

BPSIM – СИСТЕМА МУЛЬТИАГЕНТНОГО ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К.А. Аксенов, Е.Ф. Смолий, О.П. Аксенова (Екатеринбург)

Введение

За последние десятилетия существенно расширилась область применения систем имитационного моделирования (СИМ). Во-первых, СИМ, или программные имитационные модели, встраиваются в контур управления предприятием, интегрируются через интерфейсы обмена данными с датчиками, контроллерами, корпоративной информационной системой и тем самым получают данные о текущей ситуации на объекте управления. Во-вторых, большинство СИМ в процессе имитационного эксперимента позволяют изменять/обновлять исходные данные и адаптировать решение исходя из ситуации. В третьих, в большинстве прикладных систем поддержки принятия решений (СППР), использующих подсистему имитационного моделирования, или имитационную модель; для формализации знаний лиц, принимающих решения (ЛПР), и алгоритмов управления применяются системы оптимизации или улучшения решений на основе эвристик.

Проекты для задач логистики, управления производством и строительства описываются в [1-5]). Речь идет об открытых интегрируемых модулях/системах имитационного моделирования. Также необходимо отметить активное применение в СППР элементов экспертных систем (баз знаний (БЗ) и машин логического вывода (МЛВ)) и онтологий. Несмотря на активное освоение средств концептуального моделирования на основе языка UML в области разработки информационных систем, использование данных средств в инженерии ИМ ограничено [6]. Преимуществом подхода интеграции концептуального и имитационного моделирования является возможность быстрого перехода от концептуальных моделей к моделям проектирования и программной реализации [6]. При решении задачи перехода от концептуальной модели к ИМ могут быть использованы онтологии или модели представления знаний. Рассмотрим основные понятия процессов преобразования ресурсов (ППР).

Основные понятия мультиагентных процессов преобразования ресурсов

Ресурс – количественная мера возможности выполнения какой-либо деятельности [7]. Ресурс – то, что можно использовать, тратить; возможная продолжительность эксплуатации машины [7-8]. Специальным видом ресурса является Заявка. Заявка – ресурс с определенным набором атрибутов. Заявка (аналог транзакта в GPSS) позволяет выделять отдельные экземпляры ресурсов.

Под ППР понимается непрерывная или дискретная операция преобразования входа (ресурсов, необходимых для выполнения процесса) в выход (продуктов – результатов выполнения процесса). Элемент (компонент) такого ППР или весь процесс представлен в виде структуры, включающей: вход, условие запуска, преобразование, средства преобразования, выход. В ППР обычно происходит уменьшение объема входа и увеличение объема выхода. В момент выполнения условия запуска уменьшается входной ресурс и захватываются средства. В момент окончания преобразования происходит увеличение выходного ресурса и освобождение средств [1, 9–10].

Классификация ресурсов, с точки зрения их использования [11] в ППР, приведена на рис. 1.

Потребляемые ресурсы (входы) – ресурсы, которые используются в процессе только один раз. В зависимости от роли в процессе преобразования потребляемые ресурсы делятся на прямые (непосредственно входящие в конечный продукт и являющиеся его составной частью) и косвенные (участвующие в процессе преобразования, но не являющиеся составной частью конечного продукта).

