

*На правах рукописи*

УДК 004.896

АКСЕНОВ Константин Александрович

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В  
ОБЛАСТИ ПРОЦЕССОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка  
информации

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Екатеринбург – 2011

Работа выполнена на кафедре автоматизированных систем управления ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина».

Научный консультант – доктор технических наук, профессор

Л.Г. ДОРОСИНСКИЙ

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор

А.Ф. ШОРИКОВ

доктор технических наук, профессор

...

доктор технических наук, профессор

...

Ведущая организация – Институт машиноведения УрО РАН (г. Екатеринбург)

Защита состоится «...» . . . . . 2012 г. в ... час ... мин. в аудитории Р-217 на заседании диссертационного совета Д при ГОУ ВПО ... по адресу: ....

Отзывы в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: ..., Ученому секретарю.

Автореферат разослан «\_\_»\_\_\_\_\_201\_ г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д ..., доктор технических наук, профессор

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Работа посвящена актуальной проблеме разработки и внедрения методов и средств поддержки принятия решений, позволяющих создавать адекватные динамические модели организационно-технических систем, бизнес-систем и получать на их основе прогнозы последствий принятия управленческих решений, прогнозы развития предприятия, анализировать риски, решать задачи технико-экономического проектирования. На базе полученных динамических моделей решается задача проектирования информационных систем поддержки деятельности и принятия решений.

В данной работе рассматриваются вопросы теории и практики принятия решений, системного анализа и динамического моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР). К ним относится большинство окружающих нас процессов: процессы, протекающие в производстве, технике, организационно-технических системах, экономике, окружающей среде. В настоящее время наблюдается существенный интерес к области мультиагентных систем, спецификой которых является наличие сообществ взаимодействующих агентов, отождествляющихся с лицами, принимающими решения (ЛПР).

У истоков мультиагентного подхода лежат методы экспертного, имитационного и ситуационного моделирования. В становление теории мультиагентных процессов преобразования ресурсов и развитие систем поддержки принятия решений (СППР) и динамического моделирования существенный вклад внесли работы Александрова Д.В., Андрейчикова А.В., Андрейчиковой О.Н., Борщёва А.В., Бусленко Н.П., Буча Г., Вавилова А.А., Гавриловой Т.А., Глушкова В.М., Гольдштейна С.Л., Городецкого В.И., Девяткова В.В., Джекобсона А., Доросинского Л.Г., Емельянова В.В., Емельянова С.В., Исидзуки М., Карпова Ю.Г., Клебанова Б.И., Клыкова Ю.И., Кобелева Н.Б., Колесова Ю.Б., Конюха В.Л., Лисиенко В.Г., Морозовой В.А., Попова Э.В., Поспелова Д.А., Поршнева С.В., Прицкера А., Рамбо Д., Рубцова С.В., Рыбиной Г.В., Савиной О.А., Сениченкова Ю.Б., Скобелева П.О., Советова Б.Я.,

Спирина Н.А., Суханова В.И., Тарасова В.Б., Тельнова Ю.Ф., Трахтенгерца Э.А., Форрестера Дж., Филипповича А.Ю., Чистова В.П., Швецова А.Н., Шеера А.В., Шенка Р., Уэно Х., Яковлева С.А., Ясиновского С.И., Champy J., Hammer M., Jennings N.R., Kangassallo H., Minsky M., Newell A., Pegden C.D., Sowa J.F., Sturrock D.T., Edwin C. Valentin, Verbraeck A., Wooldridge M.J..

Характерной особенностью применяемого в настоящее время программного обеспечения имитационного моделирования (ИМ), экспертных систем (ЭС), систем поддержки принятия решений (СППР) является ориентированность на пользователей-программистов, что создает значительные трудности для участия в создании и эксплуатации моделей пользователей, которые не обладают навыками программирования, но являются специалистами в своей области. Существующие пакеты системного анализа, моделирования, технико-экономического проектирования и поддержки принятия решений, ориентированные на конечного пользователя, обладают рядом недостатков. В связи с этим, актуальным является исследование существующих математических моделей процессов, адекватных МППР, разработка метода системного анализа и моделирования, поддержки принятия решений и проектирования МППР. Также актуальной задачей выступает разработка на их основе проблемно-ориентированных пакетов ИМ, поддержки принятия решений и технико-экономического проектирования (ТЭП), которые должны обеспечить возможность специалистам проблемной области МППР самостоятельно создавать модели и с их помощью решать различные задачи анализа и синтеза организационно-технических систем.

#### **Объект исследования**

Мультиагентные процессы преобразования ресурсов (организационно-технические, производственные и бизнес-системы).

#### **Предмет исследования**

Модели, методы и программные средства системного анализа и динамического моделирования мультиагентных процессов преобразования

ресурсов, проектирования информационных систем поддержки бизнеса и поддержки принятия решений на основе динамических моделей.

### **Цели и задачи исследования**

Основной целью диссертационной работы является разработка теоретических основ, моделей и методов, а также программного обеспечения системного анализа, принятия решений и динамического моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов, обеспечивающих высокоуровневый интерфейс при разработке моделей, решении задач и проведении экспериментов. Для реализации основной цели исследования в работе решены следующие задачи:

- 1) проведение анализа существующих методов и средств системного анализа, принятия решений и моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов;
- 2) выделение и описание основных объектов модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов;
- 3) исследование существующих ситуационных, динамических моделей процессов преобразования ресурсов;
- 4) разработка ситуационной динамической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов;
- 5) разработка метода системного анализа, принятия решений и технико-экономического проектирования организационно-технических систем и мультиагентных процессов преобразования ресурсов;
- 6) программная реализация систем поддержки принятия решений мультиагентных процессов преобразования ресурсов;
- 7) внедрение теоретических основ (моделей, методов) и программных средств на предприятиях.

### **Методы исследования**

Для достижения поставленной цели используются: методы системного анализа и синтеза, теория и методы искусственного интеллекта, методы

ситуационного управления, методы экспертного и имитационного моделирования, теория процессов преобразования ресурсов, теория сетей Петри, аппарат системных графов, аппарат продукционных систем, теория систем массового обслуживания, исчисление предикатов, теория и методы принятия решений.

**Основные научные результаты и положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая ситуационная модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов, которая отличается от существующих:

- интеграцией ситуационного, имитационного, экспертного и мультиагентного подходов;

- представлением мультиагентного процесса преобразования ресурсов в виде продукционной системы;

- интегрированной фреймово-семантической моделью представления знаний на основе фрейм-концептов и концептуальных графов, позволяющей получить концептуальную модель предметной области;

- формированием выводов на ограниченном естественном языке, базирующемся на логике предикатов первого порядка и на языке запросов (Transact SQL);

- моделью интеллектуального агента, управляющего процессом преобразования ресурсов. За основу построения модели принята обобщенная модель интеллектуального агента Швецова А.Н., которая модернизирована и доработана применительно к проблемной области процессов преобразования ресурсов.

2. Новый объектно-структурный метод системного анализа, принятия решений и технико-экономического проектирования (ТЭП) мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР), который отличается от существующих методов следующим:

- использованием на этапе системного анализа предметной области ТЭП ОТС объектно-структурного подхода (ОСП) Гавриловой Т.А.,

поддерживающего дуальную стратегию проектирования и совмещение функционального и объектно-ориентированного подхода;

- применением для описания модели предметной области фреймового подхода Швецова А.Н. (использование фрейм-концептов (ФК) и концептуальных графов (КГ));

- графической нотацией (диаграмм) поиска решения и деревьев поиска решений, построенной на основе диаграмм последовательностей языка UML для визуализации вывода на сети фрейм-концептов и концептуальных графов;

- формированием выводов на языке запросов (Transact SQL);

- использованием динамической модели МППР для решения задачи имитационного моделирования ОТС, как наиболее адекватной;

- интеграцией ситуационного, имитационного, экспертного и мультиагентного подходов;

- применением на стадии генерирования вариантов возможных проектных решений фреймовой диалоговой экспертной системы (ЭС), обладающей визуальным объектно-ориентированным языком моделирования.

3. Компьютерная технология системного анализа, динамического моделирования ситуационных моделей больших систем и поддержки принятия решений, отличающаяся от существующих:

- организацией диалогового (интерактивного) режима при работе с комплексом программ системного анализа, имитационного моделирования и принятия решений (вводе, корректировке данных, создании моделей, проведении экспериментов и решении задач);

- визуальными средствами системного анализа и описания иерархических мультиагентных ситуационных моделей процессов преобразования ресурсов;

- наличием фреймово-семантической оболочки экспертной системы (ЭС);

- визуальными средствами настройки алгоритмов машины логического вывода;

- визуальными средствами проектирования и настройки прикладных проблемно-ориентированных систем поддержки принятия решений;

- гибридной архитектурой программной мультиагентной системы, построенной на основе архитектуры InteRRaP, которая позволяет строить сложные модели ОТС и МППР состоящие из 2х взаимодействующих между собой элементов: 1) динамической модели процесса управления и 2) блока (модуля), реализующего поиск решения многопараметрической задачи и выработки (генерации) управляющего воздействия на модель процесса управления.

**Достоверность полученных положений, выводов и рекомендаций** подтверждается:

- привлечением формальных логических теорий для доказательства результатов исследований;

- применением компьютерных технологий моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов на предприятиях.

