

РЫБИНА Галина Валентиновна

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ
СИСТЕМ**

**Специальность 05.13.11 - математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и
компьютерных сетей**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**



Москва. 2004

Работа выполнена
в Московском инженерно-физическом институте
(государственном университете)

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Эрлих Александр **Игоревич**

доктор физико-математических наук,
профессор
Осипов Геннадий Семенович

доктор технических наук, профессор
Афанасьев **Валерий Николаевич**

Ведущая организация: Российский научно-исследовательский
институт информационных технологий и
систем автоматизированного проектирования

Защита состоится 13 октября 2004 г. в 15 час. 00 мин.
на заседании диссертационного совета Д212.130.03 в Московском инженерно-
физическом институте (государственном университете) по адресу: **115 409**,
Москва, Каширское шоссе, д.31, тел. 324-84-98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИФИ.

Автореферат разослан «22» июля 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д212.130.03



Вольфенгаген В.Э.

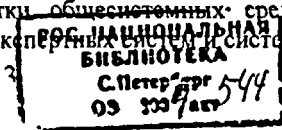
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В конце 1980-х годов дальнейшее развитие традиционных (*простых* *продукционных*) экспертных систем (ЭС), ориентированное на расширение сфер их практического применения, столкнулось с серьезными трудностями, вызванными возрастающей сложностью как самих задач, так и программного обеспечения, необходимого для их решения. Все это привело к существенным изменениям в архитектуре ЭС, обусловленным доминирующими процессами *интеграции* и *гибридизации* (появление интегрированных, гибридных, веб-ориентированных ЭС) и выявило как серьезные проблемы в методологии и технологии создания программного обеспечения ЭС, так и практическое отсутствие парадигмы программирования, ориентированной на разработку *интегрированных* ЭС (ИЭС), объединяющих такие разнородные компоненты, как традиционные ЭС и базы данных (БД), ЭС и пакеты прикладных программ (ППП), ЭС и обучающие системы и т.д.

О необходимости преодоления подобного положения и поиске эффективных методов решения практически значимых задач в рамках единой архитектуры программной системы, объединяющей в себе взаимодействующие логико-лингвистические, математические, имитационные и некоторые другие виды моделей, отмечалось в трудах Г.С. Поспелова, Д.А. Поспелова, Э.В. Попова, А.И. Эрлиха, Г.С. Осипова, Л.Т. Кузина, В.В. Емельянова, А.С. Нариньяни, А.Б. Преображенского, В.Ф. Хорошевского, В.Б. Тарасова, Э. Кьюсиака, Ю.Р. Валькмана, А.В. Колесникова, А.П. Еремеева, Б.Е. Федунова, В.А. Виттиха, И.Б. Фоминых, П. Джексона и других отечественных и зарубежных ученых, внесших заметный вклад в исследование и формирование концепции интегрированных интеллектуальных систем. Однако несмотря на значительные успехи 1990-х годов в области создания отдельных ИЭС, проблема разработки единой методологии и технологии построения таких систем, включая специализированные инструментальные средства (ИС), оставалась весьма актуальной.

Учитывая к тому же, что ИЭС автоматизированного проектирования и управления Решением Правительственной комиссии по научно-технической политике и Указом Президента РФ от 13.07.1996г. № 884 «О доктрине развития Российской науки» отнесены к *критическим* технологиям федерального уровня, можно говорить не только об актуальности диссертационного исследования, направленного на создание теоретического и методологического базиса и разработку комплекса методов и программных средств, позволяющих поддерживать полный жизненный цикл (ЖЦ) построения ИЭС для широкого класса решаемых задач и типов проблемных областей, но и о важном хозяйственном значении этой проблематики.

Актуальность работы подтверждается также поддержкой, оказанной Российским фондом фундаментальных исследований (гранты № 96-01-01078, № 98-01-00918, № 00-01-00679, № 03-01-00924), Минобразованием РФ (проект № 2094 в рамках программы «Университеты России - фундаментальные исследования»), Секцией Прикладных Проблем при Президиуме РАН (проект «Поисковые исследования и разработки общесистемных средств поддержки технологии создания интегрированных экспертных систем автоматизации



извлечения знаний в интересах В и ВТ с элементами искусственного интеллекта»), Центром «Росреестр» Минобробразования РФ и др.

Цель и задачи исследования. Целью диссертации является решение крупной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение и заключающейся в повышении степени автоматизации разработки интеллектуальных систем обработки информации, за счет создания теоретико-методологических и инженерных основ новой автоматизированной технологии построения ИЭС, объединяющей подходы инженерии знаний и традиционного программирования. В работе проведены комплексное системное исследование, анализ, теоретическое обобщение и разработка теоретических основ, методологических и инженерных принципов автоматизированного построения ИЭС, созданы инструментальные программные средства, поддерживающие процессы системного анализа сложных практических задач, синтез методов их решения и проектирование программного обеспечения прикладных ИЭС для задач реальной практической сложности и значимости. Для достижения поставленной цели в диссертации решены следующие основные задачи:

1. Разработаны теоретические и методологические основы технологии реализации ИЭС как научного объекта инженерии знаний.

2. Проведено исследование базовой проблемы разработки ИЭС - проблемы интеграции традиционных ЭС с совокупностью других компонентов ИЭС на основе предложенной *многоуровневой модели интеграции*, методов и способов построения моделей архитектуры ИЭС и ее компонентов на каждом уровне интеграции.

3. Разработана *заданно-ориентированная методология* построения ИЭС на основе моделирования конкретных типов задач, релевантных технологии традиционных ЭС в статических и динамических проблемных областях.

4. Разработаны модель ЖЦ построения ИЭС и модель компьютерной технологии, являющейся системой сбалансированных моделей плана, архитектуры ИЭС и инструментов, а также все базисные модели технологии и способы их взаимодействия на основе объектно-производственного формализма представления знаний о процессах создания ИЭС и методов их реализации.

5. Разработаны методы автоматизированного построения баз знаний ИЭС на основе развития *когнитивно-графической* парадигмы построения систем автоматизации проектирования баз знаний (БЗ) и использования различных источников знаний.

6. Разработаны и реализованы адекватные языки представления знаний, ориентированные на спецификацию знаний и построение технологических БЗ инструментария, поддерживающего задачно-ориентированную методологию построения ИЭС.

7. Разработаны архитектура автоматизированного рабочего места (АРМ) проектировщика ИЭС (инженера по знаниям) в виде проблемно-специализированного инструментария нового поколения и его спецификации для различных платформ.

8. Разработаны модели и методы *интеллектуализации* процессов проектирования прикладных ИЭС, опирающиеся на эксплицитное представление

знаний о проектах, пользователях, инструментах, типовых проектных процедурах и повторно используемых компонентах.

9. Разработаны и внедрены методические основы и технологии проектирования ИЭС в статических и динамических проблемных областях.

10. Осуществлено практическое внедрение разработанных моделей, методов и программных средств при создании прикладных ИЭС для задач диагностики, управления, мониторинга, проектирования и обучения.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использованы методы искусственного интеллекта (принципы семиотического моделирования, основы представления и обработки знаний, нечеткая математика, методы инженерии знаний), а также методы системного анализа, теории сложных систем, теории множеств, теории графов, математической" и компьютерной лингвистики, теории построения трансляторов, теории автоматов и сетей, имитационного моделирования, теории принятия решений, технология программирования.

Научная новизна. В результате выполненных исследований и разработок предложен *целостный методологический подход* к анализу, исследованию и автоматизированному построению нового класса прикладных интеллектуальных систем - ИЭС, включающий в себя:

- новые научно-технические положения, понятийный базис, математические модели и методы, образующие в совокупности теоретические основы системного анализа, формального описания и исследования, а также функционально-структурного и объектно-ориентированного проектирования систем рассматриваемого класса;
- новые модели, методы и инструментальные программные средства для автоматизированного построения широкого спектра прикладных ИЭС, включая ИЭС, функционирующие в реальном времени и обеспечивающие эффективность применения ИЭС для задач реальной практической сложности и важности.

В рамках предложенного подхода, названного *заданно-ориентированной методологией* (ЗОМ), разработаны, теоретически обоснованы и экспериментально проверены взаимосвязанные модели, методы, процедуры и алгоритмы автоматизированного построения ИЭС на всех стадиях ЖЦ, начиная от извлечения знаний из трех источников знаний (экспертов, проблемно-ориентированных естественно-языковых (ЕЯ) текстов и БД) до конфигурирования и тестирования прототипа ИЭС. На базе этой методологии созданы программная *технология* и прототип *инструментария нового поколения* - АРМ инженера по знаниям, позволяющие: значительно сократить сроки проектирования прикладных ИЭС; снизить трудоемкость; повысить степень обоснованности принимаемых решений за счет создания полных и непротиворечивых моделей проблемных областей; обеспечить гибкое использование и накопление опыта экспертов.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Впервые сформулирована концепция ИЭС как объекта научного исследования, предложены оригинальные инструменты системного анализа ИЭС, на основе которых выделены базовые понятия и термины, а также введена классификация ИЭС.

2. Предложен и экспериментально исследован оригинальный *сквозной* подход к построению ИЭС, названный «ориентация на модель решения типовой задачи», в рамках которого созданы эвристические модели решения типовых задач (МРТЗ) и методы реализации этих моделей на всех этапах ЖЦ построения ИЭС.

3. Впервые предложен подход к автоматизированному построению БЗ проектируемых ИЭС на основе использования различных источников знаний, в рамках которого и на основе МРТЗ разработан комбинированный метод прямого приобретения знаний (КМПЗ), включающий модели, методы и процедуры извлечения знаний из экспертов, проблемно-ориентированных текстов и БД, их последующего структурирования и верификации для построения адекватной и непротиворечивой БЗ о проблемной области (ПрО).

4. Разработаны оригинальные методы извлечения, представления и обработки *недостовверных* знаний, содержащих отдельные виды НЕ-факторов, наиболее часто проявляющихся эксплицитно в знаниях экспертов (неопределенность, неточность, нечеткость, недоопределенность), а также предложено новое решение проблемы *неполноты* при построении БЗ на основе привлечения методов Data Mining.

5. Впервые исследовано совместное применение методологий инженерии знаний, структурного анализа, объектно-ориентированного проектирования (ООП) и повторно используемых компонентов (ПИК) для разработки ИЭС и показана возможность реализации нового комплексного *когнитивно-графического* подхода к построению моделей ПрО, существенно снижающего трудоемкость разработки ИЭС.

6. Впервые исследована проблема интеграции для систем типа ИЭС и разработана совокупность оригинальных моделей, методов и процедур интеграции разнородных компонентов в ИЭС, что позволяет эффективно решать практически значимые задачи в рамках единой архитектуры программной системы.

7. Разработаны модели новой технологии создания ИЭС, модели архитектуры ИЭС, модели типовых проектных процедур (ТПП) и процессов создания ИЭС, а также модели и средства *интеллектуальной поддержки* разработки ИЭС, обеспечивающие снижение трудозатрат на разработку и смягчение квалификационных требований к проектировщикам (инженерам по знаниям).

8. Разработан прототип программного инструментария нового поколения для поддержки разработки ИЭС (комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) и проведена его экспериментальная апробация.

Все выносимые на защиту результаты и положения диссертации получены и разработаны лично автором, или при его непосредственном участии, являются новыми и полностью опубликованы в открытой печати. Инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ прошел в 1994 г. официальную сертификацию и регистрацию в Центре «Росреестр» Госкомвуза РФ и является не имеющей аналогов авторской разработкой, относящейся к классу специализированных ИС искусственного интеллекта (ИИ). Методическая и педагогическая новизна заключается в разработке и постановке 5-ти авторских учебных курсов по новейшим направлениям ИИ и издании учебных пособий и компьютерных учебников (два из которых отмечены премиями Российской ассоциации искусственного интеллекта в 1992 и 1998гг. как лучшие учебники по ИИ для вузов)

общим объемом более 90 печатных листов.

Практическая значимость работы. Практическая значимость проведенных исследований и полученных результатов заключается в создании эффективных моделей, методов и технологии построения ИЭС - одного из самых сложных классов интеллектуальных прикладных систем, в том числе функционирующих в реальном времени. Разработанные в диссертации теоретические положения, модели, методы, методология построения ИЭС и поддерживающие эту методологию инструментальные программные средства (АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) позволяют снизить трудоемкость и значительно сократить сроки проектирования и реализации ИЭС для таких важных и ресурсоемких задач, как диагностика технических объектов и систем, управление сложными организационными и производственными комплексами и процессами, экологический мониторинг и др.

В течение последних лет разработанные методология, технология и текущие версии инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ экспериментально проверялись, развивались и внедрялись на практике. Опыт создания прикладных ИЭС для диагностики сложных технических систем, медицинской диагностики, решения комплексных экологических задач, проектирования объектов машиностроения, а также нескольких обучающих ИЭС для специальных инженерных дисциплин в МИФИ и других вузах подтвердил практическую значимость и важность основных положений диссертации.

Полученные результаты и накопленный опыт разработки статических и динамических ИЭС не только существенным образом сокращают имевшийся до настоящего времени разрыв между мировым и отечественным уровнями в решении задач подобной практической важности и сложности, но и обеспечивают методологическую основу для подготовки квалифицированных кадров в ведущих технических университетах России.

Достоверность. Достоверность разработанной задачно-ориентированной методологии и технологии построения ИЭС подтверждается соответствующими актами о практическом внедрении, документами о присвоении номеров государственной регистрации программным продуктам в Российском фонде алгоритмов и программ «Росреестр» Минобразования РФ, золотой медалью ВВЦ РФ на выставке «Конверсия и рынок», премиями Российской Ассоциации Искусственного Интеллекта, почетными дипломами выставки-конференции «Телекоммуникации и новые информационные технологии в образовании».

Реализация результатов работы. Предложенные теоретические модели технологии проектирования ИЭС, а также методы и средства автоматизированной поддержки этих моделей, являются результатом исследований, проведенных автором лично, а внедрение и практическая реализация осуществлялись под руководством и при непосредственном участии автора аспирантами и студентами учебно-научной лаборатории «Системы искусственного интеллекта» кафедры кибернетики МИФИ. В целом разработано и внедрено (подтверждено *актами* о внедрении и использовании) 14 прикладных интеллектуальных систем различного назначения для ФГУП МРТИ РАН, ФГП ГИПЭ, СПП при Президиуме РАН, ГНЦ ИФВЭ, РКК «Энергия», Института астрофизики МИФИ и др. организаций и предприятий.