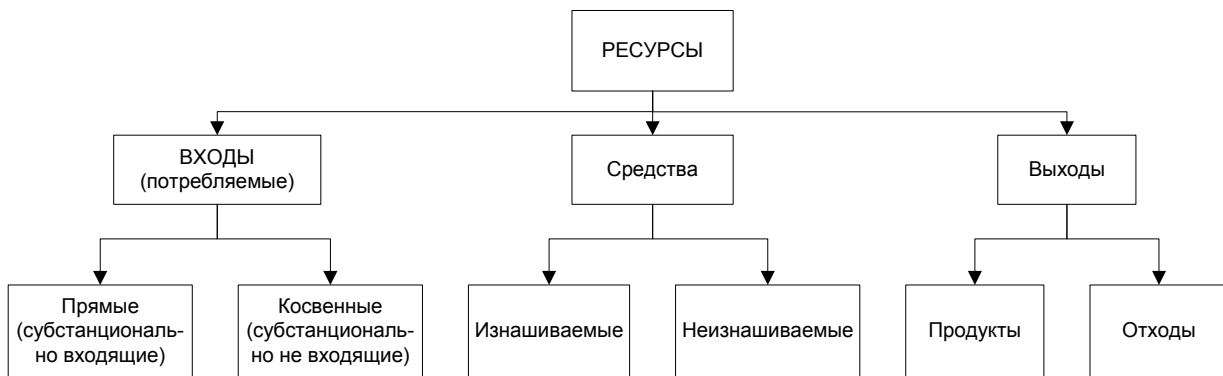


Рис. 1. Классификация ресурсов по типам использования

Средства не потребляются, а применяются в процессе преобразования, они не уменьшаются в процессе их использования (в большинстве случаев употребляются многократно, в зависимости от их эксплуатационного потенциала). Средства подразделяются на изнашиваемые и неизнашиваемые (снижается потенциал ресурса с течением времени или нет).

Выходы формируются в процессе преобразования подразделяются на продукты и отходы.

Агенты управляют объектами процесса преобразования на основе содержания базы знаний. Агентам соответствуют элементы системы управления или модели лиц, принимающих решения (ЛПР). Понятие **агент** соответствует аппаратно или программно реализованной сущности, которая способна действовать в интересах достижения целей, поставленных перед ней владельцем и/или пользователем, и которая обладает определенными интеллектуальными способностями [12-13]. В контексте ИМ происходит трансформация понятия агента в направлении уменьшения значимости свойств коммуникации (на уровне сетевых протоколов) и возможности перемещения по сети в сторону интеллектуальности (учет большего объема данных и знаний, сложности реализации машины логического вывода – как это развивается в системах G2 и VPsim) и социальности (моделирования социального поведения, внутренних убеждений, намерений и целей агентов).

Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов

Модель МППР реализована в результате интеграции имитационного, ситуационного, экспертного и мультиагентного моделирования. Средство VPsim является программной реализацией МППР [1, 9–10].

Динамическая модель дискретного процесса преобразования ресурсов была разработана на основе следующих математических схем: сетей Петри, систем массового обслуживания, моделей системной динамики.

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 мультиагентного имитационного моделирования [1, 9–10] состоит из следующих основных этапов: определение текущего момента времени; диагностирование возникших ситуаций, выработка команд управления, формирование очереди правил преобразования; выполнение правил преобразования и изменение состояния рабочей памяти (данных по загрузке ресурсов и средств).

Общее взаимодействие подсистем гибридной модели реализовано на основе архитектуры InteRRap [14], применение которой к МППР представлено на рис. 2 [15].