#### **Научная новизна исследований**

- разработана математическая модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов на основе интеграции аппаратов процессов преобразования ресурсов (в основу которой положены типовые математические модели (расширенные сети Петри, модели системной динамики, системы массового обслуживания)), обобщенной модели интеллектуального агента Швецова А.Н. и SIE-модели Филипповича А.Ю.;

- показана неполная адекватность типовых математических моделей (сетей Петри, расширенных сетей Петри ( $N_E$ -схемы), систем массового обслуживания ( $Q$ -схемы), моделей системной динамики) процессу преобразования ресурсов;

- расширена динамическая модель процессов преобразования ресурсов аппаратами мультиагентных систем и ситуационного управления;

- создана оболочка универсальной фреймовой экспертной системы на основе реляционной базы данных MS SQL Server;

- предложены новые технические решения по построению проблемно-ориентированной СДМС на основе интеграции аппаратов имитационного, экспертного и ситуационного моделирования;

- разработаны алгоритмы поведения интеллектуального агента и работы машины вывода, которые легли в основу разработки и создания мультиагентной СДМС;

- расширен аппарат моделирования конфликтов, возникающих на общих ресурсах и средствах, за счет расширения моделей преобразователей и средств, а также учета конфликтов между агентами;

- предложена методика разработки программного обеспечения, основанная на построении интеллектуальной системы автоматизированного проектирования и позволяющая решать задачу на основе результатов, полученных на этапах системного анализа и динамического моделирования. Данная методика может эффективно применяться при разработке и настройке проблемно-ориентированных СППР;

- разработан новый метод системного анализа, принятия решений и технико-экономического проектирования МППР, опирающийся на объектно-структурный подход Гавриловой Т.А, динамическую модель МППР, объектно-ориентированный подход, интеллектуальное принятие решений и имитационное моделирование;

- разработан метод технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи;

- проведен сравнительный анализ разработанной модели и метода и близких к ней: 1) имитационная модель взаимодействия интеллектуальных агентов (ИМВИА) Г.В. Рыбиной, реализованная на основе динамической ЭС G2; 2) модель Ресурсы-Действия-Операции (РДО); 3) SIE-модель А.Ю. Филипповича; 4) модели активных и пассивных преобразователей Б.И. Клебанова, И.М. Москалева, а также их развитие в работах А.В. Немтинова, А.В. Крицкого; 5) модели бизнес-процессов С.В.Рубцова. Результаты анализа подтвердили эффективность разработанной модели.

**Научная значимость исследований** заключается в развитии теории и методов системного анализа, компьютерного моделирования, принятия решений в организационно-технических системах; а также построения СППР на основе интегрированных экспертных систем, основанных на знаниях, с использованием гибридных динамических моделей.

**Практическая ценность исследований** состоит в том, что разработанные методы, математические модели и комплексы программ позволяют:

- реализовать (в диалоговом режиме) процесс системного анализа и формализации модели в конкретной предметной области;
- проводить имитационные эксперименты с их последующим анализом;
- вырабатывать эффективные управленческие решения на производственных предприятиях.

**Личный вклад автора состоит в:**

- разработке и исследовании систем динамического моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов, CASE-средств;
- в анализе типовых моделей дискретных процессов;
- исследовании возможности использования типовых ситуационных моделей;
- разработке ситуационной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов;
- разработке метода системного анализа, динамического моделирования, принятия решений и технико-экономического проектирования организационно-технических систем и мультиагентных процессов преобразования ресурсов;
- разработке требований к комплексу программ;
- в проведении сравнительного анализа нового метода системного анализа и принятия решений мультиагентных процессов преобразования ресурсов с существующими;
- разработке информационного, алгоритмического, методического и лингвистического обеспечения комплекса программ.

**Реализация работы.** Система имитационного моделирования VPsim внедрена в ЗАО «Ведение реестров компаний», в отделе оконных конструкций ЗАО «Уральская индустриальная группа», в машиностроительном производстве ОАО «УралХИММАШ», в ООО «Маяк-Урал», на кафедре АСУ УГТУ-УПИ. Созданная СДМС VPsim2 внедрена в департаменте оконных конструкций предприятия ЗАО «Уральская индустриальная группа», в ООО «Промтехмонтаж», в Радиотехническом институте – РТФ УГТУ-УПИ, в учебном процессе на кафедре АСУ УГТУ-УПИ. Система VPsim3 применялась при решении задач технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи (МСС) в: 1) ЗАО «ИнсталСайт»; 2) в отделе развития Екатеринбургского филиала ОАО «Вымпелком»; 3) в УГТУ-УПИ при анализе бизнес-процессов и проектировании единой информационной системы университета. Система VPsim.MAS применялась в ЗАО «ТелеСистемы», в Научно-производственном объединении автоматики им. академика Н.А.Семихатова (НПОА).

#### **Основания для выполнения работы**

Данная работа была поддержана следующими грантами: РФФИ № 01-07-96501-р2001урал\_в (2001-2003); Президента Российской Федерации для молодых кандидатов наук МК-2208.2007.9 (2007-2008); РФФИ № 08-07-09232-моб\_з (2008); РФФИ № 09-07-09261-моб\_з (2009); РФФИ № 10-07-09233-моб\_з в (2010); РФФИ № 11-07-09266-моб\_з (2011); Попечительского Совета УГТУ-УПИ (2009-2010); программы развития УрФУ (2011); СКБ Контур (2011-2012).

Данная работа выполнялась при поддержке следующих государственных контрактов: ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» гос.контракт № 02.740.11.0512 (2010-2012), № 01.2.007 08048- (2007-2008).

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на IEEE 2011 UKSim 5th European Symposium on Computer Modeling and Simulation (Мадрид, Испания, 2011), IADIS International Conference Intelligent Systems and Agents (Рим, Италия, 2011), Chinese Control and Decision Conference (Xuzhou, China, 2010), 10th International PhD Workshop on Systems and Control

(Hluboka nad Vltavou, Czech Republic, 2009), Международных научн.-практ. конф. «СВЯЗЬ-ПРОМ» (Екатеринбург, 2004-2011), Winter Simulation Conference (Miami, USA, 2008), научно-практич. конф. «Ситуационные центры и перспективные информационно-аналитические средства поддержки принятия решений» (Москва, 2008), IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (Singapore, 2008), International conference Intelligent Systems and Agents 2008 part of the IADIS Multi Conference on Computer Science and Information Systems (Amsterdam, The Netherlands, 2008), Всеросс. научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (Санкт-Петербург, 2003, 2005, 2007, 2009), международных научн.-техн. конф. «Компьютерное моделирование» (Санкт-Петербург, 2007-2008). Результаты работы были представлены на международных конф.: Second International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation (Bali, 2010); 11th International PhD Workshop on Systems and Control (Veszprém, Hungary, 2010); 2009 IEEE International Conference on Information and Automation (Zhuhai/Macau, China, 2009); IEEE 2009 Chinese Control and Decision Conference (Guilin, China, 2009); Computational Science – ICCS 2006: 6th International Conference (Reading, UK, 2006); EUROCON2005 «Computer as Tools» (Белград, 2005).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 64 научные работы и выпущены 8 научн.-техн. отчетов, в том числе: 26 - в реферируемых журналах ВАК, 6 монографий, 5 учебных пособий.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем основной части работы составляет 366 страниц машинописного текста. Список литературы включает 257 наименований.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность решаемой проблемы, сформулирована цель работы, выделена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** обоснована необходимость автоматизации процессов принятия решений (ППР) в организационно-технических системах, приведен обзор методов моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов, рассмотрены системы поддержки принятия решений близкие по функциональности к системам динамического моделирования ситуаций (СДМС) и выполнен их сравнительный анализ, определены требования к СДМС мультиагентных процессов преобразования ресурсов.

В начале главы сформулированы базовые понятия моделирования организационно-технических систем: система, цель, задача, организационно-техническая система. Дано определение ситуации системы как оценки (анализа, обобщения) совокупности характеристик объектов и связей между ними, которые состоят из постоянных и причинно-следственных отношений, зависящих от произошедших событий и протекающих процессов. Дано определение ситуационной модели, как обобщенного описания (отображения) системы с помощью ситуаций. Дано определение системы ситуационного моделирования как комплекса программных и аппаратных средств, которые позволяют хранить, отображать, имитировать или анализировать информацию на основе ситуационного моделирования (СМ).

Принцип ситуационного управления изложен Филипповичем А.Ю. и базируется на понятии полной ситуации как совокупности, включающей состояние (текущую ситуацию), знания о системе управления в данный момент и знания о технологии управления. Элементарный акт управления представлен в следующем виде:

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

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

Далее рассматривается предметная область процессов преобразования ресурсов, охватывающая такие классы процессов, как производственные, технологические, организационные, бизнес-процессы и цепочки поставок, и

ставится задача применения ситуационного подхода к данной предметной области.

Дано определение процесса преобразования ресурсов как процесса преобразования входа (ресурсов, необходимых для выполнения процесса) в выход (продукты – результаты выполнения процесса). В момент выполнения условия запуска уменьшается входной ресурс и захватываются средства преобразования. В момент окончания преобразования происходит увеличение выходного ресурса и освобождение средств. В качестве системы преобразования ресурсов может быть рассмотрено любое производственное предприятие.

Далее в главе обосновывается необходимость автоматизации процесса принятия решений, рассмотрено развитие определения «система поддержки принятия решений», приведена структура СППР, определены функции СППР, показана возможность применения СППР в стратегическом управлении. Далее описываются системы ситуационного моделирования, как одно из перспективных направлений развития СППР, приводится классификация ССМ по назначению: системы ситуационного отображения информации, системы динамического моделирования ситуаций и аналитические ситуационные системы. Приведены примеры существующих и успешно работающих ССОИ и АСС. Расширена классификация систем ситуационного моделирования, предложенная Филипповичем А.Ю.. Показано, что специально разработанных СДМС в настоящее время не существует, поэтому вместо них адаптируют и используют другие классы систем.

Далее в главе приводится обзор существующих методов в области имитационного, ситуационного и экспертного моделирования. Для решения задачи построения модели ЛПР на разных уровнях сложной системы предлагается использовать теорию мультиагентных систем – новое направление развития искусственного интеллекта, информационно-телекоммуникационных технологий и имитационного моделирования. Приводится краткий обзор результатов исследований в данном направлении. Дается определение агента, как аппаратно или программно реализованной сущности, которая способна действовать в

интересах достижения целей, поставленных перед ней владельцем и/или пользователем, обладающей интеллектуальными способностями. Перечисляются основные свойства интеллектуального агента, дается определение мультиагентной системы (МАС), перечисляются виды взаимодействия агентов в МАС.