В 2000 г. за разработку и внедрение в учебный процесс учебно-методического комплекса (УМК) «Методы, модели и программные средства конструирования интеллектуальных систем принятия решений и управления» автору диссертации в составе авторского коллектива присуждена Премия Президента РФ в области образования (Указ № 1718 от 30 сентября 2000 г.) В состав УМК входит разработанный автором комплекс информационно-программных средств, учебно-методической литературы, электронных учебников и учебных программ, образующих в совокупности единый непрерывный учебный цикл по подготовке специалистов в области интеллектуальных систем и технологий с ориентацией на базовые отрасли народного хозяйства. Другим важным компонентом УМК является разработанный в МИФИ инструментальный имитационно-моделирующий стенд (ИМС), включающий комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. ИМС обеспечивает непрерывную «сквозную» систему обучения студентов и аспирантов соответствующих специальностей новым методам и технологиям построения ИЭС для широкого класса задач в области принятия решений и управления сложными техническими объектами и комплексами. ИМС является мощной инструментальной средой, на основе которой выполняются курсовые и дипломные проекты, проводятся совместные исследования с рядом кафедр и подразделений МИФИ, такими, как кафедры «Автоматика», «Электрофизические установки», «Системного анализа», «Биофизика, радиационная физика и экология», Институт астрофизики МИФИ, организуются демонстрационные занятия, лекции, методические консультации и стажировки преподавателей и аспирантов других вузов (в том числе зарубежных), а также осуществляется целевая подготовка и переподготовка специалистов. Специальные версии комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, обеспечивающие автоматизацию процесса построения обучающихся ИЭС, внедрены в нескольких университетах России и Украины (МГУ, РГГУ, МЭСИ, ВВИА им. Жуковского, Институт экологии, управления и права, Херсонский политехнический университет и др.)

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались более чем на 60 научных конференциях и семинарах, в том числе за рубежом. Наиболее значимыми из них являются: национальные конференции по искусственному интеллекту (Переславль-Залесский, 1988; Минск, 1990; Тверь, 1992; Рыбинск, 1994; Казань, 1996; Пушкино, 1998; Переславль-Залесский, 2000, Коломна 2002); конференция «Создание и применение гибридных экспертных систем» (Рига, 1990); Международные конференции «Восток - Запад» по взаимодействию человека и компьютера (Москва, СПб. - EWHCI - 92, 93,95); Международная конференция по искусственному интеллекту «Восток - Запад: от теории к практике» (Москва, 1993); Российско-Японский симпозиум «Программное обеспечение на основе знаний» (Переславль-Залесский, 1994); Международные конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM 98,99, 2000 (СПб.); Общественные семинары по линии ЦРДЗ «Экспертные системы реального времени» (ЦРДЗ, Москва, 1995) и «Динамические интеллектуальные системы в управлении и моделировании» (МИФИ, Москва, 1996); Научные сессии МИФИ-98, 99, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004; Российская научно-практическая конференция «Реинжиниринг бизнес-процессов на основе современных

информационных технологий (МЭСИ, Москва, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003); Международные конференции «Знания - Диалог - Решение» (KDS) (Киев, 1995; Ялта, 1997; Щецин (Польша), 1998; Кацивели, 1995; Санкт-Петербург, 2001, Варна (Болгария), 2003); Международные семинары «Диалог - 99», «Диалог - 2002», «Диалог - 2003» по компьютерной лингвистике (Таруса, 1999; Протвино, 2002; Протвино 2003); Международные школы-семинары по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Белоруссия, Браслав-97, 99); Международная мультikonференция по компьютерной инженерии и системных приложениях IMACS 96 (Франция, Лиль, 1996); 12-я Европейская конференция по искусственному интеллекту ЕСАГ96 (Венгрия, Будапешт, 1996); 2-я Объединенная конференция по программированию на основе знаний (Болгария, София, 1996); 7-я Международная конференция AIPCSR 97 и 2-й международный семинар по прикладной семиотике (Словакия, Смоленница, 1997); 15-й и 16-й IMACS - Международный конгресс по научным вычислениям, моделированию и прикладной математике (Германия, Берлин, 1997; Швейцария, Лозанна, 2000); Международная конференция по ускорителям и системам управления экспериментальными физическими установками (Китай, Пекин, 1997); 2-я IMACS Международная мультikonференция CESA 98 (Тунис, Хаммамет, 1998); 3-я ШЕЕ Международная конференция по системам инженерии знаний INES 99 (Словакия, Стара Лесна, 1999); 7-я Международная конференция по ускорителям и системам управления экспериментальными физическими установками (Италия, Триест, 1999); 5-я и 6-я Международные конференции по применению компьютерных систем (ACS'97, ACS'98) (Польша, Щецин, 1997, 1998); 3-й Международный семинар по использованию персональных компьютеров для управления ускорителями (Германия, Гамбург, 2000); Международные семинары «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте» (Коломна, 2001; Коломна 2003); Международный конгресс «Искусственный интеллект в XXI веке» (Геленджик, 2001).

Публикации. По материалам диссертационной работы (лично и в соавторстве) опубликовано 290 печатных работ, в том числе 36 статей в центральных журналах, 45 статей в международных сборниках трудов и журналах на английском языке, 13 учебных пособий и компьютерных учебников.

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, 5 разделов, заключение, список литературы из 310 наименований и приложения. Основная часть диссертации содержит 347 страниц машинописного текста, включая 78 рисунков и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, дана ее краткая характеристика, формулируется цель, основные задачи и положения, выносимые на защиту. Изложены научная новизна, практическая ценность и достоверность полученных результатов диссертационной работы.

В первом разделе представлен обзор и анализ современных проблем в области создания прикладных интеллектуальных систем. Показано, что сегодня в исследованиях по ИИ происходят два основных процесса, первый из которых -

интеграционный, связан с расширением теоретического и технологического арсенала средств, используемых при создании *прикладных интеллектуальных систем*, как за счет развития традиционных для ИИ моделей, методов и технологий, так и путем добавления подходов и методов традиционной прикладной математики, а другой - *разделительный*, связан с формированием и извлечением новых подобластей из хорошо известных (извлечение знаний из БД и т.д.) Доминирующие в последние годы тенденции к *интеграции исследований* в различных областях привели к необходимости совмещения семантически разнородных объектов, моделей, методологий, концепций и технологий, что породило принципиально новые классы задач и *новые архитектуры* интеллектуальных систем.

Выполненный анализ и обзор зарубежных и отечественных интеллектуальных прикладных систем показал, что их важнейшей неотъемлемой частью стали традиционные ЭС, изначально предназначенные для поддержки решения слабоструктурируемых задач (термин был введен А.Ньюэлом, Г.Саймоном и К.Шоу в конце 1950-х гг., в отечественной литературе в качестве синонима используется термин «неформализованная задача» (НФ-задача)). В то же время для решения задач реальной практической сложности и значимости совместно с ЭС используются методы прикладной математики и различные универсальные средства управления данными. Все это приводит к необходимости объединения в рамках единой прикладной системы таких разнородных компонентов, как ЭС и базы данных (БД), содержащие инженерную, производственную и управленческую информацию; ЭС и пакеты прикладных программ (ППП) с развитыми расчетными, моделирующими и графическими средствами; ЭС и обучающие системы, в том числе построенные по технологии обучающих и обучающихся систем; ЭС и системы имитационного моделирования (ИМ) для динамических приложений; ЭС и развитые гипертекстовые (ГТ) системы и т.д. Тем самым интеллектуальные прикладные системы в подавляющем большинстве относятся к классу ИЭС, архитектура которых представима в виде ЭС+К, где К - некоторая программная система, обеспечивающая поддержку решения *формализованной* составляющей решаемой задачи, а на ЭС ложатся функции решения НФ-задач, соответствующих *слабоструктурируемым* составляющим решаемой задачи. Поэтому путь «слепого» переноса методов и средств, предлагавшихся технологией создания традиционных ЭС, как правило, не подходит для проектирования и разработки ИЭС.

У специалистов в области ИИ в конце 1980-х гг. начало формироваться понимание необходимости рассмотрения класса ИЭС с позиции системного подхода и технологической культуры их создания. Среди фундаментальных отечественных исследований в этой области известны работы А.И. Эрлиха и А.В. Колесникова, а с точки зрения методологии и технологии построения программного обеспечения традиционных ЭС - В.Ф. Хорошевского. Из зарубежных работ можно выделить базовую инструментальную систему G2 фирмы **Gensym** для поддержки проектирования ИЭС реального времени (РВ), однако в этой системе не были предусмотрены и реализованы средства компьютерного извлечения знаний и автоматизированного формирования БЗ. Тем не менее, практически все ИЭС развивались автономно, технология их проектирования.

оставалась «know-how» разработчиков, носила сугубо проблемно/предметно-ориентированный характер и не была доступна широкому кругу системных аналитиков, проектировщиков и программистов.

С целью рассмотрения ИЭС и технологии их создания как самостоятельного объекта научных исследований в работе сформирован *терминологический базис* ИЭС, введены базовое определение ИЭС как системно организованной совокупности компонентов ЭС и К, структура которых и характер взаимодействия определяют тип соответствующей ИЭС, а решаемые задачи - ее функциональность, а также понятия «статическая ИЭС» и «динамическая ИЭС».

Определение. ИЭС - это программная система, в архитектуре которой наряду с программным компонентом ЭС, применяющим для решения НФ-задач методологию простых производственных ЭС, содержатся компоненты К, расширяющие функциональные возможности системы до решения комбинированных задач, включающих в себя наряду с НФ-задачами и формализованные задачи (Ф-задачи).

В качестве примеров компонента К можно указать такие программные компоненты (системы/подсистемы, модули и т.д.), как БД (СУБД), ППП или совокупности ППП любого типа, подсистемы САПР и ИМ, обучающие компоненты и т.п.

Введенное определение трактует ИЭС как составной *неоднородный объект* - системно организованную совокупность компонентов ЭС и К. Однако построить строгое описание всех *объектов-оригиналов* (компонентов ЭС и К) не удастся, поскольку они представляют собой субъективные модели Про у экспертов, субъективные модели методов моделирования у инженеров по знаниям, субъективные модели проектных процедур у разработчиков и т.п. Поэтому основу технологии, ориентированной на построение ИЭС, составляют *концептуальные (понятийные)* модели, базирующиеся на *эвристических знаниях*, т.е. на результатах не только теоретических знаний, но и практического опыта разработчиков. Детальный анализ существующих архитектур ИЭС и их компонентов, различных классов моделей (информационных, функциональных, моделей ИИ) и методов организации процессов решения задач на этих моделях, способов взаимодействия компонентов и т.п. невозможен без использования соответствующих инструментов и методов системного анализа. В диссертации предложены *инструменты* для системного анализа архитектуры ИЭС с точки зрения проблемы интеграции, важнейшим из которых является *многоуровневая модель интеграции*, а также предложена *классификация* ИЭС, рассмотрены вопросы *взаимосвязи* процессов *интеграции* и *гибридизации*, в результате чего введена *семантическая унификация* используемых терминов на основе многоуровневой модели интеграции. Процессы интеграции в ИЭС с позиций *многоуровневой модели* могут быть рассмотрены с точки зрения следующих аспектов: *поверхностная* и *глубинная* интеграция в архитектуре ИЭС различных компонентов, реализующих как решение НФ-задач (компонент ЭС), так и Ф-задач (компонент К), и определяющих специфику функционирования ИЭС в целом (*верхний уровень интеграции*), интеграция (*функциональная, структурная, концептуальная*), связанная с используемыми концепциями и методологиями

проектирования и разработки конкретных классов ИЭС и их компонентов (*средний уровень интеграции*); интеграция (*информационная, программная, техническая*), основанная на применяемых технологиях, ИС и платформах (*нижний уровень интеграции*).

В работе обоснованы теоретические предпосылки предложенной модели. Поскольку с точки зрения архитектуры любая ИЭС обладает всеми признаками *больших* или *сложных* систем (иерархия понятий, межкомпонентные связи и пр.), в которых акцент традиционно делается на процесс проектирования, в диссертации применен *иерархический подход* Месаровича-Такахары как методологический прием, расчленяющий формально описанную систему на *уровни* (модули, блоки и т.д.) и механизмы координации их функционирования. На верхних уровнях иерархии используются представления, отражающие самые общие черты и особенности проектируемой системы, а на нижних - степень подробности возрастает, причем система рассматривается не в целом, а отдельными блоками. Важно отметить, что на каждом уровне иерархии вводятся свои представления о системе и основных элементах, при этом *элемент i -го уровня является системой для $(i - 1)$ -го уровня*, а продвижение от уровня к уровню имеет строгую направленность, определяемую стратегией- проектирования — *дедуктивную нисходящую* «сверху-вниз» или *индуктивную восходящую* «снизу-вверх».

Этот подход при рассмотрении вопросов поверхностной и глубинной интеграции базового компонента ЭС с некоторым компонентом К на *верхнем уровне* позволил построить так называемую *обобщенную модель* архитектуры проектируемой ИЭС, отражающую специфику ее структуры. Наибольший интерес представляет *средний уровень*, поскольку в рамках принятых на верхнем уровне концепций и методологий построения ИЭС обеспечена возможность структурированного описания распределения функций между ЭС и К при создании конкретного приложения, а также специфицирования отдельных проектных решений по всем компонентам проектируемой системы, в частности возможные варианты совместного функционирования ЭС и К с точки зрения *структурной интеграции* компонентов. В диссертации выделены 4 варианта структурной интеграции компонентов ИЭС: полное включение ЭС и К друг в друга; параллельное использование ЭС и К для решения одной и той же задачи; частичное включение ЭС и К друг в друга; организация интеллектуального интерфейса между ЭС и К. Интеграция на *нижнем уровне* обеспечивается ИТ-технологиями, используемыми в ходе разработки. Детальная спецификация каждого уровня/подуровня определяет содержание конкретной методологии и технологии построения ИЭС. Разработанная модель была использована как инструмент классификации ИЭС, что позволило выделить с позиций *верхнего уровня* интеграции два основных подкласса - ИЭС с *поверхностной интеграцией* компонентов и ИЭС с *глубинной интеграцией* компонентов (Рис. 1) и ввести следующие определения.

Определение. *Поверхностная интеграция* — это интеграция, достигающаяся с помощью любого способа обмена информацией между компонентами ЭС и К в ИЭС.