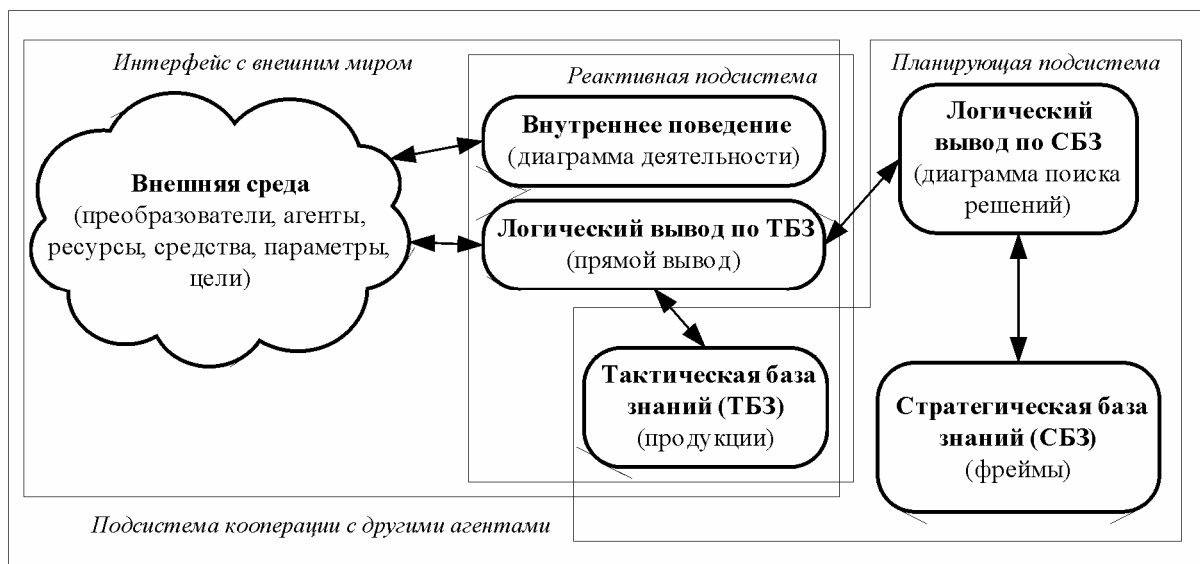


Рис. 2. Гибридная архитектура агента МППР [15]

Программное обеспечение семейства VPsim

Линейка проблемно-ориентированных пакетов семейства VPsim состоит из следующих продуктов:

1. VPsim.MAS – мультиагентная система динамического моделирования ситуаций (СДМС);
2. VPsim.DSS – интеллектуальная система принятия решений и технико-экономического проектирования (ТЭП);
3. VPsim.SD – CASE-средство;
4. VPsim.Wizard – технология программных помощников.

СДМС VPsim.MAS предназначена для решения задач динамического интеллектуального моделирования МППР (производственных и бизнес-процессов, ОТС). Система VPsim.MAS предназначена в целом для решения задач обследования предметной области, 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. 3); анализ результатов экспериментов; получение отчетов по моделям и результатам экспериментов; экспорт результатов экспериментов в MS Excel и MS Project.