В главе приводится обзор систем близких к СДМС (ARIS ToolSet – система моделирования бизнес-процессов; экспертная система (ЭС) реального времени G2; системы мультиагентного имитационного моделирования AnyLogic и Pilgrim; системы имитационного моделирования Arena, GPSS, iThink, PowerSim, Simio, RAO-studio) и их сравнительный анализ 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 (описание ресурсов, средств, преобразователей, целей); 4) создание иерархической модели процесса; 5) наличие языков описания ситуаций, команд; 6) построение мультиагентных моделей (наличие сообществ интеллектуальных агентов (ИА, моделей ЛПР), обладающих моделью поведения и знаниями); 7) интеграция имитационных моделей, экспертных систем и ситуационного подхода; 8) интеграция с методикой сбалансированных показателей (BSC); 9) поддержка русского языка.

Анализ показал, что ни одна из систем не обладает всеми функциями, необходимыми для мультиагентной СДМС. Функции проектирования концептуальной модели предметной области и построения мультиагентных моделей, содержащих ИА, рассмотренные системы не поддерживают. Методику BSC поддерживает только система ARIS, но она не поддерживает интеграцию ИМ и BSC. С точки зрения непрограммирующего пользователя удобными средствами создания модели мультиагентного процесса преобразования не обладает ни одна из систем. Аналоги плохо поддерживают русский язык и обладают высокой стоимостью (50-70 тыс. долл.). К достоинствам пакетов AnyLogic и G2 можно отнести использование языков высокого уровня, благодаря чему пакеты могут предоставлять разработчику моделей серьезный уровень

функциональности. Система G2 (фирма Gensym, США) является системой двойного назначения и в России не используется.

Проблема исследования и разработки моделей, методов и средств динамического моделирования мультиагентных систем в настоящее время находится в стадии развития. Дальнейшего исследования и разработки требуют такие вопросы как:

1) создание динамической ситуационной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов на основе интеграции аппаратов имитационного моделирования (ИМ), ЭС, ситуационного управления и мультиагентных систем;

2) реализация языковых и инструментальных средств (проблемно-ориентированных) динамического моделирования ситуаций в области мультиагентных процессов преобразования ресурсов:

- поддерживающих полный жизненный цикл разработки и отладки моделей, и проведение экспериментов;

- обладающих полным набором функциональных возможностей мультиагентной СДМС.

Исходя из вышеизложенного, необходимо выбрать математическую ситуационную модель динамического процесса, адекватную мультиагентному процессу преобразования ресурсов, и на ее основе разработать СДМС имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов, которая отличается от рассмотренных полным набором функциональных возможностей; проблемной ориентацией на процессы преобразования ресурсов; интеграцией с методикой BSC; поддержкой русского языка; более низкой стоимостью.

**Во второй главе** проведен анализ существующих ситуационных моделей (классической семиотической модели Клыкова Ю.И. и SIE-модели Филипповича А.Ю.). Создана математическая ситуационная модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов на основе интеграции аппаратов процессов преобразования ресурсов, ситуационного и экспертного моделирования, мультиагентных систем.

К числу основных требований, предъявляемых к математической модели, отнесены: 1) ориентация на моделирование процессов преобразования ресурсов и решение соответствующих задач: учет различных типов ресурсов (материальных, информационных, энергетических, трудовых, финансовых); учет состояния операций и условий в конкретные моменты времени; задание начальных состояний операций; учет возникновения конфликтов на общих ресурсах и средствах; задание разветвления и слияния потоков ресурсов; иерархическое представление структуры процесса; расчет характеристик и параметров процесса на каждом уровне иерархии; 2) наличие сообществ интеллектуальных агентов, участвующих в управлении процессом преобразования ресурсов. Данное требование предполагает наличие следующих элементов: модели агента, базы знаний интеллектуального агента, модели взаимодействия (общения) агентов; 3) применение ситуационного подхода (наличие в модели агента механизмов диагностирования ситуаций и поиска решений).

Модель, отвечающая выше перечисленным требованиям, реализуется с помощью интеграции имитационного, экспертного и ситуационного моделирования в области процессов преобразования ресурсов.

При построении математической модели выделены основные объекты мультиагентного процесса преобразования ресурсов (рис.1): операции (*Op*), ресурсы (*RES*), команды управления (*U*), средства (*MECH*), процессы (*PR*), источники (*Sender*) и приемники ресурсов (*Receiver*), перекрестки (*Junction*), цели (*G*), параметры (*P*), агенты (*Agent*). Отдельно определены информационные типы ресурсов: сигналы (*Sig*) и заявки на выполнение операции (*Order*). Параметры процесса задаются функцией от характеристик объектов и разделяются на производные (свертка различного типа характеристик) и консолидированные (свертка одноименных характеристик операций процесса). Описание причинно-следственных связей между элементами преобразования и ресурсами задается объектом «связь» (*Relation*). Существование агентов предполагает наличие сообщений (*Message*), микроситуаций (*Mis*), макроситуаций (*Mas*), ситуаций (*Sit*)

и решений (планов действий) (*Decision*). Элементы с индексом «Ca» - условия запуска операций, перекрестков.

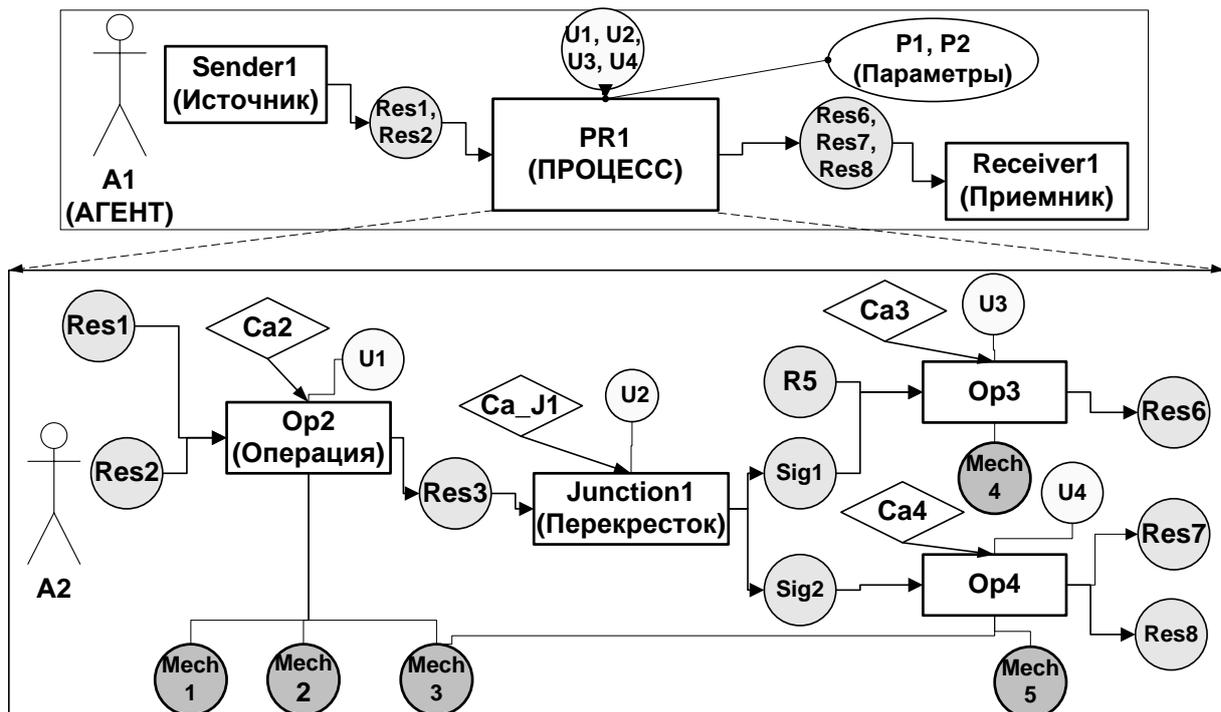


Рис.1. Объекты ситуационного мультиагентного процесса преобразования ресурсов

Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов представлена в виде:

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

где *Name* - имя модели; *desc* - описание модели; *O* – объекты (элементы), ресурсы, средства, преобразователи, сигналы, заявки, цели, параметры, агенты, сообщения; *Relation* – связи; *A<sup>self</sup>* – собственные атрибуты модели.

Модель интеллектуального агента представлена в следующем виде:

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

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 процесса преобразования ресурса. Агент выполняет следующие действия (рис.2): 1) анализирует внешние параметры

(текущую ситуацию); 2) диагностирует ситуацию, обращается к базе знаний. В случае определения соответствующей ситуации агент пытается найти решение (сценарий действий) в базе знаний 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 ресурсов, а также другим агентам; 7) обменивается сообщениями.

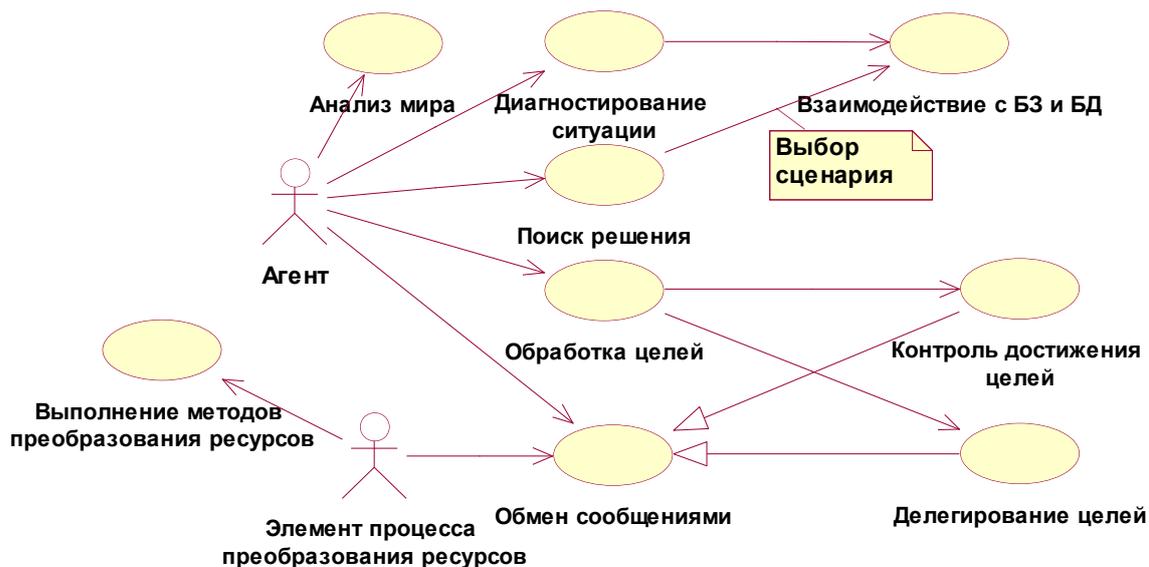


Рис.2. Диаграмма прецедентов, определяющая отношения между агентом и элементом процесса преобразования ресурсов

Элементы процесса преобразования ресурсов участвуют в обмене сообщениями и на основе своих моделей поведения выполняют свои преобразовательные функции, руководствуясь поступающими сообщениями.