В случае поверхностной интеграции компонентов ЭС и К их взаимодействие, например СУБД и ЭС, может осуществляться на уровне передачи сообщений, причем, результаты работы каждого компонента - исходные данные для другого. Более сложным вариантом поверхностной интеграции является такой, в котором один из программных компонентов (ЭС или К) в ходе своего функционирования обращается для уточнения данных или решения каких-то локальных задач к другому компоненту.

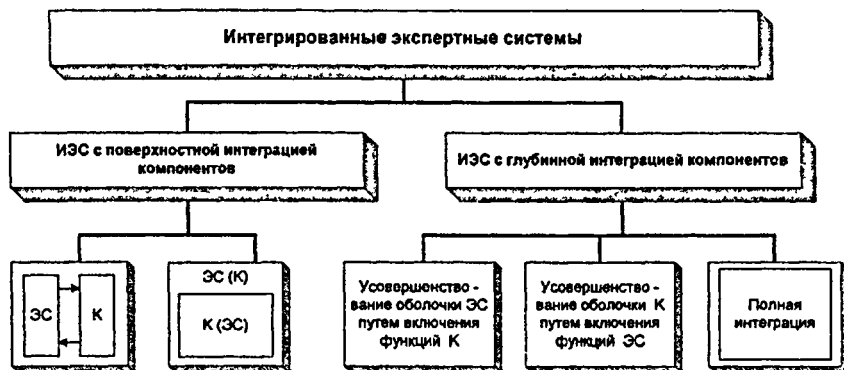


Рис. 1. Классификация ИЭС

Определение. Глубинная интеграция - это интеграция, связанная с модификацией любого из компонентов ЭС (К) в ИЭС путем включения в него функций другого (других) компонента(ов) К(ЭС).

Следовательно, под глубинной интеграцией компонентов ЭС и К понимается усовершенствование этих компонентов путем внедрения в них функций, не свойственных традиционным типам этих компонентов.

Определение. Полная интеграция — интеграция, связанная с селекцией и последующим соединением в ИЭС лучших функций и механизмов компонентов ЭС и К.

Полная интеграция является самым высоким уровнем для ИЭС и заключается в соединении лучших качеств компонентов ЭС и К и создании совершенно новых систем с новыми возможностями, т.к. все компоненты находятся в одной системе с унифицированной структурой для моделирования фактов и правил и однородной обработкой данных и знаний. Предложенная многоуровневая модель процессов интеграции в ИЭС позволяет, как минимум, для трех уровней четко проследить взаимосвязь конкретных способов интеграции отдельных компонентов ИЭС (ЭС или К) с необходимостью *внутреннего сращивания*, т.е. *гибридизации* моделей, методов, процедур, алгоритмов и т.д. На Рис. 2 для верхнего уровня процессов интеграции детально проиллюстрированы используемые на практике подходы и степень необходимой гибридизации, позволившие сделать следующие выводы:

- понятие «интегрированная интеллектуальная система» не синонимично понятию «гибридная интеллектуальная система»;

- понятие «интегрированная интеллектуальная система» шире, чем понятие «гибридная интеллектуальная система»;
- интегрированная интеллектуальная система не обязательно является гибридной, и наоборот (эти два понятия совпадают в случае полной интеграции компонентов в системе).

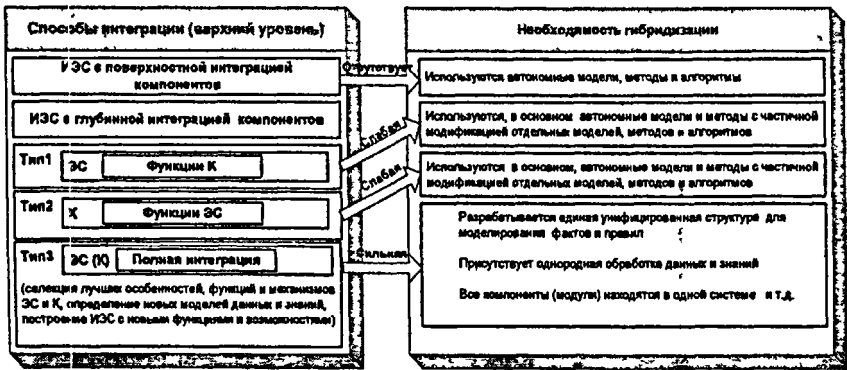


Рис. 2. Взаимосвязь способов интеграции компонентов ИЭС с необходимостью гибридной интеграции

На основе введенных определений, классификаций и предложенных инструментов исследованы методы и процедуры извлечения знаний из различных источников, прослежена эволюция систем приобретения знаний, выделены основные проблемы и тенденции инженерии знаний, сформулированы концептуальные требования к методологии и системам для приобретения знаний, ориентированным на использование в функциональных ИЭС. Показано, что, несмотря на обилие предложенных подходов, методов и процедур работы с различными источниками знаний (в основном с экспертами), не существует универсальных методов и методологий, позволяющих эффективно решать проблему автоматизированного приобретения знаний. Возросший технологический уровень создаваемых систем для приобретения знаний уменьшил роль инженера по знаниям только на стадиях формализации, реализации и тестирования прототипа ЭС и не затронул этапы идентификации и концептуализации, особенно для процессов приобретения знаний для ИЭС, решающих задачи реальной практической значимости и сложности. В настоящее время отсутствует теоретическая и методологическая база для методов и процедур структурирования знаний, т.е. формирования так называемого поля знаний (термин введен Т.А. Гавриловой). Подчеркнута важность этих процессов для случаев, когда средства автоматизированного приобретения знаний предусматривают возможность адаптивного использования нескольких моделей и языков представления знаний, а также проведения логического тестирования (верификации) БЗ.

В диссертации сформулированы требования к разработке методологии, ориентированной на функциональные ИЭС, и требования к соответствующим

проблемно-ориентированным инструментальным средствам (ИС) автоматизации процессов построения прикладных ИЭС. Проведенные исследования в области создания инструментария нового поколения выявили современные тенденции, существенным образом сместившиеся в сторону перехода от ИС *общего назначения* к *специальным (problem and domain specific)* ИС, что неоднократно отмечалось в работах Э.В.Попова и др. Характерной особенностью таких ИС является то, что они содержат в себе некоторое количество предварительных знаний о конкретном приложении (в данном случае об ИЭС), причем *предметно-ориентированные ИС (domain-specific systems)* содержат специфические знания о конкретной ПрО, а *проблемно-ориентированные ИС (problem-specific systems)* ориентированы на некоторый класс решаемых задач и содержат как соответствующие этому классу функциональные модули, так и общие знания о задаче. Исходя из концепции создания **«problem-and-domain specific systems»** ИС, ориентированных на поддержку процессов построения ИЭС и реализованных на принципах *глубинной интеграции*, были сформулированы следующие основные требования, предъявляемые к инструментарию для создания ИЭС: возможность эффективного построения прикладных ИЭС для конкретных классов задач, обладающих рядом общих свойств и решаемых сходным образом; автоматизация процессов извлечения из различных источников знаний, включая извлечение *недостовверных* знаний; обеспечение возможности автоматизированного проектирования программного и информационного обеспечения на всех этапах ЖЦ построения ИЭС; обеспечение интеграции ЭС с К-компонентами ИЭС (БД, обучающие системы и др.); возможность *повторного* использования отдельных видов программного и информационного обеспечения на основе *знаний о типовых проектных процедурах* и решениях; поддержка ОО-подхода к проектированию ИЭС; внутренняя интегрируемость ИС (интеграция по данным, интеграция по управлению, интеграция по представлению); поддержка когнитивно-графического интерфейса построения всех компонентов ИЭС с учетом человеческого фактора; открытость и переносимость ИС, возможность быстрого и нересурсоемкого создания веб-ориентированной версии ИС.

Второй раздел диссертации посвящен описанию концептуальных основ предложенной методологии построения статических и динамических ИЭС, названной «задачно-ориентированной методологией» (ЗОМ), суть которой состоит в концептуальном моделировании архитектуры ИЭС на всех уровнях рассмотрения процессов интеграции в ИЭС и ориентации на моделирование конкретных типов НФ-задач, релевантных технологии традиционных ЭС (подход «от задачи»). Предложенные ЗОМ и технология построения ИЭС представляют собой совокупность разработанных оригинальных моделей, методов, алгоритмов и процедур для создания прикладных ИЭС на всех этапах ЖЦ, начиная от извлечения знаний из трех источников знаний (эксперты, ЕЯ-тексты, БД) до конфигурирования и тестирования прототипа ИЭС. Взаимосвязанные ИС (комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) обеспечивают автоматизированную поддержку разработки ИЭС на всех этапах ЖЦ построения ИЭС.

В основе ЗОМ лежит многоуровневая модель процессов *интеграции* в ИЭС, моделирование *конкретных типов НФ-задач*, методы и способы построения

модели программной архитектуры ИЭС и ее компонентов на каждом уровне интеграции и т.п. В России наиболее близкими к базовым идеям ЗОМ следует отнести исследования А.В. Колесникова, который, используя понятие «неоднородная задача», разработал PS-технологию построения гибридных систем, путем подбора структуры интегрированной гибридной системы, релевантной неоднородности, из имеющегося в распоряжении разработчиков множества моделей и ИС. На Рис. 3 показан верхний уровень онтологии, описывающий арсенал методов и технологий, использованных при создании ЗОМ и поддерживающего ее инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

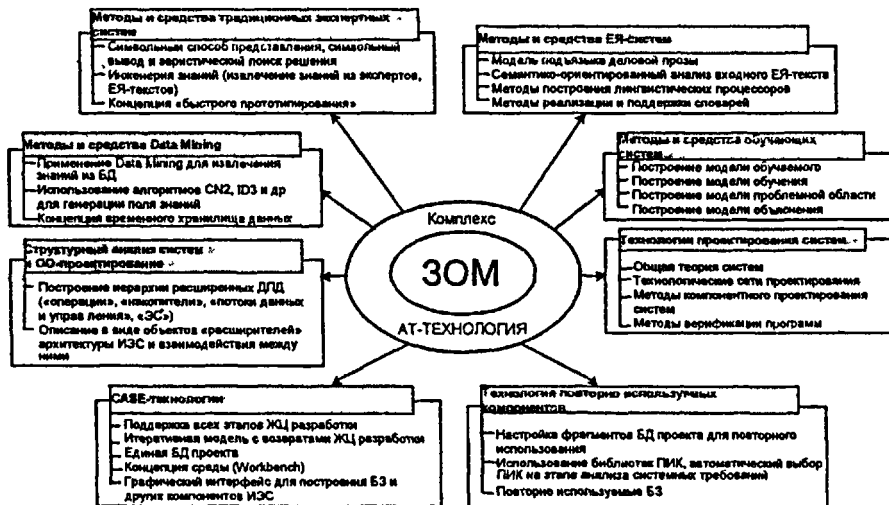


Рис. 3. Верхний уровень онтологии методов и технологий, использованных при создании ЗОМ и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

При создании *концептуальных основ* ЗОМ решен ряд важных и принципиальных с точки зрения построения ИЭС *фундаментальных задач*:

1. Сформулирована концепция ИЭС как объекта научного исследования, выделены базовые понятия, термины и введена классификация ИЭС.

2. Для трех уровней интеграции построена онтология предложенных концептуальных моделей программных архитектур статических ИЭС, ориентированных на поддержку решения типовых задач *диагностики, проектирования, планирования, обучения и управления*, а также впервые предложены модели ЖЦ ИС и автоматизированной технологии (АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) построения ИЭС.

3. Предложен эффективный *сквозной* подход к построению ИЭС, названный «ориентация на модель решения типовой задачи», в рамках которого построены оригинальные эвристические модели решения типовых задач (МРТЗ) и разработаны методы реализации этих моделей на всех этапах ЖЦ построения ИЭС.

4. Разработаны принципы построения автоматизированной ЗОМ приобретения знаний и комбинированный метод приобретения знаний (КМПЗ), интегрирующие

на основе методов эвристической классификации (ЭК), инженерии знаний, обработки ЕЯ и методов **Data Mining** процессы извлечения и структурирования знаний, полученных из разных источников, с этапом анализа системных требований пользователя (АСТП) на основе структурного анализа (СА) и поддерживающие весь ЖЦ построения ИЭС, что позволило преодолеть традиционную «автономность» этапа приобретения знаний в ЭС и реализовать новый *когнитивно-графический* подход к построению моделей ПрО.

5. Поставлена задача и предложены подходы к ее решению, связанные с формированием *единой* концепции для извлечения, структурирования, формализации и обработки *недостовверных* знаний, содержащих отдельные виды НЕ-факторов (неопределенность, неточность, нечеткость, недоопределенность), для чего, в частности, проведено исследование проявлений НЕ-факторов в русском языке, а также предложено новое решение проблемы *неполноты* при построении БЗ на основе привлечения методов **Data Mining**.

6. Исследована проблема интеграции *знаний и данных* в функциональных ИЭС и разработана совокупность оригинальных моделей и методов интеграции разнородных компонентов в архитектурах ИЭС.

7. Введено понятие *интеллектуальной среды* и построен концептуальный базис процессов интеллектуализации в рамках ЗОМ. На основе предложенной модели автоматизированной технологии создания ИЭС разработаны модели типовых проектных процедур (ТПП) и повторно используемых компонентов (ПИК) для построения отдельных компонентов ИЭС.

8. Разработаны основные принципы использования ЗОМ для создания динамических ИЭС, т.е. ИЭС РВ, разработаны модели и методы построения *имитационных моделей* сложных технических систем (СТС), а также модель интеграции имитационных моделей с ядром ИЭС РВ.

Онтология предложенных в диссертации *концептуальных моделей* ЗОМ построена на основе многоуровневой модели интеграции. Исходя из идей *глубинной интеграции*, предложен подход, связанный с *усовершенствованием* ЭС путем включения нетрадиционных для них функций, реализуемых некоторым компонентом К (СУБД, ППП и т.п.), что является первым важным принципом ЗОМ. В этом случае, с точки зрения *верхнего уровня интеграции* и функционального характера рассматриваемых ИЭС, модель архитектуры ИЭС может быть представлена следующим образом:

$$M_{ИЭС} = \langle F_{ЭС}, F_{нЭС}, O_{ЭСК} \rangle,$$

где $F_{ЭС} = \{F_i\}$ - множество функций $F_i, i=1, n, n_{ЭС}$ с той ЭС;

$F_{нЭС} = \{f_j\}$ - множество функций $f_j, j=1, \dots, n_{нЭС}$, не свойственных ЭС. В качестве функций f_j могут выступать любые «расширители» простой ЭС, такие, как обучающие функции, функция прямого извлечения знания из экспертов, функции создания и интерпретации ГТ-структур, функции, обеспечивающие интерфейс с БД и ППП расчетного или графического характера и т.д.;

$O_{ЭСК}$ - отношения, описывающие взаимосвязи функций F_i и f_j между собой.

