЗАО «УИГ» позволило определить ценовую стратегию, следуя которой можно увеличить в течение года долю рынка с 6,6% до 20–22%. Интеллектуальная система BPsim.MSS применяется для решения задач ТЭП и бизнес-моделирования МСС в ООО «Инсталсайт-Урал». CASE-средство используется при разработке и проектировании информационных систем и настройки прикладных СППР, реализованных на основе среды BPsim.

Заключение

Полученные решения положены в основу подходов системного анализа и синтеза, проектирования и динамического моделирования МППР, а также технико-экономического проектирования, поддержки бизнеса и принятия решений.

Данные подходы реализуются в специализированных пакетах семейства BPsim www.bpsim.ru, обеспечивающих комплексную поддержку: диалогового создания структурной модели процесса преобразования и формализации модели конкретной предметной области; построения динамической модели; проведения имитационных экспериментов с их последующим анализом; выработки эффективных управленческих решений на предприятиях; технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи; проектирование ПО поддержки бизнеса и принятия решений.

Литература

1. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем: учеб. для вузов. 3-е изд. М.: Высш. шк., 2001. 343 с.
2. **Аксенов К. А., Гончарова Н. В.** Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с.

² «Гибридная система поддержки принятия решений для планирования перевозок сети автозаправочных станций», т. 2.

3. **Швецов А. Н.** Модели и методы построения корпоративных интеллектуальных систем поддержки принятия решений: дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.01 / А.Н. Швецов. СПб., 2004. 461 с.
4. **Аксенов К. А., Клебанов Б. И.** Принципы построения системы имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов VPsim ресурсов // Материалы I Всероссийской научн.-практ. конф. «ИММОД». СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2003. Т. 1. С. 36–40.
5. **Частиков А. П., Гаврилова Т. А., Белов Д. Л.** Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. 608 с.
6. **Аксенов К. А.** Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. Москва. 2009. № 6. С. 38–45.
7. **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. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. № 80. С. 87–97.
8. **Muller Jorg P., Pischel Markus.** INTEgration of Reactive behavior and RAtional Planning, 1993.
9. **Аксенов К. А., Спицина И. А.** Метод проектирования информационных систем предприятия на основе семантических моделей мультиагентного процесса преобразования ресурсов и программного обеспечения // Автоматизация и современные технологии. 2009. № 9. С. 22–30.
10. **Аксенов К. А., Попов М. В., Смолий Е. Ф., Доросинский Л. Г.** Динамическая система моделирования и проектирования мультисервисных сетей связи «VPsim3» // Материалы III Всероссийской научн.-практ. конф. «ИММОД-2007». СПб.: ЦНИИТС, 2007. Т. 1. С. 253–257.
11. Выбор ценовой стратегии предприятия с использованием мультиагентного подхода / **К. А. Аксенов, Н. В. Гончарова, Е. Ф. Смолий, С. Ю. Долматов, О. П. Аксенова** // Вестник УГТУ-УПИ. Сер. Экономика и управление. 2009. № 5. Екатеринбург. С. 108–116.
12. **Аксенов К. А., Антонова А. С.** Применение имитационного моделирования и технологии интеллектуальных агентов для решения задачи управления проектами // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2011. (в печати).
13. **Попов А. В., Аксенов К. А., Бубенщикова А. А.** Использование численных методов оптимизации и систем массового обслуживания при моделировании процессов логистики // Имитационное моделирование. Теория и практика: Материалы IV Всероссийской научн.-практ. конф. «ИММОД-2007». СПб.: ЦНИИТС, 2009. Т. 1. С. 166–170.