Исследована возможность применения для создания математической модели процесса преобразования ресурсов типовых моделей описания процессов: расширенных сетей Петри; систем массового обслуживания; моделей системной динамики; конечных и вероятностных автоматов; непрерывно-дискретной модели В.М. Глушкова и комбинированных (агрегативных) моделей. Показано, что данные модели не позволяют адекватно представлять МППР.

Для сетей Петри при моделировании МППР выявлен ряд недостатков: отсутствие измерения времени; отсутствие конфликтов на одновременно выполняющихся операциях; нет разделения типов меток (типов ресурсов); модели

реальных процессов, описанные в терминах сетей-Петри являются громоздкими и плохо читаемыми. В силу того, что у  $N_E$ -схем переход имеет только два состояния, нет возможности моделировать прерывание процесса. Понятийный аппарат Q-схем не соответствует проблемной области МППР – Q-схемы ориентированы на моделирование работы средств, а в МППР моделируется последовательность и параметры преобразований ресурсов. Для моделей системной динамики определены следующие накладываемые ограничения при моделировании МППР: запаздывание захвата входных ресурсов по отношению к реальным МППР, при этом максимальная погрешность захватываемых входных ресурсов определяется как  $\sum_i in_i$ , где  $\{in_i\}$  – множество входных ресурсов, необходимых для одновременного выполнения всех преобразований; опережение формирования выходных ресурсов, при этом максимальная погрешность формируемых выходных ресурсов определяется как  $\sum_j \frac{out_j}{k_j} (k_j - 1)$ , где  $\{in_j\}$  – множество выходных ресурсов, формируемых при одновременном выполнении всех преобразований,  $k_j = \text{MAX}(K)$ , где K – множество длительностей элементов преобразования, выраженных в шагах дискретизации; опережение момента начала работы элементов, по отношению к реальному МППР в условиях ограничения входных ресурсов; запаздывание захвата средств (следствие запаздывания входных ресурсов) и опережение освобождения средств (следствие опережения формирования выходных ресурсов).

Так у автоматов существуют следующие ограничения:

- один вход и один выход, а в операции преобразования ресурсов – вектора входов и выходов;
- состояния ресурсов (входных и выходных сигналов) задаются на конечном множестве дискретных сигналов, а в процессах преобразования – на конечном множестве непрерывном  $[0, M)$ );
- отсутствует язык представления знаний и механизм логического вывода, необходимые для реализации ситуационного подхода;

- автомат также не позволяет моделировать поведение интеллектуальных агентов (отсутствует компонент ЭС).

F-схемы и P-схемы для моделирования процессов преобразования ресурсов могут быть использованы в ограниченном количестве случаев.

Модель В.М.Глушкова не включает в себя язык представления знаний и механизм логического вывода, необходимые для реализации ситуационного подхода; в модели отсутствуют элементы эквивалентные заявкам и интеллектуальным агентам. Данная модель ориентирована на моделирование непрерывно-дискретных систем.

В связи с указанными недостатками типовых моделей для построения ядра моделирующей системы предложено использовать аппарат продукционных систем. Определена структура продукционной системы процесса преобразования ресурсов в виде:

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

где  $Rps = \{RES(t)\} \cup \{MECH(t)\} \cup \{Order(t)\} \cup \{Sig(t)\} \cup \{Message(t)\} \cup \{U(t)\} \cup \{G(t)\}$  – текущее состояние ресурсов, средств, заявок, сигналов, сообщений, 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 БЗ агентов.

Определена структура правила преобразования, которая соответствует структуре операции процесса преобразования ресурсов ( $Op_k$ ):

$$RULE_k^{OP} = \langle C_a(t), A_{IN}(t_{Ca}), A_{Lock}(t_{Lock}), A_{UnLock}(t_{UnLock}), A_{OUT}(t_{End}), \\ Status^{RULE}, time_{RULE}, prior, kind\_prior, break\_off \rangle, \quad (5)$$

$$A_{IN}(t_{Ca}) = \langle A_{in}^{RES}(t_{Ca}), A_{in}^{MECH}(t_{Ca}) \rangle, \quad (6)$$

$$A_{Lock}(t_{Lock}) = \langle A_{Lock}^{MECH}(t_{Lock}), A_{Lock}^{RES}(t_{Lock}) \rangle, \quad (7)$$

$$A_{UnLock}(t_{UnLock}) = \langle A_{UnLock}^{RES}(t_{UnLock}), A_{UnLock}^{MECH}(t_{UnLock}) \rangle, \quad (8)$$

$$A_{OUT}(t_{End}) = \langle A_{in}^{RES}(t_{End}), A_{in}^{MECH}(t_{End}) \rangle, \quad (9)$$

где  $C_a(t)$  – условие запуска правила;  $A_{IN}(t_{Ca})$  – действия по захвату входных ресурсов ( $A_{in}^{RES}(t_{Ca})$ ) и захвату средств ( $A_{in}^{MECH}(t_{Ca})$ );  $A_{Lock}(t_{Lock})$  – действия по

прерыванию операции: освобождению захваченных средств ( $A_{Lock}^{MECH}(t_{Lock})$ ), которое может сопровождаться соответствующими затратами ресурсов; ( $A_{Lock}^{RES}(t_{Lock})$  – затраты ресурсов, включая ресурс времени, необходимые для выполнения остановки операции  $Op_i$ );  $A_{UnLock}(t_{UnLock})$  – действия по продолжению выполнения операции: захвату свободных средств ( $A_{UnLock}^{MECH}(t_{UnLock})$ ), который может сопровождаться соответствующими затратами ресурсов ( $A_{UnLock}^{RES}(t_{UnLock})$  – затраты ресурсов, включая ресурс времени, необходимые для продолжения выполнения операции  $Op_i$ );  $A_{OUT}(t_{End})$  – действия по формированию выходных ресурсов ( $A_{in}^{RES}(t_{End})$ ) и освобождению средств ( $A_{in}^{MECH}(t_{End})$ );  $Status^{RULE} = \{wait, active, lock, done\}$  – состояние правила, определенное на конечном множестве состояний: *wait* – ожидание, *active* – выполнение, *lock* – прерывание, *done* – выполнена;  $time_{RULE}$  – длительность выполнения правила преобразования; *prior* – приоритет правила; *kind\_prior* – тип приоритета (относительный, абсолютный);  $break\_off = \{true, false\}$  – признак запрета прерывания.

Средство  $Mech_y$ , обладающее моделью поведения, дополнительно отнесено к правилу преобразования, которому соответствует следующая структура:

$$\begin{aligned}
 RULE_y^{MECH} = & \langle t_{Create}^{mech}, Status_{Mech}, Am^{in}, Am^{out}, \\
 & Am^{use}, Am^{lock}, Am^{unlock}, Am^{other}, t_y^{other}, product_y \rangle,
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

где  $t_{Create}^{mech}$  – время создания;  $Status_{Mech} = \{wait, active, lock, other\}$  – состояние средства, определенное на конечном множестве состояний: *wait* – ожидание, *active* – выполнение, *lock* – прерывание, *other* – набор расширяемых состояний, который может быть связан с различными видами возникаемых поломок и действий по их устранению;  $Am^{in}$  – действие по запуску средства в момент начала преобразования;  $Am^{out}$  – действие по остановке средства в момент окончания преобразования;  $Am^{use}$  – действие по выполнению преобразования;  $Am^{lock}$  – действие по остановке средства в момент прерывания преобразования;  $Am^{unlock}$  – действие по запуску средства в момент продолжения преобразования;  $Am^{other}$  – действие по устранению поломки;  $t_y^{other}$  – периодичность возникновения поломки (может быть

задана функцией);  $product_y$  – производительность средства в единицу времени, (может быть задана функцией от расхода ресурсов).

Для описания иерархической структуры мультиагентного процесса преобразования ресурсов и расчета консолидированных характеристик был использован метод системных графов.

$$\begin{aligned} \vec{PR}_{L=i}^{\Sigma} = & \langle \{Sender^m \cup Op^m \cup Receiver^m \cup Junction^m \cup Agent^m\}_{L=i}; \\ & \{PR_{L=j}^{p_i}; p_i = 1, \dots, n_{L=j}^p\}_{j=2, \dots, i}; \{Relation_{AB}^{mk}\}_{L=i} \rangle. \end{aligned} \quad (11)$$

Граф  $i$ -го уровня интеграции образуется в результате поэтапной интеграции

графов  $\vec{PR}_1, \vec{PR}_2, \dots, \vec{PR}_{i-1}$  с образованием на каждом  $j$ -м этапе множества  $\{PR_{L=j}^p; p=1, \dots, n_{L=j}^p\}$  процессов (подпроцессов)  $j$ -го уровня интеграции,  $L$  – уровень интеграции. Элементы множества мультиагентного процесса преобразования ресурсов  $\{Sender^m \cup Op^m \cup Receiver^m \cup Junction^m \cup Agent^m\}_{L=i} \subset \{Sender^m \cup Op^m \cup Receiver^m \cup Junction^m \cup Agent^m\}_{L=i-1} \subset \dots \subset \{Sender^m \cup Op^m \cup Receiver^m \cup Junction^m \cup Agent^m\}_{L=1}$  и множества ресурсных отношений  $\{Relation_{AB}^{mk}\}_{L=i} \subset \{Relation_{AB}^{mk}\}_{L=i-1} \subset \dots \subset \{Relation_{AB}^{mk}\}_{L=1}$  системного графа  $\vec{PR}^{\Sigma}_{L=i}$  представляют собой элементы процесса преобразования и ресурсные отношения между элементами, а также элементы  $Sender^m \cup Op^m \cup Receiver^m \cup Junction^m \cup Agent^m$  и ресурсные отношения  $Relation_{AB}^{mk}$  системного графа  $\vec{PR}^{\Sigma}$  первого уровня интеграции, не вошедшие при поэтапной интеграции ни в один процесс  $PR_{L=j}^p$ .