Средний уровень интеграции соответствует спецификациям наборов функций F_i и f_j в модели $M_{ИЭС}$ для каждой конкретной ИЭС (*функциональная интеграция*), что

отражает состав и структуру всех компонентов ИЭС и их информационные и управляющие связи, а также место и роли НФ-задач среди Ф-задач (*структурная интеграция*). Спецификации определяются на этапе идентификации решаемой проблемы (анализа системных требований на разработку ИЭС) и на этапе извлечения знаний (при наличии НФ-задач) ЖЦ построения ИЭС.

Исходя из функциональности архитектуры ИЭС, в ЗОМ для построения моделей, отображающих взаимосвязи реальной системы, использованы методологические средства СА, в результате чего модель $M_{ИЭС}$ удалось конкретизировать до уровня *расширенной информационно-логической модели*, представляющей собой совокупность диаграмм информационных потоков и описании их элементов в графической нотации Гейна-Сарсона, которая в работе дополнена *специальным элементом «неформализованная операция»*, указывающим на наличие НФ-задачи и, как следствие, на необходимость привлечения к процессу извлечения знаний конкретных *экспертов*. Таким образом, с точки зрения *среднего уровня интеграции* модель $M_{ИЭС}$ представляется в виде тройки:

$$M_{ИЭС} = \langle M_{РИЛ}, M_{ВЗ}, O_{КВ} \rangle,$$

где $M_{РИЛ}$ - расширенная информационно-логическая модель ИЭС;

$M_{ВЗ}$ - модель взаимодействия элементов (модулей) разных типов, что соответствует на уровне реализации схеме управления системы;

$O_{КВ}$ — отношения, описывающие механизмы отображения $M_{РИЛ}$ в $M_{ВЗ}$.

С точки зрения *нижнего уровня интеграции*, в частности, интеграции программных средств (ПС), в ЗОМ предусмотрена реализация всех видов интеграции ПС - по данным, по управлению, по представлению, причем реализация функций F_i и f_j может быть осуществлена автономными ПС (модулями, ИС, оболочками для ЭС и т.д.). Поэтому на *уровне программной интеграции* в состав концептуальных средств ЗОМ включено понятие *модели инструментальных средств* - $M_{ИНСТР}$, которая содержит множество описаний отдельных базовых ПС ($M_{БАЗ}$), вспомогательных средств ($M_{ДОП}$), типов представления данных ($M_{ТИПД}$) и отношение ($O_{ДАНПС}$), показывающее совместимость ПС и типов данных, т.е.

$$M_{ИНСТР} = \langle M_{БАЗ}, M_{ДОП}, M_{ТИПД}, O_{ДАНПС} \rangle.$$

Примерами $M_{БАЗ}$ могут служить ПС, обеспечивающие реализацию функций оболочек для ЭС, функций, поддерживающих КМПЗ, обучающих функций (формирование моделей обучаемого, обучения, объяснения), ГТ-модели общения и др. Построение иерархии моделей архитектуры ИЭС на указанных принципах - это второй базовый принцип ЗОМ.

Третьей особенностью ЗОМ связана с методологией разработки компонента «неформализованная операция». Развитие подхода структурной методологии традиционного программирования, позволяющей анализировать процесс решения Ф-задачи и производить на основе этого анализа описание данных и операций, позволяло структурировать процессы решения НФ-задач на основе использования некоторых *моделей решения типовых задач* (МРТЗ) для конкретных классов Про и типов НФ-задач. Для пяти типов НФ-задач, наиболее распространенных в практике создания ИЭС, были построены эвристические модели M_T , отражающие

управляющие знания о схеме или способе решения этих задач, что в совокупности может быть представлено в виде следующей пятерки: $M_{ТптЗ} = \langle M_{Т1}, M_{Т2}, M_{Т3}, M_{Т4}, M_{Т5} \rangle$, где $M_{Тi}, i=1, \dots, 5$ - модели решения типовых задач *диагностики, обучения, проектирования, планирования и управления*. Таким образом, третий базовый принцип ЗОМ - это подход «от задачи», т.е. на основе моделирования конкретных типов НФ-задач, релевантных технологии традиционных ЭС в статических и динамических ПрО.

Предложенный в работе подход «ориентация на модель решения типовой задачи» выступает в качестве *основы ЗОМ*, исходя из общности и универсальности создаваемых средств поддержки разработки всех компонентов модели $M_{ИЭС}$ - это четвертый базовый принцип ЗОМ. МРТЗ специфицируют наборы функций f_j в модели $M_{ИЭС}$, отражающей структуру конкретной ИЭС, причем в качестве одной из *обязательных функций f_j* для любой ИЭС выступает функция, реализующая конкретный *метод автоматизированного приобретения знаний*. На основе МРТЗ для автоматизированного формирования БЗ о ПрО (или ее отдельных фрагментов) разработан *комбинированный метод прямого приобретения знаний* (КМПЗ), представляющий собой интеграцию процессов компьютерного интервьюирования экспертов, обработки проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов и извлечения знаний из БД с целью создания наиболее полной и адекватной модели ПрО, а также ее проверки на полноту и непротиворечивость.

Пятый методологический базис ЗОМ касается ЖЦ построения ИЭС, для чего в ЗОМ введено понятие *модели ЖЦ*, определяющей совокупность и, изоможно, подчиненность необходимых этапов (стадий) создания ИЭС. Модель $M_{ЖЦ}$ может быть представлена как $M_{ЖЦ} = \langle M_{Э1}, \dots, M_{Эn}, \{O_{Эij}\} \rangle$, где $M_{Э1}, \dots, M_{Эn}$ - описания этапов ЖЦ, а $\{O_{Эij}\}, ij \in (1, n)$ - набор отношений, определяющих подчиненность отдельных этапов. Основными этапами ЖЦ построения ЮС являются: анализ системных требований пользователей (АСТП) на создание прикладных ИЭС (построение модели $M_{ИЭС}$); извлечение знаний из экспертов, проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов и БД (на основе разработанных методов компьютерного интервьюирования экспертов, автоматизированной обработки ЕЯ-текстов и методов **Data Mining**), структурирование полученных знаний, формирование БЗ (или ее фрагментов) о ПрО; проектирование (общее и детальное) программной архитектуры прикладной ИЭС и ее модулей (блоков) на основе модели $M_{ИЭС}$ и моделей типовых процессов создания ИЭС; программирование, конфигурирование и тестирование прототипов ИЭС.

В целом совокупность рассмотренной выше ЗОМ и средств ее поддержки на этапах ЖЦ представляют конкретную *автоматизированную технологию создания ИЭС* (АТ-ТЕХНОЛОГИЯ). Модель АТ-ТЕХНОЛОГИИ можно представить как

$M_{АТ-Т} = \langle M_{ИЭС}, M_{ИНСТР}, M_{ЖЦ}, M_{ТптЗ}, M_{КМПЗ}, O_{ИЭС-ИНСТР}, O_{ИЭС-ТптЗ}, O_{ЖЦ-ИНСТР} \rangle$,
 где $M_{ИЭС}, M_{ИНСТР}, M_{ЖЦ}, M_{ТптЗ}, M_{КМПЗ}$ - элементы $M_{АТ-Т}$ (частичные модели); $O_{ИЭС-ИНСТР}, O_{ИЭС-ТптЗ}, O_{ТптЗ-КМПЗ}, O_{ЖЦ-ИНСТР}$ - отношения между элементами $M_{АТ-Т}$

Под моделью $M_{АТ-Т}$ и совокупностью ее частичных моделей подразумевается множество элементов с заданной системой отношений, что, по сути, релевантно понятию «онтология». Поэтому в данном случае уместно говорить о процессе

построения *онтологии концептуальных моделей ИЭС*, которые детализируются дальше по ходу изложения. С другой стороны, понятие «**технология**» должно включать также *управление проектами (план разработки)*, что позволяет дополнить модель *М_{АТ-Т}* ещё одной частичной моделью *М_{План}* и её отображениями *Оплан-ИЭС* и *Оплан-инстр.*, и в перспективе связывать эту модель с *интеллектуализацией* процессов построения ИЭС. Таким образом, в общем случае речь идет об *инженерии прикладных ИЭС*, базисными элементами которой являются формализованные описания *М_П* для выявления общих свойств и закономерностей, характеризующих элементы и функции прикладных ИЭС и способы их отображения (в том числе и в виде ПИК). В то же время инженерия классических ЭС является *инженерией знаний*, поэтому в качестве неотъемлемой части ЗОМ построения ИЭС выступает *автоматизированная методология приобретения знаний* (ЗОМ приобретения знания) - это шестой и определяющий базовый принцип ЗОМ, которому в диссертации отведено важнейшее место.

Как показано на Рис. 4, ЗОМ приобретения знаний представляет собой совокупность разработанного КМПЗ и технологии его использования на различных стадиях ЖЦ, связанных с автоматизированным построением БЗ прототипа ИЭС, а именно: итеративное извлечение знаний из экспертов, проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов и БД на основе КМПЗ в соответствии с построенной моделью *М_{ИЭС}*; структурирование полученной от эксперта информации по каждой задаче/подзадаче в виде так называемого *поля знаний*; тестирование приобретенной информации (анализ *протоколов интервьюирования*); верификация поля знаний; формирование фрагментов БЗ в терминах конкретного ЯПЗ; проверка БЗ (фрагментов БЗ) на полноту и непротиворечивость.

1. Подход «ориентация на модель решения типовой задачи» основан на том, что знания о *способе (схеме)* решения определенных типов задач можно считать известными. Эти знания называются в работе *управляющими* и могут быть выделены и описаны заранее, например, в виде некоторых *концептуальных моделей решения типовых задач* - МРТЗ. Поэтому процессы *прямого* извлечения знаний из экспертов с использованием различных *методик компьютерного интервьюирования* всегда могут быть направлены на получение знаний требуемых видов путем построения наборов соответствующих *сценариев диалога* для различных МРТЗ. Тем самым обеспечивается концептуальная стройность ЗОМ, поскольку концепция МРТЗ буквально «пронизывает» все этапы построения ИЭС (наиболее близкими к предложенному подходу являются методы *интерпретационных моделей*, реализованные в методологиях **KADS** и **CommonKADS**). Поскольку существуют всего порядка **8+10** типовых НФ-задач, для которых целесообразно применение технологии традиционных ЭС, то для наиболее часто используемых из них *{диагностика, проектирование, планирование, обучение, управление}* в работе построены *эвристические модели*, отражающие в общем виде схемы, методики и другой экспертный опыт решения задач данного типа.



Рис.4. Структура задачно-ориентированной методологии приобретения знаний

2. Интеграция различных источников знаний - это интеграция трех тесно связанных между собой процессов - компьютерного интервьюирования экспертов, методов обработки ЕЯ-текстов и методов Data Mining. Предложенная идеология КМГО допускает использование именно ЕЯ-текстов, и в этом случае для «понимания» входного текста используются оригинальные модели, методы и процедуры семантико-ориентированного анализа ЕЯ-текстов, предложенные и разработанные автором в кандидатской диссертации в 1980-е гг. В результате анализа осуществляется построение *предикатно-аргументной* структуры ЕЯ-текста, на основе которой производится идентификация решаемой задачи и выбор сценария интервьюирования, отражающего *тематическую структуру диалога* эксперта с системой в процессе *прямого извлечения* знаний, а также обрабатываются специальные *протоколы интервьюирования экспертов*. Применение технологии извлечения знаний из БД как 3-го источника знаний является *новым приложением* концепции **Data Mining** в ИИ. Другая важная особенность КМПЗ - это введение на этапе структурирования информации промежуточного уровня представления знаний в виде *поля знаний*, что позволяет интегрировать различные источники знаний (эксперты, ЕЯ-тексты), обеспечивает открытость для других методов извлечения знаний и повышает эффективность процессов верификации БЗ.

3. Усиление роли графической спецификации знаний и данных (когнитивно-графическая парадигма) позволяет рассматривать использование КМПЗ как отдельный этап ЖЦ, заключающийся в итеративном взаимодействии КМПЗ с этапом АСТП при проектировании ИЭС, причем возможны два основных аспекта их взаимодействия в рамках ЗОМ. Один из них состоит в том, что на этапе АСТП с

помощью развитых *графических средств* СА строится модель **Мрид** {расширенная информационно-логическая модель}, являющаяся основой модели **Мидэс**, представляющая собой (с точки зрения функциональной интеграции) совокупность иерархии **РДПД**, миниспецификаций и структурограмм данных, а в качестве *нового* структурного элемента РДПД используется элемент «неформализованная операция», что указывает на наличие средне- или слабоструктурированной области экспертизы, необходимость привлечения экспертов и использование ИС, реализующих КМПЗ. Когнитивная мощность элемента «неформализованная операция» очень высока, поскольку за его *визуальным обликом* — «трапеция» стоит агрегация сложнейших процессов извлечения и структурирования знаний, включая учет человеческого фактора (эксперты, инженеры по знаниям), с вполне стандартизированными и графически выраженными процедурами и операциями СА. Другой аспект заключается в использовании иерархии РДПД для *сбора лексики* инженера по знаниям, например, для автоматизированной поддержки словарей лингвистического процессора, что позволяет снизить трудоемкость сопровождения и настройки ИС.

4. Интеграция методов и способов извлечения знаний заключается в конкретизации и апробировании четырех типов подходов к извлечению знаний: моделирование сценария диалога (построение тематической и локальной структуры диалога); декомпозиция целей (построение логических взаимосвязей решаемых задач); процедурное моделирование (анализ протоколов решения задач); теоретическая экспертиза (текстологические методы извлечения знаний). Эти методы экспериментально проверялись и совершенствовались при разработке практически всех статических и динамических ИЭС, созданных автором на основе ЗОМ, комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ и других ИС, в частности системы G2.