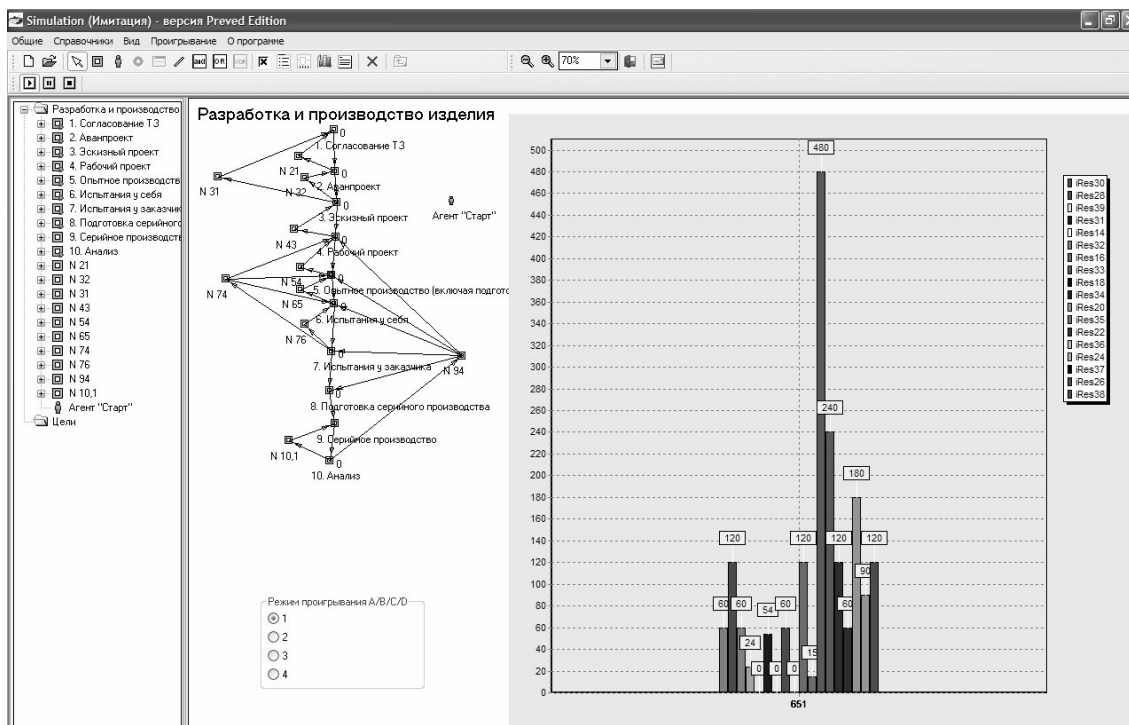


Рис. 3. СДМС BPsim.MAS

CASE-средство BPsim.SD обеспечивает выполнение следующих функций:

- описание процессов предметной области в виде диаграмм DFD, прецедентов, последовательности, графической нотации мультиагентного процесса преобразования ресурсов;
- для формализации процессов проектирования информационных систем (ИС) применяются расширенные диаграммы 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;
- задача проектирования программного обеспечения ведется 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.

СППР BPsim.DSS обеспечивает выполнение следующих функций:

- системный анализ предметной области;
- проектирование концептуальной модели предметной области (рис. 4);
- экспертное технико-экономическое проектирование (рис. 5);

Пленарные доклады

- 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.