Усовершенствована модель процесса преобразования ресурсов, предложенная Аксеновым К.А. и Клебановым Б.И.:

1) расширена целями, агентами, ситуациями, макро- и микроситуациями, командами управления;

2) дополнена аппаратом моделирования конфликтов, возникающих на общих ресурсах и средствах за счет введения модели поведения средства и расширения модели поведения операции, а также учета конфликтов между агентами;

3) интегрирована с аппаратом ситуационного управления в части алгоритма имитатора.

За основу модели интеллектуального агента (ИА) взята обобщенная модель интеллектуального агента (ОМИА), предложенная Швецовым А.Н. Данная модель адаптирована к предметной области процессов преобразования ресурсов. Разработан алгоритм, реализующий поведение ИА. За основу правил поведения агентов взят специализированный объектно-ориентированный язык *RADL* (Reticular Agent Definition Language). Применительно к предметной области процессов преобразования ресурсов, структура правил поведения агентов выглядит следующим образом:

**Name** <Имя правила>

**If** < *Message Conditions*, *RCP Conditions*, *G\_Ag Conditions* >

**Then** < *G\_Ag Changes*; *Message Actions*; *Private Actions* > ,

где *Message Conditions* – условия, относящиеся к сообщениям; *RCP Conditions* – условия, относящиеся к преобразователям и ресурсам (*RCP* – *Resources conversion process*); *G\_Ag Conditions* – условия, относящиеся к целям; *G\_Ag Changes* – действия по изменению текущих целей агента; *Message Actions* – действия по формированию сообщений; *Private Actions* – действия (план действий), связанные с преобразователями и ресурсами, направленные на достижение поставленных целей. Части правил могут быть представлены в виде предикатов первого порядка.

Разработан алгоритм ситуационно-имитационного моделирования, за основу которого взят алгоритм, реализованный в системе VPsim и доказавший свою эффективность и быстроедействие при решении практических задач в предметной области процессов преобразования ресурсов.

Алгоритм имитатора состоит из следующих основных этапов: определения текущего момента времени  $SysTime = \min T_j, j \in RULE$ ; обработки действий агентов (диагностирования текущих ситуаций, выработки команд управления); формирования очереди правил преобразования; выполнения правил

преобразования и изменения состояния рабочей памяти (ресурсов и средств). Для диагностирования текущих ситуаций и выработки команд управления имитатор обращается к модулю экспертной системы.

В основу метода повышения быстродействия алгоритма машины вывода, направленного на уменьшение перебора правил, положена гипотеза Улриха об учете распределения событий во времени. В качестве основных методов повышения быстродействия использованы: событийный метод продвижения по времени; списки различных типов правил; введение дополнительного атрибута в структуру элементов рабочей памяти, содержащего перечень правил, в которых может быть использован данный элемент (в качестве входа / выхода / средства). Приведены результаты экспериментов, подтверждающих существенное повышение быстродействия пакета моделирования при использовании данных методов.

Проблема исследования и разработки моделей, методов и средств принятия решений задач проектирования и адаптивного динамического моделирования МСС в настоящее время находится в стадии развития. Дальнейшего исследования и разработки требуют такие вопросы как:

1. Создание динамической модели МСС и метода проектирования МСС на основе интеграции аппаратов ИМ, ЭС, ситуационного управления и мультиагентного моделирования (используемого для учета человеческого фактора и слабоформализуемых сценариев принятия решений).

2. Реализация языковых и инструментальных средств (проблемно-ориентированных) принятия решений для проектирования и адаптивного динамического моделирования пошагового развития ОТС, поддерживающих полный жизненный цикл разработки и отладки моделей, а также проведения экспериментов, и обладающей полным набором функциональных возможностей системы поддержки принятия решений ОТС.

**В третьей главе** на основе вышеизложенной математической модели разработан метод системного анализа, моделирования, принятия решений и технико-экономического проектирования МППР и ОТС. На основе интеграции

объектно-структурного подхода (ОСП) Гавриловой Т.А., МППР, ситуационного и экспертного моделирования, мультиагентных систем синтезирован объектно-ориентированный метод принятия решений задач проектирования и адаптивного имитационного моделирования МСС, а также построена фреймово-семантическая модель проектирования МСС на основе подхода Швецова А.Н.

К числу основных требований, предъявляемых к математической модели и методу принятия решений, отнесены:

- 1) решение задачи технико-экономического проектирования ОТС;
- 2) динамическое моделирование процессов ОТС.

В качестве основы для системного анализа ОТС использованы: дуальная стратегия проектирования, объектно-структурный подход Гавриловой Т.А. и МППР (и ее графическая нотация, в основе которой лежит метод системных графов высокого уровня интеграции).

В качестве модели представления знаний предложено фрейм-семантическое представление. Для построения концептуальной модели предметной области (КМПО) и решения задачи сокращения затрат на разработку программного обеспечения (ПО), в работе использован подход Швецова А.Н., основанный на совмещении фреймоподобных структур с конструкциями концептуальных графов. Выбор фреймов обосновывает применение объектно-ориентированного подхода (ООП) и объектных языков программирования при разработке системы поддержки принятия решений (СППР) МСС, минимизирует затраты на создание программного обеспечения.

В работе исследована возможность использования современных реляционных СУБД для создания на их основе фреймовых ЭС. Разработан подход к созданию фрейм-системы на основе реляционной БД MS SQL Server. Достоинством предложенного подхода и соответствующих решений, реализованных в созданной универсальной оболочке экспертной системы «Конструктор фрейм-систем», является то, что проектирование модели предметной области в виде фреймовой системы, построение концептуальной модели предметной области, ввод знаний и данных, механизм логического вывода

и запросы к базе знаний реализуются на языке Transact-SQL. Таким образом, не потребовалось создание языка вывода на фреймовой модели. Данный фактор снижает требования к навыкам системных программистов, аналитиков и инженеров по знаниям, поддерживающих работоспособность данной системы, а также позволяет повысить эффективность их работы.

При проведении системного анализа в качестве основы описания структуры ФК может быть использована диаграмма классов языка UML. Дальнейшее описание КГ (семантики) и наполнение данными полученной концептуальной модели – образует базу знаний. Для реализации визуального построителя механизма логического вывода в СППР ВРsim3 предложено использование диаграмм последовательности языка UML. Диаграмма последовательности графически описывает последовательность вызова методов между классами при решении определенной задачи (сценария). Данный подход позволяет визуально (в виде блок-схемы) описать ход решения задачи – последовательность вызовов процедур (методов \ демонов) от одного фрейма к другому.

Согласно правилу чтения диаграммы последовательности выполнения методов указывается сверху вниз. Для организации циклов и возможности перебора альтернатив методы усовершенствованной диаграммы последовательности расширены возможностью отката (перехода) на ранний шаг (метод). Метод может реализовывать функцию выбора (означивания) значения свойства фрейма-экземпляра или фрейма-класса (в случае множественного выбора). Таким образом, применение диаграммы последовательности позволяет описывать сценарий принятия решений (решения задачи), в рамках которого путем вызова методов реализуется обработка фреймов (по аналогичным принципам строятся диалоговые ЭС).

В результате сравнительного анализа определены недостатки рассмотренных графических нотаций описания процессов (IDEF0, IDEF3, DFD, EPC, моделей системной динамики) процессу преобразования ресурсов. На их основе разработана графическая нотация МППР.

Реализована гибридная архитектура мультиагентной системы на основе архитектуры InteRRap применительно к МППР, что является основой для реализации сложных ИНС.

Проведен сравнительный анализ разработанного метода и близких подходов:

1) подход Г.В. Рыбиной и имитационную модель взаимодействия интеллектуальных агентов (ИМВИА), реализованную на основе динамической ЭС G2; 2) модель Ресурсы-Действия-Операции (РДО); 3) SIE-модель и подход А.Ю. Филипповича; 4) модели активных и пассивных преобразователей Б.И. Клебанова, И.М. Москалева, а также ее развития в работах А.В. Немтинова, А.В. Крицкого; 5) модели бизнес-процесса С.В. Рубцова. Результаты анализа подтвердили эффективность разработанного метода. Результаты анализа рассмотренных подходов и моделей динамического моделирования ситуаций приведены в табл. 1.

Табл. 1. Анализ подходов и динамических моделей ситуаций

Характеристики	Подход ИМВИА +G2	Модель РДО	SIE-модель	Модели Б.И. Клебанова	Модель С.В. Рубцова	МППР
1. Проектирование концептуальной модели (КМПО)	+	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ	+
2. Различные типы ресурсов	+	+	+	+	+	+
3. Учет временных характеристик	+	+	+	+	+	+
4. Конфликты на общих ресурсах и средствах	+	+	+	+	+	+
5. Операция дискретная	+	+	+	+	+	+
6. Сложный ресурс (заявка), очередь заявок	+	+	+	+	+	+
7. Язык описания ситуаций, механизм диагностики ситуаций и поиска решений.	+	+	+	НЕТ	НЕТ	+
8. Реактивный агент	+	+	НЕТ	+	НЕТ	+
9. ИА на производствах	+	+	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+
10. ИА на фреймах	НЕТ	НЕТ	+	НЕТ	НЕТ	+
11. Гибридный агент	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	НЕТ	+

Полученные теоретические результаты (методы системного анализа МППР и объектно-ориентированный метод технико-экономического проектирования ОТС) позволяют реализовать программное обеспечение, относящееся к классу интеллектуальных систем, которое использует методы экспертного, имитационного, ситуационного и мультиагентного моделирования.

**В четвертой главе** на основе полученных теоретических результатов (нового метода системного анализа и модели МППР) разработан метод проектирования и настройки информационных систем и СППР.