5. Извлечение, представление и обработка знаний с НЕ-факторами занимают значительное место в рамках ЗОМ приобретения знаний, поскольку знания, извлеченные из экспертов, как правило, содержат различные виды *НЕ-факторов* (термин введен А.С. Нариньяни). Опыт использования ЗОМ и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для разработки нескольких прикладных ИЭС (в том числе для экспресс-диагностики крови, диагностики сложной технической системы, проектирования уникальных объектов машиностроения, комплексных экологических исследований и др.) помог накопить экспериментальный материал, связанный с построением БЗ для трех типовых задач — диагностики, проектирования и планирования, позволивший разработать в рамках ЗОМ целый ряд подходов к выявлению и обработке высказываний эксперта о свойствах ПрО, содержащих элементы *нечеткости, неопределенности, неточности*, отдельных видов *недоопределенности*, а также *неполноты*. Для рассмотрения подобных знаний с точки зрения процессов *извлечения и структурирования* была предложена обобщенная классификация НЕ-факторов, которую, однако, не следует понимать как строгое разделение - она лишь подчеркивает различия. На Рис. 5 выделены две основные группы *НЕ-факторов*, первая из которых включает *НЕ-факторы*, проявляющиеся в рассуждениях эксперта в *эксплицитном* виде, а во второй — собраны *НЕ-факторы*, выделить которые в процессе *интервьюирования* эксперта не представляется возможным, т.к. для их выявления требуются специальные

механизмы и подходы, например интервьюирование нескольких экспертов. В связи с этим введен ряд определений.

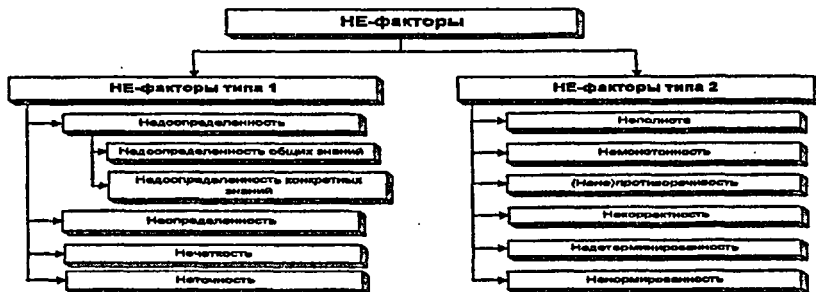


Рис. 5. Классификация HE-факторов

Определенно. *Недостовверные знания* - это знания, которые содержат HE-факторы, проявляющиеся эксплицитно в рассуждениях эксперта (т.е. относящиеся к первой группе).

Проведенные теоретические исследования и анализ экспериментального материала показали, что наиболее распространенными HE-факторами, проявление которых было отмечено в знаниях, полученных от экспертов, являются: *нечеткость, неопределенность, неточность, недоопределенность*. Однако более или менее универсальное определение существует только для одного из отмеченных HE-факторов — *нечеткости*. Для остальных HE-факторов у исследователей не выработано единого взгляда на их природу и способы проявления в экспертных знаниях. Используя теоретико-множественный подход, т.е. в терминах $\langle x \in F \rangle$, где x - элемент некоторого множества F , были введены следующие определения для каждого из них.

Определение. *Неопределенность* — это степень неуверенности, которую эксперт приписывает своим высказываниям, т.е. некоторый субъективный коэффициент неполной уверенности в высказывании $\langle x \in F \rangle$, который в зависимости от того, какой метод используется для обработки этого коэффициента, может иметь вид интервала уверенности.

Определение. *Нечеткость* есть свойство количественной оценки экспертом качественных понятий и отношений, которые он использует в своих рассуждениях, когда по количественной оценке элемента x невозможно однозначно сказать, принадлежит он множеству F или нет.

Неопределенность отличается от нечеткости тем, что коэффициент уверенности приписывается не к каждому элементу x некоторого множества (как в случае нечеткости), а только к конкретному высказыванию. В случае вероятностной интерпретации функции принадлежности (ФП), *неопределенность* можно свести к *нечеткости*. Приобретение нечетких знаний является чрезвычайно сложной задачей, поскольку эксперты, как правило, не в состоянии самостоятельно определять ФП множества F . Наиболее часто встречающимся HE-фактором является *неточность*, поскольку эксперт в своих рассуждениях обычно оперирует

параметрами, полученными при помощи каких-либо измерительных приборов, каждый из которых имеет заранее оговоренную относительную погрешность измерения. Отсюда и возникают неточные значения измеренных величин, которые могут быть легко получены от эксперта в процессе приобретения знаний.

Замечание. *Неточность проявляется тогда, когда значение x известно с точностью до некоторого множества X , имеющего непустое пересечение с множеством F .*

Погрешность вводимой величины может быть без затруднений задана экспертом, поэтому приобретение неточных знаний осуществляется достаточно просто. Другим видом *НЕ-факторов*, рассматриваемых в данной работе, является *неполнота*, которая характеризуется отсутствием необходимой для решения задачи информации.

Определение. *Неполнота означает, что неизвестен либо элемент x , либо множество F .*

В условиях приобретения знаний *неполнота* связана, в основном, с тем, что эксперт не знает (не отметил) какой-либо факт, необходимый для решения задачи. В этом случае возможны следующие альтернативы преодоления *неполноты*: либо проведение нескольких сеансов приобретения знаний с одним экспертом и сравнение результатов, либо привлечение нескольких экспертов и корреляция их мнений, а также использование технологии извлечения знаний из БД (**Data Mining**). Наибольший разброс мнений наблюдается при определении *недоопределенности*. Распространенная точка зрения заключается в том, что *недоопределенность* является отдельным *НЕ-фактором*, который включает в себя как *недоопределенность общих знаний*, так и *недоопределенность конкретных знаний*. Другая часть авторов под *недоопределенностью* понимает совокупность трех вышерассмотренных *НЕ-факторов*. В диссертации, ориентированной на исследование вопросов приобретения, представления и обработки знаний, содержащих *НЕ-факторы*, предлагается опираться на следующие определения.

Определение. *Под недоопределенностью общих знаний понимается частичное отсутствие знаний о проблемной/предметной области в целом.*

Определение. *Под недоопределенностью конкретных знаний понимается частичное отсутствие знаний об отдельных понятиях и отношениях проблемной/предметной области.*

Другими словами, *недоопределенность конкретных знаний* проявляется тогда, когда на значение какой-либо величины накладываются ограничения, что обычно не вызывает затруднений у эксперта, поэтому *недоопределенность конкретных знаний* является наиболее легко и часто выявляемой в процессе приобретения знаний. Поскольку невозможно определить адекватность модели ПрО, которой обладает эксперт, реальному миру, то вопросы выявления *недоопределенности общих знаний* затруднены, в связи с чем под термином *недоопределенность* понималась только *недоопределенность конкретных знаний*.

6. Лингвистические аспекты проявления НЕ-факторов. Определенная часть важных исследований при создании ЗОМ приобретения знаний посвящена анализу форм и способов проявления знаний, содержащих НЕ-факторы, в ЕЯ-текстах, в частности в русском языке. Поскольку соответствующие методы и процедуры

КМПЗ должны обеспечивать возможность извлечения недостоверной информации, то необходимо иметь лингвистическую информацию (списки слов, словари и т.п.), которая бы являлась сигналом проявления выделенных НЕ-факторов в русском языке.

7. Подходы и методы извлечения знаний из баз данных. В диссертации значительное внимание уделено проблеме *неполноты* извлеченных знаний, оригинальным решением которой являлось использование технологии извлечения знаний из БД (**Data Mining, Knowledge Discovery in Databases (KDD)**), ориентированной на *интеллектуальный анализ* больших объемов информации и выявление в них скрытых закономерностей. В рамках ЗОМ приобретения знаний концепция **Data Mining** реализована тремя способами: генерация начального поля знаний (ПЗ) из БД с последующей модификацией его экспертом; верификация ПЗ, полученного в процессе интервьюирования эксперта, а также его частичная модификация, связанная с нахождением коэффициентов уверенности для уже выявленных знаний (в форме продукций); слияние ПЗ, полученных в результате применения двух методологий. В работе проведено исследование возможности применения **Data Mining** при решении различных типовых НФ-задач и показано, что применение этой технологии *наиболее оправданно* при решении задач *диагностики*.

Важная особенность ЗОМ с точки зрения ЖЦ состоит в том, что на этапе *анализа* фактически осуществляется сращивание стадий извлечения и структурирования знаний, характерных для ЭС, с этапом АСТП как на разработку ИЭС в целом, так и на разработку, например, БД, входящей в состав архитектуры ИЭС. И если для реализации этапа АСТП в ИТ-индустрии накоплен значительный арсенал компьютерных методологий и специальных CASE-средств, то для построения ЭС нет четко определенной «промышленной» методологии и технологии автоматизированного построения программного обеспечения. Сформированная в ЗОМ *единая концептуальная основа* процессов извлечения, структурирования, верификации и формализации знаний позволяет говорить об автоматизированном построении БЗ для прототипа разрабатываемой ИЭС. Разработанные методы и процедуры структурирования знаний (т.е. формирования ПЗ) и проверки созданного ПЗ на полноту и непротиворечивость, играют существенную роль, поскольку, с одной стороны, допускают возможность адаптивного использования нескольких моделей (ЯПЗ), а с другой - уже на этапе анализа обеспечивают адекватность представляемых знаний и устраняют избыточность и громоздкость полученной информации. Таким образом, разработанная в рамках ЗОМ методология приобретения знаний *интегрирует* процессы извлечения и структурирования знаний, полученных из различных источников, с этапом АСТП и поддерживает весь ЖЦ построения ИЭС, что повышает эффективность процессов построения ЮС а целом.

Что касается особенностей ЗОМ на этапе *проектирования* (общего и детального) ИЭС, то, поскольку на этом этапе происходит *перенос акцентов* с функционального на информационное моделирование, здесь в качестве базового подхода используется ООП на основе *знаний о процессах проектирования типовых ИЭС*. Если на этапе *анализа* строилась модель *архитектуры ИЭС*,

включающая совокупность множества взаимоуязванных РДПД, текстов и словаря данных, то на этапе *проектирования* осуществляется построение *модели реализации ИЭС*, демонстрирующей *как ИЭС* будет удовлетворять предъявленным к ней требованиям. А так как базовые концепции ЗОМ предполагают использование в ходе проектирования различных программных средств: библиотек ПИК, конкретных СУБД, ППП и других автономных систем, то ОО-подход к реализации этого этапа позволяет технологично перейти от функциональных моделей, построенных на этапе анализа, к формированию информационных моделей.

Далее приведено формальное описание расширенной информационно-логической модели ИЭС. Для целей моделирования архитектуры ИЭС разработаны две группы средств, описывающих функции, которые система должна выполнять, и отношения между данными. Разработаны средства, предназначенные для построения иерархии РДПД совместно со словарями данных и спецификациями процессов, построения диаграмм «сущность-связь» (ER-диаграммы) и формирования БЗ о конкретной ПрО. Все они содержат графические и текстовые средства моделирования: первые - для удобства визуальной демонстрации основных компонентов модели архитектуры ИЭС, вторые - для обеспечения точного определения ее компонентов и взаимосвязей. Иерархия РДПД показывает: внешние по отношению к системе источники и стоки (адресаты) данных; логические формализованные и неформализованные функции (процессы, операции); группы элементов данных, связывающие одну функцию с другой (потоки данных); хранилища (накопители) данных, к которым осуществляется доступ. Структуры потоков данных и определения их компонентов хранятся и анализируются в словаре данных. Каждая логическая формализованная функция (операция) может быть детализирована с помощью РДПД нижнего уровня. Когда дальнейшая детализация перестаёт быть полезной, осуществляется переход к выражению логики функций при помощи спецификации процесса (миниспецификации). Неформализованная функция (операция) в отличие от формализованной подразумевает формирование БЗ о конкретной ПрО и средств вывода, т.е. использование экспертных моделей и соответствующих методов решения НФ-задач в виде прямого и обратного вывода (позиционируется специальным символом «трапеция»). Содержимое каждого накопителя данных сохраняется в словаре данных, а информационная модель накопителя раскрывается с помощью ER-диаграммы. Описаны разработанные модели и методы интеграции средств представления и обработки знаний и данных в ЗОМ, конкретизация которых обеспечивается комплексом АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

В этом же разделе предложены подходы, связанные с *интеллектуальной поддержкой* этапа проектирования ЮС, суть которой заключается в создании на основе *внутренней БЗ и планировщика*, управляющего процессом разработки ЮС, списка готовых решений, максимально удовлетворяющих текущему контексту, а также в использовании локальных *планов* разработки каждого компонента проектируемой ИЭС и обеспечении оперативного доступа к ним проектировщика ИЭС. В совокупности эти модели и средства формируют некоторую *среду интеллектуальной поддержки* разработки ИЭС. В общем виде модель среды

интеллектуальной поддержки M_{AT} можно представить в виде четверки: $M_{AT} = \langle KB, K, P, T \rangle$, где KB - база знаний о составе проекта ИЭС и типовых проектных процедурах (ТПП) и решениях, используемых при разработке ИЭС; $K = \{K_i\}$, $i = 1, \dots, m$ - множество текущих контекстов, состоящих из множества объектов из KB , редактируемых или выполняющихся на текущем шаге управления; P - специальная программа-планировщик, управляющая процессами разработки и тестирования ИЭС; $T = \{T_i\}$, $i = 1, \dots, n$ - множество инструментов, применяющихся на различных этапах разработки ИЭС.

В конце раздела рассмотрены особенности применения ЗОМ для построения динамических ИЭС РВ, архитектура которых заметно отличается от архитектуры статических ИЭС, т.к. не только модифицируются все базовые компоненты, но и добавляются две новые подсистемы - моделирования внешнего мира и сопряжения с реальным оборудованием. В центре внимания этой части работы находились задачи, связанные с построением важнейших компонентов ИЭС РВ, в том числе - подсистемы *моделирования внешнего мира* (окружения), в качестве которого рассматривались сложные технические системы (СТС) дискретного типа. Поскольку наиболее востребованными являются методы и средства *имитационного моделирования* (ИМ), эти задачи предложено решать в рамках универсальной ЗОМ с *глубинной* интеграцией компонентов ЭС и ИМ в рамках ИЭС РВ, т.к. в этом случае необходимо обеспечить: концептуальное единство используемых подходов, моделей и методов, сочетание строгих математических методов поиска решений с неформализованными эвристическими методами, базирующимися на экспертных знаниях; учет временного фактора как при построении моделей ПрО, так и в процессе поиска решений; необходимость получения решения в условиях временных ограничений, связанных с конкретным управляемым процессом; наличие недетерминизма, комбинаторности поиска, необходимость коррекции и/или введения дополнительной информации в процессе поиска решения и т.д.