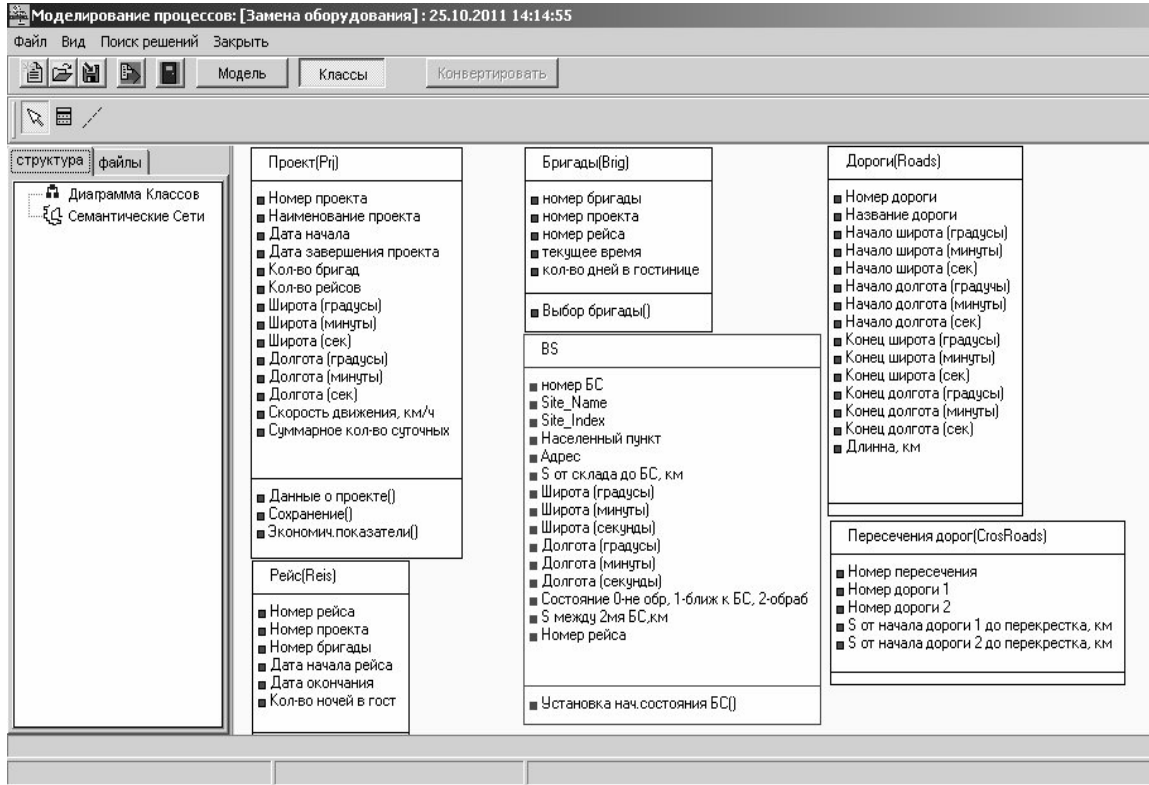


Рис. 4. Диаграмма классов задачи замены оборудования MCC в BPSim.DSS

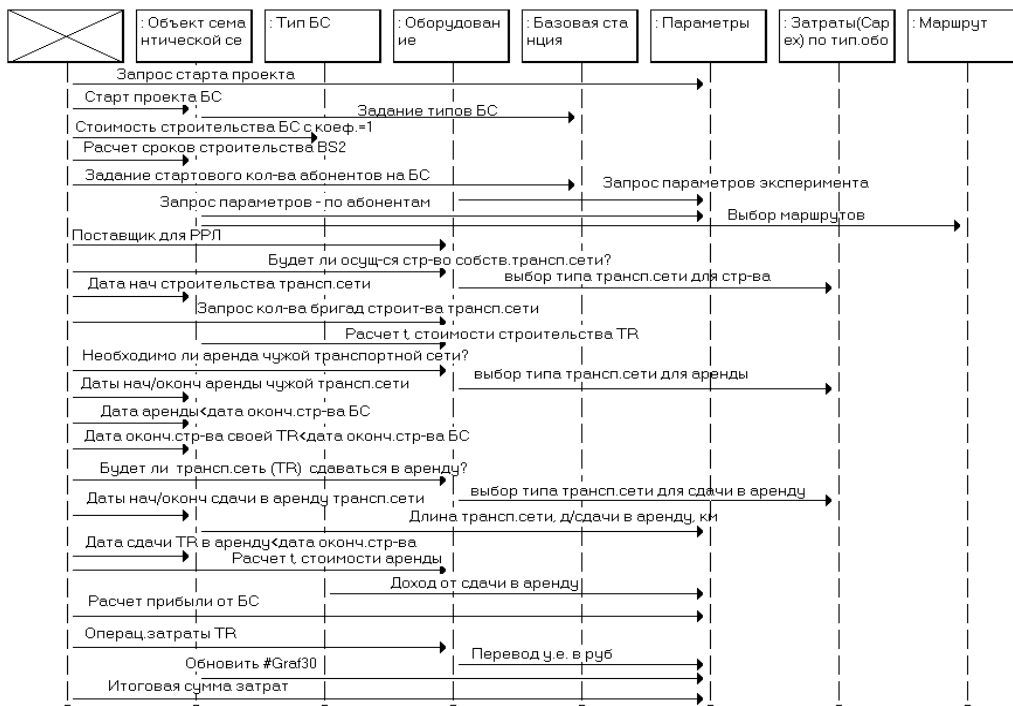


Рис. 5. Диаграмма «Поиска решения» для задачи ТЭП мультисервисной сети связи

Пленарные доклады

Использование различных инструментариев и методов на различных этапах анализа и синтеза мультиагентных процессов преобразования ресурсов и их поддержка линейкой продуктов BPsim показаны в таблице 1.

Таблица 1

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

Классификация агентов процессов преобразования ресурсов

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

– **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;

– **интеллектуальные агенты**, поведение и логика работы которых определяются 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;

– **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 2-х эле-

Пленарные доклады

ментов: 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 станций [3].