Наиболее распространенными CASE-средствами проектирования программного обеспечения (ПО) в настоящее время являются ARIS, AllFusion и Rational Rose. Основной недостаток данных систем – слабая связь или ее отсутствие с динамическими моделями, которые используются в процессах принятия решений (ППР) (часто следствием ППР является изменение процессов (оптимизация, реинжиниринг), изменение процессов в свою очередь влечет изменение инфраструктуры бизнеса). В области CASE-средств существуют лишь два комплекса программ, которые могут использовать в виде входной информации данные, полученные на этапе моделирования процессов: 1) пакет ARIS, который предлагает меньшие возможности в области ИМ, но позволяет проектировать архитектуру ПО и в дальнейшем настраивать SAP/R3; 2) пакет AllFusion интегрируется со средством дискретного ИМ Arena. Лидер в области проектирования ПО CASE-средство 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. Современные и распространенные CASE-средства на проектирование агентного ПО не

ориентированны. Также в современных CASE-средствах не реализована возможность проектирования пользовательского интерфейса.

Определены следующие требования к методу принятия решений в области разработки ИС МППР:

- 1) выбор методики системного анализа и модели МППР;
- 2) ИМ МППР для проверки модели «как будет» на этапе реинжиниринга бизнес-процесса (БП), и использования в контуре управления предприятием (ОТС);
- 3) интеллектуальное проектирование информационной системы (ИС), включающее функциональный и объектно-ориентированный анализ, проектирование пользовательского интерфейса (ПИ), формирование исполняемого кода ИС;

4) метод принятия решений для задачи разработки ИС для МППР должен ориентироваться на итерационно-спиральную модель ЖЦ ПО, поскольку сложность и изменчивость автоматизируемых БП и процессов принятия решений (ППР) не позволяют полностью проработать требования к ИС на начальном этапе.

Далее приводится метод ППР разработки ИС предметной области МППР, состоящий из следующих этапов:

1. Обследование предметной области и построение имитационной модели МППР «как есть».

2. Проведение имитационных экспериментов с моделью «как есть» с целью выявления «узких мест» в процессах. По результатам моделирования строится модель МППР «как будет».

3. Построение модели ИС на основании данных из модели МППР.

3.1. Каждая операция из модели МППР, которую необходимо автоматизировать в ИС, преобразуется в функцию DFD-диаграммы  $\forall Op^i \quad Op^i \rightarrow F_{DFD}^i$ . На диаграмме классов создается базовый класс операций, для каждой операции – экземпляр базового класса.

3.2. Все ресурсы, используемые в автоматизируемых операциях, преобразуются в потоки данных DFD-диаграммы, причем входные ресурсы  $i$ -ой

операции становятся входными потоками  $i$ -ой функции DFD-диаграммы  $\forall Res^i : Res^i \in In_{Op^i} \quad Res^i \rightarrow DF\_in_{DFD}^i(Op^i)$ , а выходные ресурсы - выходными потоками  $i$ -ой функции DFD-диаграммы  $\forall Res^i : Res^i \in Out_{Op^i} \quad Res^i \rightarrow DF\_out_{DFD}^i(Op^i)$ . На диаграмме классов создается базовый класс ресурса. Для каждого типа ресурса (информационный, материальный, трудовой, финансовый, энергетический) создается соответствующий дочерний класс на UML-диаграмме классов. Для каждого ресурса – экземпляр соответствующего класса.

3.3. Для всех ресурсов модели создается хранилища данных  $Create(DS_{DFD}^{ii})$  на DFD-диаграмме. На UML-диаграмме классов создается базовый класс для хранилища данных.

3.4. Все агенты из модели МППР, которые будут реализованы программно, преобразуются во внешние сущности DFD-диаграммы  $\forall Agent^i \quad Agent^i \rightarrow Ex_{DFD}^i$ . Для каждого агента создается соответствующий класс на UML-диаграмме классов  $\forall Agent^i \quad Agent^i \rightarrow Class_{UML}^{Agent^i}$ . В модели МППР описание ИА содержит описание правил их поведения. Эту информацию необходимо использовать при программной реализации агента.

3.4.1. Преобразование реактивного агента

3.4.2. Описание правил агента используется для построения диаграммы прецедентов, т.е. каждое правило переходит в прецедент.

3.4.3. Формулы, содержащиеся в условиях «если» и «то» правил агента переходят в описание метода соответствующего класса. База знаний ИА проектирования ИС представляет собой описание объектов МППР и ИС.

3.5. На основании данных из DFD-диаграммы создаются диаграммы прецедентов. Каждая внешняя сущность преобразуется в актера соответствующей диаграммы прецедентов  $\forall Ex_{DFD}^i \quad Ex_{DFD}^i \rightarrow Actor_{UML}^i$ , а связанные с ней функции – в прецеденты  $\forall F_{DFD}^i : F_{DFD}^i(Ex_{DFD}^i) \quad F_{DFD}^i \rightarrow Case_{UML}^i(Actor_{UML}^i)$ .

3.6. Атрибуты классов, соответствующих внешним сущностям, позволяют определить структуру таблиц ER-диаграммы.

4. Доработка системы разработчиками, построение диаграмм последовательности и моделирование пользовательского интерфейса.

**В пятой главе** на основе вышеизложенной математической модели и метода представлены принципы разработки и технические решения созданных комплексов программ семейства VPsim. Создание комплекса программ потребовало разработки: интерфейсов описания модели; прикладных программных систем, в том числе программного, информационного, алгоритмического, математического и методического обеспечения; технологии работы с комплексом.

В качестве инструментов анализа и синтеза моделей используются следующие продукты семейства VPsim:

- VPsim.MAS – мультиагентная система динамического моделирования ситуаций (СДМС VPsim2);
- VPsim.MSN – система технико-экономического проектирования;
- VPsim.DSS – интегрированная СППР, включающую в себя VPsim.MAS и VPsim.MSN, реализующая архитектуру InteRRap;
- VPsim.SD – CASE-средство Software Developer (используется при проектировании, настройке и внедрении проблемно-ориентированных СППР);
- VPsim.Wizard – технология программных помощников.

Также предложена методика системного анализа, синтеза, моделирования МППР и принятия решений на основе новых программных средств. Данная методика написана исходя из опыта решения практических задач, представленных в главе шесть.

**В шестой главе** представлены модели, разработанные с помощью комплекса программ семейства VPsim.

Для ЗАО «Уральская индустриальная группа» в 2003 году с помощью «VPsim» была спроектирована динамическая модель деятельности.

Использование разработанной системы позволило: определить оптимальный график доставки окон и работы монтажных звеньев; оптимальное количество монтажных звеньев в зависимости от сезонного спроса (объема заказов); а также сократить сроки выполнения заказов с 14 дней до 11, что позволило увеличить прибыль предприятия на 21%.

Для предприятия ЗАО «Уральская индустриальная группа» с помощью VPsim2 была спроектирована мультиагентная динамическая модель его деятельности. Цель создания такой модели – разработка алгоритма поведения ЗАО «УИГ» и его ценовой стратегии для увеличения доли рынка и перехода на новый технологический уровень, повышающий конкурентоспособность предприятия. Необходимо было рассчитать долгосрочную ценовую стратегию, позволяющую на первом этапе – путем снижения цен увеличить объем продаж (долю рынка) за счет вытеснения с рынка слабых конкурентов; на втором – путем постепенного повышения цены, не снижая доли рынка, получить дополнительную прибыль, позволяющую модернизировать производственные мощности предприятия с помощью нового современного оборудования, которое позволит повысить конкурентоспособность (увеличить качество и количество выпускаемой продукции) и привлечь новые группы потребителей на рынке.

В модели используются следующие параметры: 1) предприятия (доля рынка сбыта – 6,6%; объем продаж – 2000 м<sup>2</sup> в месяц; цена 1 м<sup>2</sup> – 5500 руб.; оформление заявки в СОК (Самарский оконный завод) – 1 день; производство окон на заводе изготовителе – 5 дней; доставка – 2 дня); 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, которые были рассмотрены в модели: процесс производства; процесс продаж; процесс монтажа; процесс сервисного обслуживания.

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.

Система «VPsim3» используется специалистами отдела развития Екатеринбургского филиала ОАО «Вымпелком» для первичной оценки технико-экономической целесообразности строительства фрагментов (элементов) сотовой сети «Билайн» в Свердловской области, а также при моделировании сценариев этапов и составлении планов строительства. С помощью «VPsim3» в период внедрения с апреля по май 2008 года специалистами отдела развития был выполнен анализ «бизнес-кейсов» 25 объектов связи, 10 из которых утверждены в строительство. До применения «VPsim3» специалистами отдела развития анализ «бизнес-кейсов» выполнялся вручную - не более 15 объектов. Применение «VPsim3» позволило поднять эффективность деятельности специалистов отдела развития на 66%.

Внедрение «VPsim3» в службе проектного управления и контроля ЗАО «ИнсталСайт» (г. Москва) позволило компании предоставлять операторам сотовой связи новый вид инжиниринговых услуг - «поиск позиций для строительства базовых станций с возможностью контроля инвестиционных показателей (период окупаемости инвестиций не более 18 месяцев) как локально, так и в составе фрагмента сети сотовой связи.

Система VPsim.MAS использовалась в ЗАО «ТелеСистемы» при планировании выполнения портфеля проектов и оценке объема субподрядных работ, экономический эффект 390 тыс. руб. в год.

**Приложение** содержит копии документов, подтверждающих внедрение комплекса программ семейства VPsim.

## **Заключение**

В заключении приводятся следующие основные результаты работы:

1. Определен перечень характеристик и проведен сравнительный анализ наиболее распространенных проблемно-ориентированных систем, близких к СДМС: AnyLogic, Arena, ARIS, G2, GPSS, iThink, Pilgrim, PowerSim,

RAO-studio, Simio. К недостаткам названных систем можно отнести: неполный набор функциональных возможностей мультиагентной СДМС; отсутствие поддержки функций проектирования концептуальной модели предметной области и построения мультиагентных моделей, содержащих интеллектуальных агентов; средствами интеграции инструментов системного анализа, ОО-проектирования, имитационного и экспертного моделирования; недостаточную проблемную ориентацию на мультиагентные процессы преобразования ресурсов; ограниченную поддержку русского языка; ориентированность на программирующего пользователя; высокую стоимость.