Третий раздел диссертации посвящен описанию теоретических основ ЗОМ, т.е. установлению связей между вербальными и формальными (математическими) моделями на основе моделирования как *функциональных* (характеризующих назначение объекта), так и структурных аспектов, характеризующих все возможные отношения между рассматриваемыми сущностями ПрО. Для базовых концептуальных моделей ЗОМ типа $M_{типз}$, $M_{контз}$, $M_{жц}$ и др. построены автономные формальные спецификации, а модели $M_{план}$, $M_{исэ}$ и $M_{инстр}$ формально специфицированы как три составляющих единой модели M_{AT-7} , определяющей некоторую среду интеллектуальной поддержки построения ИЭС.

Для конкретизации предложенного подхода «ориентация на модель решения типовой задачи» построены оригинальные эвристические модели решения типовых задач диагностики ($M_{Г1}$), активирования ($M_{Г2}$), управления ($M_{Г3}$), планирования ($M_{Г4}$) и обучения ($M_{Г5}$). Эти модели позволили формально специфицировать *управляющие* знания о стратегиях решения конкретных классов задач и построить методы их интерпретации в виде сценариев интервьюирования, отражающих *тематическую* структуру диалога с источниками этих знаний (экспертами).

Так, например, модель $M_{Г1}$ имеет вид четверки:

$$M_{T1} = \langle O, S, D, C, F \rangle,$$

где $O = \langle E, R \rangle$ - модель диагностируемого объекта, включающая модель $E = \{E_1, E_2\}$ для технических объектов $E_1 = \{E_{1j}\}$, где E_{1j} - j -й компонент объекта, и живых систем $E_2 = \{E_{2j}\}$, где E_{2j} - совокупность экземпляров типов понятий, в терминах которых описываются индивидуальные свойства системы, а также учетную информацию $R = \{R_1, R_2\}$ об индивидуальных характеристиках технических объектов (год выпуска, производитель, s/n и т.п.) и живых систем (дата рождения, пол и т.п.);

$S = \{S_j\}$ - множество симптомов, где S_j - конкретный симптом (симптом свидетельствует о неисправности всего объекта или заболевании живой системы);

$D = \{D_j\}$ - множество диагнозов, где D_j - семантически связанный набор экземпляров таких семантических объектов, как <имя неисправности/болезни>, <набор характерных симптомов (шаблон)>, <результаты тестов>, <необходимые специфические характеристики>

$C = \{C_j\}$ - множество дифференцирующих условий, где C_j - отдельное условие, позволяющее специфично дифференцировать диагнозы;

$F = \langle P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6 \rangle$ - совокупность процедур диагностики, отображающих S в D : P_1 - ввод учетной информации (**формирование R**), P_2 - выявление конкретных наборов симптомов (**формирование S**), P_3 - выбор конкретных диагнозов (**формирование D**), P_4 - дифференцирование диагнозов из множества D с использованием множества дифференцирующих признаков C , P_5 - проверка истинности или ложности выбранных из D диагнозов, P_6 - выдача окончательного диагноза.

Для задачи диагностики на основе M_{T1} строится *сценарий диалога* с экспертом, отражающий *тематическую структуру диалога* и включающий следующую последовательность действий: приглашение эксперта для диалога с системой; ввод учетной информации от эксперта; выявление возможного набора симптомов диагностируемого объекта; выявление наиболее полного набора диагнозов (гипотез), объясняющих наличие каждого симптома; выявление дифференцирующих условий, позволяющих принять или отвергнуть конкурирующий диагноз для конкретного набора симптомов; пополнение недостающих элементов модели, выявленных процедурой проверки модели на полноту и непротиворечивость. Детализация процесса описания схемы решения конкретной задачи/подзадачи осуществляется в рамках *локальной структуры диалога*, т.е. набора конкретных шагов диалога между экспертом и системой. В качестве техники формирования и ввода вопросно-ответных соотношений в ЗОМ используется известный метод «имитация консультации», когда эксперт одновременно выполняет функции и задающего и отвечающего на вопросы.

По аналогичной схеме представляются четыре других модели M_{T2} , M_{T3} , M_{T4} . Некоторой спецификой отличается модель типовой задачи обучения M_{T3} , поскольку эта задача является наименее формализованной из всех рассмотренных задач, что связано со слабой разработкой в педагогике и психологии теоретических основ получения знаний, формирования понятий, построения умозаключений и т.п. Поэтому в работе типовая НФ-задача обучения декомпозирована на

последовательность таких более простых типовых задач, как диагностика, интерпретация, планирование, проектирование, следующих друг за другом в четко определенном порядке, что позволило предложить подход к построению обучающих ЭС как частного случая ИЭС, связав решение перечисленных задач с построением соответствующих моделей - обучаемого (диагностика), обучения (планирование, проектирование), объяснение (интерпретация).

Базовая роль в ЗОМ принадлежит разработанному в диссертации комбинированному методу приобретения знаний (КМПЗ), модель которого может быть представлена в виде пятерки $M_{КМПЗ} = \langle N, S, F, K, Z \rangle$, где N - неструктурированное описание ПрО (знания экспертов, документы); S - структурированное описание ПрО (поле знаний); F - процедуры отображения N в S ; K - процедуры конвертации сформированного поля знаний (ПЗ) в форматы ЯПЗ; Z - фрагменты БЗ в форматах ЯПЗ других ИС построения ЭС.

При разработке КМПЗ претерпел существенные изменения традиционный взгляд на известный в инженерии знаний метод репертуарных решеток (МРР). В КМПЗ этот метод является не только основным средством выявления дифференцирующих признаков (задача *диагностики*) на этапе интервьюирования экспертов, с целью сокращения перебора признаков экспертной классификации (ЭК), и устранения конфликтных правил на этапе верификации ПЗ, но и используется для целей построения сетевой модели обучаемого (задача *обучения*), что в совокупности послужило основанием для введения в рассмотрение *адаптивного* МРР (АМРР) и позволило построить его *универсальную модель* и разработать методы ее реализации.

В общем случае теоретико-множественную модель АМРР можно представить в виде девятки:

$$M_{АМРР} = \langle \text{МПОН}, [\text{МГ}], \text{МТ}, \text{МПР}, \text{МК}, \text{МС}, \text{МКР}, \text{ПК}, \text{ПР} \rangle,$$

где $\text{МПОН} = \{ \text{Пон}_i \}$ - множество понятий $\text{Пон}_i, i = 1, \dots, n_{\text{ПОН}}$;

МГ - множество групп (факультативный компонент модели АМРР);

$\text{МТ} = \{ T_i \}$ - множество триад $T_i = \text{Пон}_{i1} \times \text{Пон}_{i2} \times \text{Пон}_{i3}, i = 1, \dots, n_{\text{МТ}}$, где $\text{Пон}_{i1}, \text{Пон}_{i2}$ и Пон_{i3} - произвольные неповторяющиеся элементы множества МПОН ;

$\text{МПР} = \{ \text{Пр}_i \}$ - множество признаков $\text{Пр}_i, i = 1, \dots, n_{\text{МР}}$, где Пр_i может быть как единичным признаком, так и составным $\text{Пр}_i = \{ \text{Пр}_{i1}, \dots, \text{Пр}_{im} \}$, состоящим из m_i единичных подпризнаков;

$\text{МК} = \{ K_i \}$ - множество конструктов $K_i = \langle \text{Пол}_1, \text{Пол}_2 \rangle, i = 1, \dots, n_K$, где $\text{Пол}_1, \text{Пол}_2 \in \text{МПР}$ - полюсы конструктов;

МС - множество связей $C_i = \langle \text{Пон}_{C1}, K_{C1}, \text{Оц}_{C1} \rangle, i = 1, \dots, n_C$, где $\text{Пон}_{C1} \in \text{МПОН}, K_{C1} \in \text{МК}$, а Оц_{C1} - количественная оценка соответствия по некоторой выбранной для i -й связи шкале;

$\text{МКР} = \{ \text{КР}_i \}$ - множество конечных реакций $\text{КР}_i, i = 1, \dots, n_{\text{МКР}}$;

ПК - процедуры выявления конструктов $K_i, i = 1, \dots, n_K$;

ПР - процедуры генерации конечных реакций $\text{КР}_i, i = 1, \dots, n_{\text{МКР}}$.

Следует отметить, что конкретизация множества МКР определяется целями использования АМРР, например, для случая выявления дифференцирующих

признаков в качестве МКР может выступать множество продукционных правил, а в случае построения сетевой модели обучаемого — множество типов связей сетевой модели обучаемого.

Поле знаний выполняет важную функцию в процессе структурирования полученной от экспертов информации о ПрО, обеспечивая внутреннее представление основных понятий и отношений ПрО, как первый шаг к формализации на конкретном ЯПЗ. Необходимость подобного промежуточного этапа хорошо демонстрируется в классических ЕЯ-системах, когда *поверхностная* структура входных ЕЯ-текстов преобразуется (путем проведения морфологического, синтаксического и семантического анализов) в глубинную структуру, выраженную в терминах некоторого семантического языка и только затем *интерпретируется* в форматы конкретного ЯПЗ или различные виды реакций системы. Подобный подход позволяет сделать интерпретатор проблемно-независимым, что обеспечивает возможность достаточно легкой адаптации к конкретной ПрО в случае любого изменения синтаксических форматов ЯПЗ и типов отношений между понятиями ПрО. Учитывая, что концепция ЗОМ предусматривает использование трех источников знаний, один из которых - проблемно-ориентированные ЕЯ-тексты, обобщенная структура ПЗ представлена в виде $Пзн = \langle S_{пз}, M_{про}, \Theta, S_{япз} \rangle$, где $S_{пз}$ - структура входных данных на языке $L_{пз}$, т.е. языке представления ПЗ; $S_{япз}$ - структура выходных данных, т.е. представление на конкретных ЯПЗ; $M_{про}$ - операционная модель ПрО, в соответствии с которой происходит отображение $S_{пз}$ в $S_{япз}$; Θ - правила конвертации (интерпретации) структур представления $S_{пз}$ в структуры $S_{япз}$.

Наличие в КМПЗ этапа структурирования знаний в виде форматов ПЗ позволяет не только *оптимизировать* процесс разработки прикладных ИЭС и снизить трудоемкость верификации и сопровождения БЗ на стадии эксплуатации и поддержки ИЭС, но и обеспечивает достаточно уникальную возможность *конвертации* ПЗ в широкий класс ЯПЗ продукционного типа и использования различных ИС. Естественно, что в общем виде задача преобразования слабоструктурированных ПЗ в некоторый класс формализованных моделей представления знаний в памяти ЭВМ представляет собой достаточно сложную и пока нерешенную проблему, однако использование *метода прямого извлечения* знаний из экспертов и ограниченное число используемых на данном этапе ИС с ЯПЗ продукционного типа (GURU, ЭКО, Levels Object) позволили значительно упростить эту задачу, сведя её к разработке модели некоторого обобщенного ЯПЗ и описанию совокупности базовых преобразований, применяемых при переходе от форматов ПЗ к форматам конкретных ЯПЗ. Суть предложенного подхода к построению средств конвертации ПЗ (**т.е. компонент Θ**) заключается в использовании информации о процессе формализации знаний, которая предоставляется средству конвертации в виде внешних файлов, написанных на специально разработанном скриптовом языке управления процессом формализации.

В диссертации предложены и исследованы модели и методы извлечения, представления и обработки *недостовверных* знаний, *эксплицитно* присутствующих в информации, полученной в процессе интервьюирования. Для этого, с целью

конкретизации и формализации выделенных в работе НЕ-факторов, в структуре ПЗ предусмотрены возможности задания значений атрибута (**множество U**) либо списком конкретных значений в случае, когда атрибут принимает значения из дискретного множества, либо диапазоном (интервалом) значений, либо описанием функции принадлежности.

Формально процедура извлечения знаний, содержащих НЕ-факторы, представлена в КМПЗ в виде тройки: $\langle F_1, F_2, F_3 \rangle$, где F_1 - процедура извлечения знаний с *неопределенностью*, на основе которой в БЗ заносятся коэффициенты достоверности тех или иных фактов и значений переменных, при этом значения истинности расположены в интервале $[0; 1]$, либо, в свою очередь, являются интервалами: $[a; b] \subseteq [0; 1]$; F_2 - процедура извлечения знаний с *неточностью*, на основе которой в БЗ заносятся значения точности некоторых числовых величин; F_3 — процедура извлечения знаний с *нечёткостью*, на основе которой в БЗ заносятся описания ФП нечётких лингвистических термов, а также описания нечётких типов (лингвистических переменных), состоящих из конкретных ФП. Выделенные виды НЕ-факторов содержатся в фактах и правилах созданной БЗ, при этом под *обработкой* понимается *вывод* на недостоверных знаниях и операции сравнения и арифметические операции над переменными с недостоверными значениями.