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 настройке прикладных СППР, реализованных на основе среды BPsim.

Применение интеллектуального агента реинжиниринга бизнес-процессов и системы BPsim обеспечило проведение анализа узких мест и свертку/развертку модели мультиагентного процесса строительного холдинга "Wan Bao". Реинжиниринг мультиагентной модели строительного холдинга позволил уменьшить среднее время ожидания в узлах, что привело к уменьшению сроков выполнения строительства на 5,94%.

Выводы

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

Данные подходы реализуются в специализированных пакетах семейства BPsim, 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 ИС поддержки бизнеса и принятия решений.

Литература

1. **Аксенов К.А.** Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем [Текст] // «Вестник компьютерных и информационных технологий», 2009. – № 6. – С. 38–45.
2. **Аксенов К.А.** Теория и практика средств поддержки принятия решений: монография/ Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 341 с.
3. **Aksyonov K.A., Vykov E.A., Skvortsov A.A., Aksyonova O.P., Smolij E.F.** Intelligent system for scheduling transportation within gas stations network . Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012). Berlin, Germany. 2012. Available at: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos194.pdf>
4. **Aksyonov K.A., Vykov E.A., Wang Kai, Aksyonova O.P.** Application of simulation-based decision support systems to optimization of construction corporation processes. Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference (WSC 2012). – Berlin, Germany. 2012. URL: <http://informs-sim.org/wsc12papers/includes/files/pos172.pdf>
5. **Борщев А.В.** Применение имитационного моделирования в России // 3-я Всерос. конф ИММОД 2007. – СПб., 2007. – С. 11–16. URL: <http://www.anylogic.ru/upload/iblock/981/98110c406433a4ed72833480ad775068.pdf>

6. **Giancarlo Guizzardi, Gerd Wagner** Tutorial: Conceptual simulation modeling with Onto-UML [Text] // Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference, (WSC 2012), December 9–12, 2012, Berlin, Germany.
7. Википедия – свободная энциклопедия: Ресурс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Ресурс#> (дата обращения: 07.10.12).
8. **Ожегов С.И., Шведова Н.Ю.** Толковый словарь русского языка [Текст] // М.: Азъ Ltd., 1992. – 960 с.
9. **К. Aksyonov, E. Bykov, L. Dorosinskiy, E. Smoliy and O. Aksyonova** (2011). Decision Support based on Multi-Agent Simulation Algorithms with Resource Conversion Processes Apparatus Application, Multi-Agent Systems – Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies, Faisal Alkhateeb, Eslam Al Maghayreh and Iyad Abu Doush (Ed.), ISBN: 978-953-307-176-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-based-on-multi-agent-simulation-algorithms-with-resource-conversion-processes-appar> pp.301–326.
10. **Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Khrenov A.A.** Industrial Enterprises Business Processes Simulation with BPsim.MAS. Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference (WSC 2008). Miami, USA, 2008, pp. 1669–1677.
11. **Пищулов В.** Введение в теорию производства: учеб. пособие / В. Пищулов, К. Рихтер, Е. Дятел. Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2003. 161 с.
12. **Jennings N.R.** On agent-based software engineering // Artificial Intelligence. – 2000. – Vol. 117/ – P. 277–296. URL: <http://www.agentfactory.com/~rem/day4/Papers/AOSE-Jennings.pdf/>
13. **Wooldridge M.** Agent-based software engineering // IEEE Proc. Software Engineering. – 1997. – № 144 (1). – P. 26–37.
14. **Muller J.P. & M.Pischel.** 1993. The Agent Architecture InteRRaP: Concept and Application, German Research Center for Artificial Intelligence (DFKI). 1993.
15. **Аксенов К.А., Шолина И.И., Сафрыгина Е.М.** Разработка и применение объектно-ориентированной системы моделирования и принятия решений для мультиагентных процессов преобразования ресурсов [Текст] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление, 2009. – № 3 (80). – С. 87–97.