2. Разработаны требования к ситуационной математической модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов, которая должна обеспечивать следующие функции: моделирование динамических процессов преобразования ресурсов; наличие сообществ интеллектуальных агентов, участвующих в управлении процессом преобразования ресурсов; применение ситуационного подхода.
3. Показано, что МППР не может быть адекватно описан в терминах следующих математических моделей: сетей Петри; расширенных сетевых моделях ( $N_E$ -схемы); системами массового обслуживания ( $Q$ -схемы); дискретно-детерминированными (конечные автоматы,  $F$ -схемы) и дискретно-стахостическими (вероятностные автоматы,  $P$ -схемы); моделей системной динамики; дискретно-непрерывной модели В.М.Глушкова; комбинированной (агрегативной системой,  $A$ -схемы).
4. За основу математической модели взята модель дискретного процесса преобразования ресурсов. В рамках разработанной математической модели:
  - определены основные объекты моделирования мультиагентных процессов преобразования и их характеристики (операции, ресурсы, средства, заявки, очереди заявок, сигналы, сообщения, процессы, источники и приемники ресурсов, перекрестки, параметры, цели, агенты), а также система выполняемых ими действий;

- рассмотрены типовые математические модели (семиотическая модель Клыкова Ю.И. и SIE-модель Филипповича А.Ю.) для построения математической ситуационной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов;
  - за основу построения модели интеллектуального агента принята ОМИА (Швецов А.Н.), которая модернизирована и доработана применительно к проблемной области процессов преобразования ресурсов;
  - разработаны механизм вывода мультиагентного процесса преобразования ресурсов, типы правил, алгоритм работы интеллектуального агента и алгоритм ситуационно-имитационного моделирования.
5. Разработан метод системного анализа предметной области МППР и ТЭП ОТС на основе интеграции следующих подходов:
- объектно-структурного подхода Гавриловой Т.А. (для изучения предметных областей);
  - системных графов высокого уровня интеграции (для описания иерархической структуры МППР);
  - фрейм-семантического подхода Швецова А.Н. (для формализации знаний о предметной области),
  - решена задача перехода (совмещения) модели представления знаний, концептуальной модели и их технической реализации на уровне реляционной базы данных; показано, что данный подход позволяет использовать язык Transact-SQL при построении модели предметной области, вводе данных и знаний, реализации механизма логического вывода;
  - интеграции аппарат диалоговых ЭС и расширений объектно-ориентированного языка UML – диаграмм и деревьев поиска решений (для построения визуального конструктора механизма логического вывода и дальнейшего применения при проектировании ИНС, СППР, МАС, ЭС, СТЭП);

- применении мультиагентной модели МППР (для динамического моделирования и ситуационного управления ОТС).
6. Реализована гибридная архитектура мультиагентной системы на основе архитектуры InteRRap применительно к МППР, что является основой для реализации сложных ИНС.
  7. Проведен сравнительный анализ разработанного метода и близких подходов: 1) подход Г.В. Рыбиной и имитационную модель взаимодействия интеллектуальных агентов (ИМВИА), реализованную на основе динамической ЭС G2; 2) модель Ресурсы-Действия-Операции (РДО); 3) SIE-модель и подход А.Ю. Филипповича; 4) модели активных и пассивных преобразователей Б.И. Клебанова, И.М. Москалева, а также ее развитии в работах А.В. Немтинова, А.В. Крицкого; 5) модели бизнес-процесса С.В.Рубцова. Результаты анализа подтвердили эффективность разработанного метода.
  8. На основе математической модели и метода разработаны:
    - программное, информационное, алгоритмическое и методическое обеспечение проблемно-ориентированных комплексов семейства VPsim;
    - методика системного анализа, моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов и принятия решений на основе новых инструментальных средств.
  9. Разработаны проблемно-ориентированные комплексы программ семейства VPsim, обладающие полным перечнем функциональных возможностей, предъявляемых к системам динамического моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов, и отличающиеся:
    - полным набором функциональных возможностей мультиагентной СДМС;
    - поддержкой функции проектирования концептуальной модели предметной области;
    - возможностью построения мультиагентных моделей, содержащих ИА;

- средствами интеграции инструментов системного анализа, ОО-проектирования, имитационного и экспертного моделирования;
- проблемной ориентацией на мультиагентные процессы преобразования ресурсов;
- интеграцией с методикой BSC;
- стоимостью на порядок ниже аналогов;
- поддержкой русского языка.

10. Разработанные комплексы программ семейства VPsim прошли апробацию и внедрены в ЗАО «Уральская индустриальная группа», ЗАО «Телесистемы», Екатеринбургском филиале ОАО «Вымпелком», ООО «ИнсталСайт Урал», в Научно-производственном объединении автоматики им. академика Н.А.Семихатова (НПОА), в учебном процессе УГТУ-УПИ.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**Статьи в журналах, входящих в список, рекомендованный ВАК:**

1. Аксёнов К.А., Антонова А.С. Применение имитационного моделирования и технологии интеллектуальных агентов для решения задачи управления проектами // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4 (128) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.27-36.
2. Аксёнов К.А., Ван Кай, Антонова А.С., Аксёнова О.П., Липодаева А.А. Разработка и применение системы поддержки принятия решений в управлении строительным холдингом // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 4 (128) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.53-61.
3. Аксёнов К.А., Антонова А.С., Спицина И.А. Анализ и синтез процессов преобразования ресурсов на основе имитационного моделирования и интеллектуальных агентов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (115) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.13-20.
4. Аксёнов К.А., Сафрыгина Е.М., Доросинский Л.Г. Расширение интеллектуальных средств поддержки принятия решений и имитационного моделирования нечеткой логикой // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (115) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.42-48.
5. Аксёнов К.А., Ван Кай Задача свертки (уменьшения размерности) имитационной модели мультиагентного процесса преобразования ресурсов //

- Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (115) 2011. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.126-133.
6. Аксенов К.А., Шеклеин А.А. Исследование и анализ дискретных динамических моделей и программных систем моделирования процессов преобразования ресурсов. №4 (48) 2010. Естественные и технические науки. М.: "Издательство "Спутник+". С.333-342.
  7. Аксенов К.А., Доросинский Л.Г., Гончарова Н.В. Техничко-экономическое проектирование развития мультисервисных сетей связи // Вестник УГТУ-УПИ. Серия экономика и управление № 5 2010. г. Екатеринбург С.136-145.
  8. Аксенов К.А. Интеллектуальная система моделирования «BPSIM.MSS» и объектно-структурный метод технико-экономического проектирования мультисервисных сетей связи. Журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий» № 8. Москва. 2010. С. 19-27.
  9. Аксенов К.А., Журавлёв А.В. Исследование и анализ гибридных динамических моделей и программных систем моделирования дискретно-непрерывных процессов преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (93) 2010. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.145-151.
  10. Попов А.В., Аксенов К.А., Доросинский Л.Г. Интеллектуальная система моделирования логистических процессов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1 (93) 2010. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.68-74.
  11. Зраенко А.С., Аксенов К.А., Ван Кай Коалиционная модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 5 (86) 2009. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.156-161.
  12. Аксёнов К.А., Спицина И.А. Метод проектирования информационных систем предприятия на основе семантических моделей мультиагентного процесса преобразования ресурсов и программного обеспечения. Журнал «Автоматизация и современные технологии» №09 Москва. 2009. С. 22-30.
  13. Аксенов К.А., Гончарова Н.В., Смолий Е.Ф., Долматов С.Ю., Аксенова О.П. Выбор ценовой стратегии предприятия с использованием мультиагентного подхода // Вестник УГТУ-УПИ. Серия экономика и управление № 5 2009. г. Екатеринбург С.108-116.
  14. 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 № 3 (80) 2009. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.87-97.
  15. Аксенов К.А. Модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов и системный анализ организационно-технических систем. Журнал «Вестник компьютерных и информационных технологий» № 6. Москва. 2009. С. 38-45.
  16. Доросинский Л.Г., Аксенов К.А., Попов М.В. Имитационное динамическое моделирование и технико-экономическое проектирование мультисервисных

- сетей связи // Научно-технические ведомости СПбГПУ № 1(72) 2009. Информатика. Телекоммуникации. Управление. г.С.-Петербург С.153-159.
17. Аксенов К.А., Клебанов Б.И., Гончарова Н.В. Применение к системе сбалансированных показателей аппарата экспертных систем: Информационные системы и технологии в радиотехнике, связи, автоматике и управлении: Серия радиотехническая // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. № 17 (69). С.41-46.
  18. Гончарова Н.В., Аксенов К.А. Создание информационной системы стратегического управления вузом на основе интеграции динамической модели процессов и системы сбалансированных показателей: Новые образовательные технологии в вузе: Серия дистанционная // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. № 7 (59). С.32-40.
  19. Аксенов К.А., Клебанов Б.И., Гончарова Н.В. Система ситуационных центров для руководства УГТУ-УПИ. Журнал «Университетское управление: практика и анализ». №2(30) – Екатеринбург. 2004. С.54-57.
  20. Аксенов К.А., Савченко И.Ф., Рогачев Н.Ф. Создание модели лечебно-эвакуационных мероприятий: 50-летие радиотехнического образования на Урале: Серия радиотехническая // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 20 (50). С.243-245.
  21. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Концепция построения системы поддержки принятия решений радиотехнического факультета на основе интеграции имитационной модели и системы сбалансированных показателей: 50-летие радиотехнического образования на Урале: Серия радиотехническая // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 20 (50). С.240-242.
  22. Аксенов К.А., Клебанов Б.И., Смолий Е.Ф. Проблемно-ориентированная система имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов: Информационные системы в технике и образовании: Серия радиотехническая // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 19 (49). С.20-32.
  23. Аксенов К.А., Клебанов Б.И. Создание системы имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов VPsim: Проектирование и анализ радиотехнических и информационных систем: Серия радиотехническая // Вестник УГТУ-УПИ. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 18 (48). С.174-182.
  24. Аксенов К.А. Развитие аппарата прерываний процессов преобразования ресурсов // На передовых рубежах науки и инженерного творчества: Труды третьей международной научно-практической конференции Регионального Уральского отделения Академии инженерных наук им. А. М. Прохорова. Вестник УГТУ-УПИ. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2004. № 15 (45). Ч.1. С.187-190.
  25. Савченко И.Ф., Аксенов К.А. Моделирование лечебно-эвакуационных мероприятий в вооруженном конфликте с использованием теории процессов преобразования ресурсов // Актуальные проблемы организации медицинского обеспечения войск в XXI веке.- СПб., 2004.- Ч. 2.- С. 120-127.