Дальнейшая конкретизация компонентов модели КМПЗ связана с разработкой процедур извлечения знаний из проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов, т.е. моделей и методов перехода от проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов к концептуальному представлению элементов ПрО на уровне ПЗ и построению ИС поддержки этих процессов. Речь идет о конкретизации компонента $T = \langle Q, D, W \rangle$, описывающего знания Q , извлекаемые в результате применения методов анализа ЕЯ-текстов, знания D , полученные путем анализа протоколов интервьюирования экспертов, и знания W , полученные за счет анализа компонентов модели архитектуры $M_{РИЛ}$, построенной на этапе АСТП. Вместо традиционной многоуровневой схемы обработки ЕЯ-текстов с целью «понимания» задача извлечения знаний о ПрО из ЕЯ-текстов подъязыка, обслуживающего конкретную ПрО, была конкретизирована в виде некоторой модели $M_{П}$ процесса перехода от текста к ПЗ, представляющей собой пятерку вида:

$$M_{П} = \langle L_M, L_{CAREL}, L_{ПЗ}, \Psi^*, \Psi^{**} \rangle,$$

где L_M - лингвистическая модель входного языка. В качестве L_M использована разработанная лингвистическая модель входного подъязыка, обслуживающего конкретную ПрО, в виде $L_M = \langle V, G, S \rangle$, где V, G, S - соответственно, лексический, синтаксический и семантический компоненты входного подъязыка, причем в качестве подъязыка рассматривался подъязык *технической прозы*, обладающий свойствами *относительной полноты* C^1 , *замкнутости* C^3 , *конечности* C^k , *формальной ограниченности* C^o и *устойчивости* C^y . Логическая структура подъязыка технической прозы может быть представлена в виде $T \& C^*$, где T - входные тексты подъязыка технической прозы, C^* — множество требований на выполнение перечисленных свойств. Анализ требований C^* показал, что в рамках

входного языка, используемого в КМПЗ, входные тексты T от экспертов удовлетворяют требованиям C^* в полной мере;

L_{CAREL} — язык внутреннего интерфейса представления смысла входных текстов. В качестве такого языка использован разработанный автором язык **CAREL (Canonical Representation Language)**, развивающий идеи Ч. Филлмора и Ю.Д. Апресяна о предикатно-аргументной структуре основы предложения и существовании семантических валентностей (глубинных падежей) между предикатом и его аргументами. Этот язык хорошо подходит в качестве семантического компонента S модели L_M для подязыков технической прозы. С точки зрения моделей представления знаний в ИИ любое **CAREL-выражение**, отражающее логико-смысловую структуру входного предложения, является разновидностью *фрейма*, так называемым *лингвистическим (ролевым) фреймом*, который с одной стороны, близко соотносится с *объектом* ПЗ, а с другой - хорошо выражает семантические отношения в ЕЯ и глагольное управление;

$L_{ПЗ}$ - язык (формализм) представления ПЗ;

Ψ^* - правила перехода от структур L_M к структурам L_{CAREL} ;

Ψ^{**} - правила интерпретации структур представления L_{CAREL} в термины структур представления ПЗ.

При такой постановке задачи в качестве конкретизации компонента Q используется совокупность $Q^* = \langle Q, M_P \rangle$, а для промежуточного представления смысловой информации выбран формализм, наиболее близкий к форматам ПЗ (объектам и правилам) и имеющий в качестве базиса понятия и отношения, эксплицитно выражаемые входным подязыком.

В диссертации поставлена задача *постлингвистической* обработки иерархии РДПД, названной «процессом сбора лексики системного аналитика» (инженера по знаниям), и предложены конкретные методы ее решения. Цель этого процесса заключается в повышении эффективности функционирования системы за счет максимального использования любой информации о ПрО, начиная с этапа АСТП, для корректировки и настройки базовых словарей, ПИК, БЗ планировщика и др. Для создания словарей, настроенных на конкретную ПрО, используются все ЕЯ-конструкции, вводимые системным аналитиком на различных диаграммах (РДПД, ER-диаграммах проектируемых БД и др.). В качестве модели процедуры сбора лексики системного аналитика использована тройка вида:

$$LC_M = \langle T_{LC}, P_M, P_S \rangle,$$

где T_{LC} — множество ЕЯ-текстов, собранных с какой-либо диаграммы, а также дополнительная служебная информация, описывающая взаимосвязи между элементами этого множества; P_M - процедура восстановления морфологической информации для каждой лексемы из элементов множества T ; P_S - процедура восстановления синтактико-семантических отношений между лексемами элементов множества T .

Значительное место уделено описанию разработанных алгоритмических средств представления и обработки знаний, предназначенных для использования в рамках инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, и включающих: разработку языка для представления лингвистических знаний **CAREL**; разработку

универсального ЯПЗ продукционно-объектного типа, поддерживающего многоуровневое и программируемое управление функционированием машины вывода (АТ-РЕШАТЕЛЬ), имеющего развитые средства декларативных и процедурных описаний; разработку специального языка описания сценариев диалога (ЯОСД), предназначенного для описания моделей диалога с пользователем проектируемой ИЭС; построение формальной модели АТ-ТЕХНОЛОГИИ как системы сбалансированных моделей плана разработки (*Мплан*), архитектуры прототипов создаваемых ИЭС (*Мисс*) и инструм (*Минстр*) и описание на основе фреймового (объектного) формализма представления знаний базисных составляющих АТ-ТЕХНОЛОГИИ.

С целью снижения трудозатрат на разработку и смягчения квалификационных требований к проектировщикам (инженерам по знаниям), разработаны оригинальные модели и методы реализации *интеллектуальной поддержки* процессов построения ИЭС на основе идей и подходов, используемых в интеллектуальных ППП, многоагентных системах, системах управления знаниями и др. современных технологиях управления проектами. На основе конкретизации предложенной модели среды (*Мат*) разработаны архитектура, состав и структура интеллектуального планировщика (ИП), БЗ ИП, ТПП и ПИК, создан оригинальный алгоритм формирования с помощью ИП планов разработок конкретных ИЭС.

В четвертом разделе приведено описание архитектуры и методов программной реализации инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для поддержки задачно-ориентированной методологии построения ИЭС - инструментария, относящегося к классу проблемно-ориентированных ИС и предназначенного для поддержки построения и сопровождения ИЭС в статических ПрО. Первая версия комплекса была создана в 1994 г. и официально зарегистрирована в фонде алгоритмов и программ «Росреестр» Минобразования РФ (свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 940121 от 22.03.94, Рос АПО). За прошедший с 1994 г. период под руководством и при непосредственном участии автора диссертации было создано три поколения различных версий комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ (**для MS.DOS и Windows 3.1, 95, NT, 2000**), мощность и функциональные возможности которых росли вместе с эволюцией платформ, операционных систем, программных средств (ПС) и технологий в целом, а документация только на текущую версию инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ третьего поколения состоит из нескольких томов. В данном разделе представлено описание базовых принципов, методов и технологии реализации программного обеспечения комплекса, поддерживающего предложенную в диссертации методологию построения ИЭС для задач диагностики, проектирования, планирования, обучения и управления.

Инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, предназначенный для автоматизированного построения прикладных ЮС в статических ПрО на основе ЗОМ, представляет собой взаимосвязанную совокупность средств автоматизации проектирования ИЭС на всех этапах ЖЦ с единым управлением проектом по созданию ИЭС в соответствии с поставленными задачами, набором, имеющимся в ПС, конкретной моделью ЖЦ создания программного обеспечения ИЭС в основе подхода к созданию технологического инструментария в виде *специальной версии* и

поколений комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ лежит возможность реализации совокупности базовых требований ЗОМ, связанных с построением ИЭС, а именно: анализ системных требований пользователей (АСТП) на разработку ИЭС и построение модели архитектуры ИЭС, извлечение знаний из экспертов, проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов и БД, структурирование полученных знаний в виде ПЗ и формирование БЗ о ПрО (т.е. автоматизированное построение БЗ); реализация функций традиционных ЭС; реализация ГТ-модели общения; реализация обучающих функций; реализация функций, обеспечивающих интеграцию средств представления и обработки знаний в традиционных ЭС с СУБД и ППП расчетного и графического характера; проектирование (общее и детальное) компонентов прикладной ИЭС (диалоговых форм, спецификаций процессов, обработчиков событий, и т.п.); программирование, конфигурирование и тестирование (валидация) прототипа ИЭС. Для реализации всех функциональных возможностей и требований ЗОМ был создан инструментарий нового поколения, интегрирующий, как минимум возможности средств разработки простой (традиционной) ЭС и современных CASE-средств, а как максимум - обеспечивающий «интеллектуализацию» процессов построения ИЭС на основе знаний о типовых проектных процедурах разработки ИЭС для конкретных классов задач и ПрО (Рис. 6).

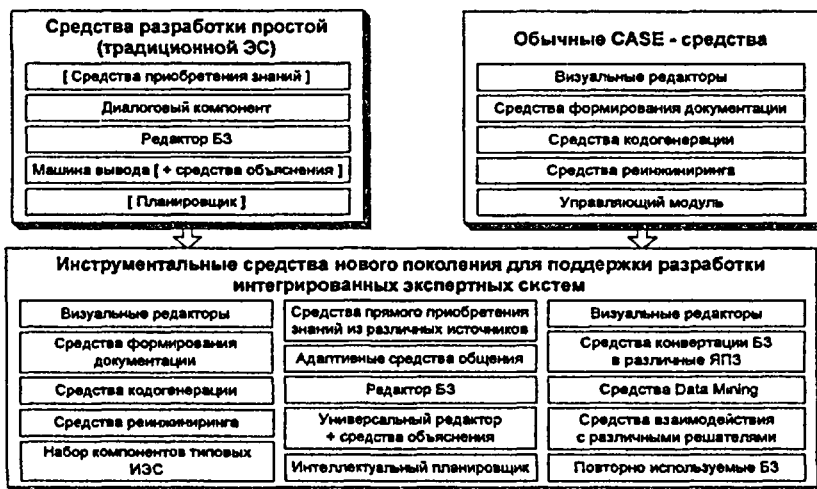


Рис. 6. Архитектура инструментальных средств нового поколения для поддержки разработки интегрированных экспертных систем

Задача-минимум выполнена, а для задачи-максимум проведено теоретическое и экспериментальное программное моделирование, включающие разработку концепции *интеллектуальной среды* и прототип *интеллектуального планировщика* комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ. Следует отметить, что разработанные методология, архитектура инструментария и технология его использования (проект АТ-

ТЕХНОЛОГИЯ) являются достаточно общими для создания широкого класса прикладных интеллектуальных систем. Однако поскольку их практическое внедрение предполагает конкретизацию того и другого, то в данной работе в качестве Про подобной конкретизации выступает проектирование и реализация программного обеспечения ИЭС для задач диагностики, проектирования, планирования, обучения и управления.

Описано несколько поколений программного обеспечения для поддержки процессов автоматизированного построения ИЭС. В создании различных версий программного обеспечения комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ ведущую роль сыграли аспиранты С.В. Пышагин и С.С. Смирнов (первое и второе поколения комплекса), а также Д.Е. Левин (третье поколение комплекса). Отдельные ПС были реализованы студентами-дипломниками Е.А. Калининой, А.С. Татарниковым, Д.В. Демидовым, М.Г. Ивашенко.

Пятый раздел диссертации посвящен описанию почти 10-летнего опыта практического применения ЗОМ, ее компонентов и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для построения ИЭС в широком классе приложений для задач реальной сложности и важности. На Рис. 7 представлены основные области практического применения ЗОМ и комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

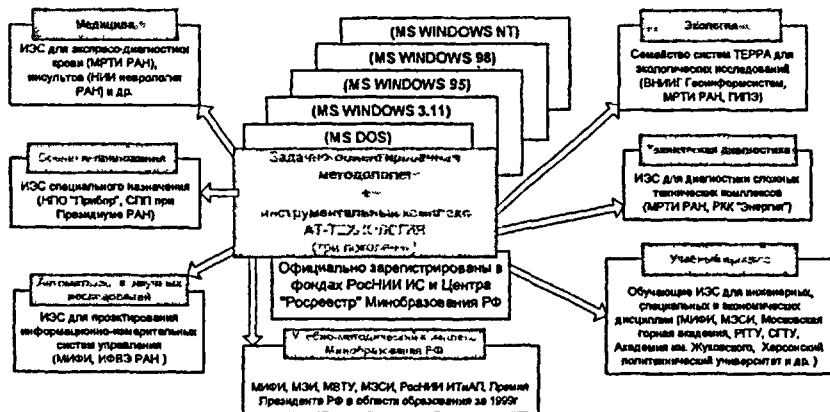


Рис. 7. Практическое применение заданно-ориентированной методологии построения ИЭС и инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ

Предложенные методология и технология создания прикладных ЮС, в том числе на основе средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ, раньше всего стали экспериментально апробироваться, модифицироваться и совершенствоваться именно на задачах технической и медицинской диагностики для статических Про, начиная с использования ранних версий инструментального комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ (для ОС MS DOS, Windows 3.11, Windows 95), охватывающих поддержку всех основных функций построения программного обеспечения ЮС,

но с разной степенью внутренней интегрируемости отдельных ПС и глубиной автоматизации тех или иных процессов построения ИЭС.

Был создан целый ряд приложений для задач технической диагностики - прототипы статических ИЭС для диагностики *сложных технических систем* (СТС) в военных приложениях, анализа систем управления сложными объектами, для диагностики экологического состояния территории и др., а также задач *медицинской диагностики* (прототипы ИЭС для экспресс-анализа крови, диагностики легочных заболеваний и функциональной диагностики инсультов). Поскольку теория, методология и технология создания ИЭС РВ находились на стадии начальных экспериментальных исследований, для автора эти вопросы также являлись весьма актуальными и важными с целью дальнейшего развития ЗОМ применительно к динамическим ПрО. В результате была разработана конкретная технология создания ИЭС РВ на основе ИС типа системы G2. В диссертации описаны примеры разработки прототипов *динамических ИЭС* для диагностики сложных технических систем, систем предстартовой подготовки ракетносителей, диагностики и прогнозирования повреждений бортовых микро-ЭВМ, для оценки результатов геофизических измерений.

В приложениях для задач *проектирования* уникальных объектов и систем описаны исследовательские прототипы статических ИЭС для проектирования информационно-измерительных систем и анализа систем управления сложными объектами. Приложения для задач *управления* посвящены описанию применения ЗОМ для разработки семейства прототипов ИЭС РВ для управления электрофизическими комплексами. Приложения для комплексных экологических задач (*диагностика, планирование, прогнозирование*) связаны с созданием статических ИЭС семейства ТЕРРА. Описывается опыт разработки динамических ИЭС РВ для экологических исследований, опыт разработки прототипа динамической интеллектуальной системы для экомониторинга г. Москвы и прототипа ИЭС РВ для радиоэкологического мониторинга территорий, прилегающих к АЭС. Важное место занимают *обучающие* ИЭС для инженерных и специальных дисциплин, разработанные на основе базовых средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ (1993-2003 гг.), а именно: внедрения в Российский НИИ информационных систем (1993-1996гг.), внедрения в РОСРЕЕСТР ГКВШ (Минобразования РФ) (1993-1995гг.). Детально описано использование результатов диссертации в учебно-методическом комплексе МИФИ.

В заключении приводятся основные выводы и результаты диссертации.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

В диссертации представлены материалы, связанные с решением важной научно-технической проблемы разработки теоретических основ и технологии автоматизированного построения интегрированных экспертных систем, направленной на повышение степени автоматизации разработки интеллектуальных систем обработки информации, и которая разрабатывалась автором с 1993 по 2003 год. Диссертация отражает содержание 290 печатных работ, опубликованных в отечественных и зарубежных изданиях. Все научные положения диссертации

представлялись и обсуждались на российских и международных научно-технических конференциях и семинарах. В процессе работы над представленным в диссертации материалом под руководством автора были защищены 2 кандидатские диссертации и 62 студенческих дипломных работы. Выдвинутые и защищаемые научно-технические результаты состоят в следующем:

1. Предложена задачно-ориентированная методология автоматизированного построения интегрированных экспертных систем (ИЭС), в основе которой лежит совокупность моделей, методов, алгоритмов и процедур, разработанных на основе оригинального авторского подхода «ориентация на модель решения типовой задачи».