26. Аксенов К.А., Клебанов Б.И., Гончарова Н.В. Имитационное моделирование в стратегическом управлении вуза // Вестник науки Костанайской социальной академии №5 (Ноябрь). – Костанай. 2003. С.24-28.

**Монографии, статьи, доклады, свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ и баз данных:**

27. Аксенов К.А. Теория и практика средств поддержки принятия решений: монография / К.А. Аксенов. Germany, Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 341 с. ISBN 978-3-8465-0782-7.
28. Aksyonov K., Bykov E., Dorosinskiy L., Smoliy E. and Aksyonova O. (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.
29. Aksyonov K., Bykov E., Dorosinskiy L., Smoliy E., Aksyonova O., Antonova A. and Spitsina I. (2011). Decision Support Systems Application to Business Processes at Enterprises in Russia, Efficient Decision Support Systems - Practice and Challenges in Multidisciplinary Domains, Chiang Jao (Ed.), ISBN: 978-953-307-441-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/articles/show/title/decision-support-systems-application-to-business-processes-at-enterprises-in-russia> pp.83-108.
30. Aksyonov K.A., Bykov E.A., Smoliy E.F., Aksyonova O.P., Wang Kai. Efficient decision support for control and management processes of industrial enterprises with BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2011 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2011), 23-25 May 2011, Mianyang, China, Pages 261-265.
31. K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, E.F. Smoliy, E.M. Sufrygina, A.A. Sheklein, O.P. Aksyonova, Wang Kai, "Efficient Decision Support with Simulation-Based System BPsim.DSS: Advanced Simulation Techniques," ISMS, 2011 Second International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation, 2011. Phnom Penh, Cambodia, January 25-27. pp.30-34.
32. E.A. Bykov, K.A. Aksyonov, E.F. Smoliy, E.M. Sufrygina, O.P. Aksyonova, A.V. Popov, Wang Kai, A.A. Skvortsov BPsim.DSS – Intelligent Decision Support System based on Multi-agent Resource Conversion Processes: Development and Application Experience // Proceedings of the Second International Conference on Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM.2010), Bali, 28-30 September 2010, Pages 137-142.
33. K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, E.F. Smoliy, E.M. Sufrygina, A.A. Skvortsov Intelligent decision support based on multi-agent simulation of resource conversion processes // Proceedings of the 11th International PhD Workshop on

- Systems and Control, A Young Generation Viewpoint, Veszprém, Hungary, September 1-3, 2010, Pages 45-50.
34. K. Aksyonov, E. Bykov, E. Smoliy, E. Sufrygina, O. Aksyonova and Wang Kai Development and Application of Decision Support System BPsim.DSS // Proceedings of the IEEE 2010 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2010), 26-28 May 2010, Xuzhou, China, Pages 1207-1212.
  35. K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, E.F. Smoliy, M.V. Popov Multi-service communication networks simulation and design with BPsim3 // Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference (WSC 2009), December 13-16, 2009, Austin, Texas, USA. Pages 2768-2777.
  36. K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, O.P. Aksyonova, Wang Kai, A.V. Popov, E.F. Smoliy, E.M. Sufrygina, I.A. Spitsina and A.A. Sheklein Development of Decision Support and Simulation System BPsim.DSS: Integration of Simulation, expert Situational and Multi-Agent Modeling // Proceedings of ESM'2009 (ESM - European Simulation and Modelling Conference) October 26-28, 2009, Holiday Inn, Leicester, United Kingdom Pages 256-260.
  37. K.A. Aksyonov, E.F. Smoliy, E.A. Bykov, M.V. Popov, L.G. Dorosinskiy Development of decision support system «BPsim3»: Multi-service telecommunication networks design and modeling application // Proceedings of 10th International PhD Workshop on Systems and Control, Hluboka nad Vltavou, Czech Republic, September 22-26, 2009, Pages 112-117.
  38. K. Aksyonov, I. Spitsina, E. Bykov, E. Smoliy, and O. Aksyonova Computer-supported software development with BPsim products family – integration of multiple approaches // Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), 22-25 June 2009, Zhuhai/Macau, China, Pages 1532-1536.
  39. K. Aksyonov, E. Bykov, Wang Kai, E. Smoliy and O. Aksyonova Multi-Agent Processes Simulation with BPsim.MAS — An Easy Way to Success // Proceedings of the IEEE 2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), 17-19 June 2009, Guilin, China, Pages 5661-5666.
  40. K. Aksyonov, I. Spitsina, E. Bykov, Wang Kai and E. Smoliy Multiple Approaches Integration for Computer-Supported Software Development // Proceedings of the IEEE 2009 Chinese Control and Decision Conference (CCDC 2009), 17-19 June 2009, Guilin, China, Pages 4939-4943.
  41. Аксенов К.А., Доросинский Л.Г., Попов М.В., Смолий Е.Ф. Технико-экономическое моделирование и проектирование мультисервисных сетей: монография / К.А. Аксенов, Л.Г. Доросинский, М.В. Попов, Е.Ф. Смолий. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 212 с. ISBN 978-5-321-01663-3.
  42. K. Aksyonov, E. Bykov, D. Kolosov, E. Smoliy and A. Khrenov Multi-Agent Resource Conversion Processes Simulation // INTERNATIONAL JOURNAL OF INFORMATION AND SYSTEMS SCIENCES Volume 5, Number 2, 2009, Pages 260-269.
  43. Аксенов К.А., Смолий Е.Ф., Сафрыгина Е.М. Гончарова Н.В. BPsim.MAS - объектно-ориентированная система моделирования и принятия решений процессов преобразования ресурсов // Имитационное моделирование. Теория

- и практика: Материалы четвертой Всероссийской научн.-практ. конф. – Санкт-Петербург, ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2009. Т.1. – С.201-205.
44. K.A. Aksyonov, E.A. Bykov, E.F. Smoliy, A.A. Khrenov Industrial Enterprises Business Processes Simulation with BPsim.MAS // Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference (WSC 2008), December 07-10, 2008, Miami, USA, Pages 1669- 1677.
  45. Аксенов К.А. Развитие систем моделирования, поддержки принятия решений и технико-экономического проектирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Компьютерное моделирование 2008: труды междунаод. научн.-техн. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С.3-6.
  46. Аксенов К.А., Клебанов Б.И. Имитационное моделирование процессов преобразования ресурсов: монография / К.А. Аксенов, Б.И. Клебанов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. 198 с. ISBN 978-5-321-01382-3.
  47. Аксенов К.А. Вопросы системного анализа и синтеза, моделирования, поддержки принятия решений мультиагентных процессов преобразования ресурсов // Компьютерное моделирование 2007: труды VIII-й междунаод. научн.-техн. конф. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С.23-32.
  48. Аксенов К.А., Гончарова Н.В. Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов: монография / К.А. Аксенов, Н.В. Гончарова. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 311 с. ISBN 5-321-00960-0.
  49. K.A. Aksyonov, E.F. Smoliy, N.V. Goncharova, A.A. Khrenov, A.A. Baronikhina, Development of Multi Agent Resource Conversion Processes Model and Simulation System, Computational Science – ICCS 2006: 6th International Conference, Reading, UK, May 28-31, 2006. Proceedings, Part III. Pages 879 – 882.
  50. K.A. Aksyonov, E.F. Smoliy, N.V. Goncharova, A.A. Khrenov, A.A. Baronikhina Development of Resource Conversion Processes Model and Simulation System // Proceedings of the EUROCON 2005. – Serbia & Montenegro, Belgrad. 2005. – p.1722-1725.
  51. 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. – Санкт-Петербург, ФГУП ЦНИИ технологии судостроения, 2005. Т.2. – с.11-15.
  52. 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.
  53. Aksyonov K., Klebanov B., Hrenov A. Computer-aided design system of simulation business process model // Proceedings of the 4th IMACS Symposium on Mathematical Modeling, ARGESIM Report no. 24. – Austria, Viena University of Technology. 2003. P.1414-1420.

54. Aksyonov, Klebanov, Hrenov. The Internet - environment of socio economic development of region prediction on the basis of the dynamic consulting model // FIRA World Robot Congress. - Korea. Seul. 2002. – p.473-476.
55. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009611992 «Система автоматизированного проектирования программного обеспечения VPsim.Software Developer (CASE VPsim.SD)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф., Спицина И.А. 2009.
56. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009611991 «Система поддержки принятия решений VPsim.DSS (СППР VPsim.DSS)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2009.
57. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009611990 «Экспертная система технико-экономического проектирования (СТЭП)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2009.
58. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2008620412 «Система поддержки принятия решений VPsim.DSS (БД СППР VPsim.DSS)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2008.
59. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2008620411 «Система динамического моделирования ситуаций VPsim.MAS (БД СДМС VPsim.MAS)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2008.
60. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008613380 «Система интеллектуального моделирования и технико-экономического проектирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов VPsim3 (СИМТЭП VPsim3)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2008.
61. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008613381 «Система динамического моделирования ситуаций VPsim.MAS (СДМС VPsim.MAS)». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2008.
62. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613270 «Система динамического моделирования мультиагентных процессов преобразования ресурсов VPsim2». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2006.
63. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613160 «Система имитационного моделирования процессов преобразования ресурсов VPsim». Аксенов К.А., Смолий Е.Ф. 2006.
64. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006611404 «Конструктор фреймовых систем». Аксенов К.А., Гончарова Н.В., Смолий Е.Ф., Кардаполов М.Н. 2006.

Подписано в печать                      201 г. Формат 60x84 1/16

Бумага типографская. Тираж 100экз. Заказ № 85.

РИЗОГРАФИЯ НИЧ

620002 г.Екатеринбург, Мира-19.