2. На базе этой методологии теоретически обоснована и экспериментально исследована технология создания прикладных ИЭС для задач реальной практической сложности и значимости.

3. Теоретическое обоснование задачно-ориентированной методологии и технологии автоматизированного построения ИЭС заключается в следующем:

3.1. Сформулирована концепция ИЭС как объекта научного исследования и построен новый понятийный базис, позволяющий эффективно исследовать и проектировать новый класс прикладных интеллектуальных систем - ИЭС. На основе совместного использования методов инженерии знаний и информационного подхода впервые проведен анализ, исследование и теоретическое обобщение функциональных, структурных и алгоритмических особенностей систем рассматриваемого класса.

3.2. В качестве инструмента системного анализа базовых проблем интеграции и гибридизации в ИЭС предложена оригинальная многоуровневая модель процессов интеграции, на основе которой выделены основные понятия и термины, а также построена классификация архитектур современных ИЭС.

3.3. На основе системного анализа и исследования различных классов задач, наиболее типичных для приложений методов и средств ИЭС (диагностика, проектирование, обучение, планирование, управление), предложен эффективный сквозной подход к построению ИЭС - «ориентация на модель решения типовой задачи», в рамках которого разработаны эвристические модели решения типовых задач, базирующиеся на описании знаний о стратегиях решения задач каждого класса, и предложены конкретные методы реализации этих моделей на всех этапах жизненного цикла создания программного обеспечения для ИЭС.

3.4. Предложена новая когнитивно-графическая концепция автоматизированного построения баз знаний (БЗ) для ИЭС на основе использования трех источников знаний, развития методов структурного анализа и объектно-ориентированного проектирования для систем типа ИЭС, значительно повышающая степень автоматизации труда инженеров по знаниям за счет интеграции диаграммной технологии проектирования информационных систем с методами приобретения знаний, учета человеческого фактора, разработки принципов и механизмов интеграции знаний различной предметности и модельности, а также способов взаимодействия между различными источниками знаний.

3.5. На основе предложенных моделей решения типовых задач и развития, методов структурного анализа разработан комбинированный метод

автоматизированного приобретения знаний из трех источников знаний, включающий методы и процедуры прямого извлечения знаний из экспертов, проблемно-ориентированных ЕЯ-текстов и специализированных БД, необходимых для построения моделей проблемных областей.

3.6. В рамках предложенной задачно-ориентированной методологии комплексно исследованы вопросы извлечения, представления и обработки недостоверных знаний, содержащих отдельные виды НЕ-факторов, наиболее часто проявляющихся эксплицитно в знаниях экспертов (неопределенность, неточность, недоопределенность и нечеткость), а также разработаны формальные механизмы и соответствующие процедуры и алгоритмы, позволяющие учитывать наличие недостоверной и неполной информации при построении моделей проблемной/предметной области и способствующие повышению степени адекватности и обоснованности этих моделей.

3.7. Разработаны новые модели, методы и алгоритмы автоматизированного построения непротиворечивых БЗ проектируемых ИЭС (итеративное извлечение знаний из экспертов, ЕЯ-текстов и БД в соответствии с построенной моделью архитектуры ИЭС; построение «поля знаний» для каждой задачи/подзадачи; верификация «поля знаний»; формирование фрагментов БЗ в терминах выбранного языка представления знаний; объединение фрагментов БЗ и проверка БЗ на полноту и непротиворечивость).

3.8. Исследована проблема интеграции разнородных моделей и компонентов в ЮС, включая динамические ЮС РВ, в результате чего разработана совокупность моделей, методов и процедур интеграции разнородных компонентов в ИЭС путем построения формальных спецификаций моделей, используемых при построении ИЭС (разработка формального представления в вычислительной среде моделей, используемых на различных стадиях жизненного цикла; унификация операций их обработки; исследование и разработка формальных механизмов учета знаний, содержащих НЕ-факторы; разработка формального аппарата описания и использования повторно используемых компонентов (ПИК) и типовых проектных процедур (ТПП).

3.9. Разработаны и реализованы адекватные языки представления знаний, ориентированные на спецификацию знаний и построение внутренних (технологических) БЗ инструментария, поддерживающего предложенную методологию.

3.10. Разработана модель компьютерной технологии построения ИЭС в виде совокупности сбалансированных моделей плана, архитектуры обобщенной ИЭС и инструментов, а также построены операционные модели типовых процессов и процедур создания ИЭС.

4. Проведено экспериментальное исследование разработанной технологии автоматизированного построения ЮС, которое заключается в следующем:

4.1. Разработана модель полного жизненного цикла построения ИЭС, включающая новый подход к решению одной из сложнейших проблем ИИ - проблемы автоматизированного приобретения знаний из различных источников (экспертов, ЕЯ-текстов, БД), а также разработана методология системного анализа проблемной области и способов построения архитектуры ИЭС и её компонентов

на основе интеграции методов приобретения знаний, структурного анализа систем, объектно-ориентированного проектирования, ПИК и ТПП.

4.2. Разработан прототип архитектуры автоматизированного рабочего места инженера по знаниям в виде специализированного программного инструментария (комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) нового поколения для поддержки проектирования и разработки ИЭС в статических проблемных областях, а также исследованы методы и принципы его программной реализации для различных платформ путем создания трех поколений комплекса с 1993 по 2003 гг.

4.3. Проведены исследования по интеллектуализации процессов построения ИЭС на основе предложенных методологии и технологии, в соответствии с чем разработаны модель интеллектуальной среды поддержки разработки ИЭС, модель интеллектуального планировщика и его компонентов, а также принципы, методы и средства программной реализации планировщика в комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ.

4.4. Проведено экспериментальное исследование особенностей жизненного цикла построения ИЭС для различных классов задач (диагностика, проектирование, обучение, планирование, управление) и осуществлена экспериментальная проверка методологии, технологии и специализированного инструментария путем создания прикладных ИЭС для статических и динамических проблемных областей.

4.5. Оригинальность и новизна разработанных моделей, методов и программных средств подтверждена авторским Свидетельством об официальной регистрации комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ в Центре «Росреестр» Госкомвуза РФ в 1994 г.

5. Положения диссертации нашли широкое практическое применение:

5.1. Научные и практические результаты диссертации легли в основу разработки учебно-методического комплекса «Модели, методы и программные средства конструирования интеллектуальных систем принятия решений и управления», удостоенного Премии Президента РФ в области образования за 1999 год.

5.2. Результаты диссертации использовались при разработке 14 прикладных ИЭС различного назначения, (подтверждено соответствующими актами о внедрении и публикациями), что позволило значительно сократить время разработки ИЭС (по ряду экспертных оценок – более, чем на 40%), а также улучшить качество и глубину проработки БЗ создаваемых ИЭС.

5.3. Разработанные теория и методы построения ИЭС послужили базисом для пяти авторских курсов («Экспертные системы», «Интеллектуальные диалоговые системы», «Проектирование систем, основанных на знаниях», «Динамические интеллектуальные системы», «Введение в интеллектуальные системы») для студентов факультета кибернетики МИФИ, на основе чтения которых было написано 13 учебных пособий (два из которых отмечены премиями Российской ассоциации искусственного интеллекта как лучшие учебники для вузов в 1992 и 1998 гг.).

Автор выражает благодарность экспертам и студентам-программистам, принимавшим участие в практической апробации основных положений диссертации, а также РФФИ, Минобразованию РФ, фондам Сороса и Правительства г. Москвы за финансовую поддержку исследований.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии и учебные пособия

1. Преображенский А.Б., Рыбина Г.В. Архитектура и принципы построения интеллектуальных диалоговых систем: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 1989. - 80 с.
2. Рыбина Г.В. Технология проектирования прикладных экспертных систем: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 1991. -104 с.
3. Рыбина Г.В. Проектирование систем, основанных на знаниях: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 1997. - 102 с.
4. Рыбина Г.В., Смирнов В.В., Шубинцева М.В. Введение в инструментальную систему G2: Компьютерный учебник по методам разработки экспертных систем реального времени на базе инструментальных систем G2+GDA. - М.: МИФИ, 1997. - 84 с.
5. Рыбина Г.В., Шубинцева М.В. Технология проектирования экспертных систем реального времени на базе инструментальной системы G2: Компьютерный учебник по методам разработки экспертных систем реального времени на базе инструментальных систем G2+GDA. - М.: МИФИ, 1998. -64с.
6. Рыбина Г.В., Шубинцева М.В. Использование подсистемы GSI. Проблемно-ориентированная система GDA: Компьютерный учебник по методам разработки экспертных систем реального времени на базе инструментальных систем G2+GDA,- М.: МИФИ, 1998. -72с.
7. Рыбина Г.В., Рудина С.В. Инструментальное средство Level5. Object для поддержки разработки систем, основанных на знаниях: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 1999. -52 с.
8. Рыбина Г.В. Проектирование систем, основанных на знаниях: Учебное пособие. 2-ое издание. - М.: МИФИ, 2000. -101с.
9. Рыбина Г.В., Пышагин С.В., Смирнов В.В., Левин Д.Е., Душкин Р.В. Инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для поддержки разработки интегрированных экспертных систем: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 2001. -104 с.
10. Рыбина Г.В., Берзин В.Ю. Лабораторный практикум по курсу «Динамические и интеллектуальные системы»: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 2004. -96 с.

Статьи и доклады

1. Рыбина Г.В., Преображенский А.Б., Хорошевский В.Ф. Генерация многоцелевых интеллектуальных вопросно-ответных систем // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1979.№6.С.142-151.
2. Рыбина Г.В. Естественно-языковая система для автоматизации расчетных работ в современных САПР и АСУ ТП // Взаимодействие с ЭВМ на естественном языке. - Новосибирск: СО АН СССР. 1982. С. 60-75.
3. Рыбина Г.В. Модель диалога в естественно-языковой системе ДИСАР // Автоматизированная информационная технология. - М.: Энергоатомиздат. 1990. С. 29-36.
4. Рыбина Г.В., Берестова В.И., Горбатюк О.В., Куракина Н.В., Труфанова Е.П., Цыганов Г.А. ТЕРРА - интегрированная экспертная система для оценки экологической обстановки территории // III Конференция по искусственному интеллекту КИИИ-92. Сб. научн. тр. в 2-х томах.- Тверь: АИИ. 1992. Т.1. С.86-88.
5. Заволович О.В., Рыбина Г.В. Средства автоматизации приобретения знаний: классификация, современное состояние, сравнительный анализ // Программные продукты и системы. **Software & Systems**. 1993.№1.С.54-58.
6. **Rybina G.V., Zavolovich O.V. Computer Interviewing of Experts on the Basis of Typical Tasks Solving Models // East-West Conference on Artificial Intelligence. From Theory to Practice. (EWAIC'93). - Moscow: ICSTI. 1993. P.170-172.**

7. Рыбина Г.В. Принципы создания автоматизированной технологии проектирования интегрированных экспертных систем (проект АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) // Новости искусственного интеллекта. 1993. №4. С. 105-116.

8. Каташкин М.В., Рыбин В.М., Рыбина Г.В., Рудина С.В. Выбор и расчет первичных преобразователей параметров пучков заряженных частиц // Измерительная техника. 1993. №11. С.26-27.

9. **Rybina G.V. Integrated Expert Systems for Problems of Real Practical Complexity: AT-TECHNOLOGY PROJECT // JCKBSE'94 Japan-CIS Symposium on Knowledge Based Software Engineering'94. (Pereslavl-Zalesski, Russia, May 10-13, 1994).—Japan: International Communications Foundation (ICF). 1994. P.283-285.**

10. Рыбин В.М., Рыбина Г.В., Рудина С.В., Симонов М.И. Интегрированные экспертные системы для проектирования информационно-измерительных систем и анализа систем управления сложными объектами // КИИ-94. Национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект - 94". Сб. научн. тр. в 2-х томах.- Рыбинск: АИИ. 1994. Т.2. С.242-246.

11. Берестова В.И., Ноздрин Д.М., Рыбина Г.В. Программный инструментальный для автоматизации разработки обучающих экспертных систем // КИИ-94. Национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект - 94". Сб. научн. тр. в 2-х томах.- Рыбинск: АИИ. 1994. Т.2. С.372-376.

12. Рыбина Г.В. Интегрированные экспертные системы: проблемы создания, классификация, подход к автоматизации проектирования (проект АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) // КИИ-94. Национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект - 94". Сб. научн. тр. в 2-х томах.- Рыбинск: АИИ. 1994. Т.2. С.238-248.

13. **Rybin V.M., Rybina G.V. The Use of Expert System for Analysis, Choice and Design of Beam Monitors // Proceedings of the 2-nd European Workshop on Beam Diagnostics and Instrumentation for Particle Accelerators. (Travemunde, Germany, 28–31 May, 1995). – DESY: M-9507. June 1995. P.133-135.**

14. Рыбина Г.В., Колобашкина М.В., Соколова О.В. Комбинированный метод приобретения знаний в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ // Сб. научн. тр. международной конференции "Знания-Диалог-Решение" (KDS-95) в 2-х томах,- Киев: КИТ-ГКПП "Тираж". 1995. Т.1. С.96-100.

15. **Rybin V.M., Rybina G.V. Use of Expert System for Beam Diagnostics // Proceedings of the 1995 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems. (Chicago, Illinois USA October 30- November 3, 1995). – USA. 1995. V.2. P.722-725.**

16. **Rybin V.M., Rybina G.V., Safonenco V. A. An Expert System for Beam Diagnostics // Biannual Report' 93, 94, ISSN 0135-9266. – Moscow: МЕРФИ. 1995. P.210-213.**

17. **Rybina G.V., Kolobashkina M.V., Sergievskaya O.G., Smirnov V.V. A Combined Method of Knowledge Acquisition. // Proceedings of CESA'96 IMACS Multiconference Computational Engineering in Systems Applications. – France, Lille: Gerf EC Lille. 1996. P.177-180.**

18. Рыбина Г.В. Модели, методы и средства построения интегрированных экспертных систем для статических проблемных областей // КИИ-96. Пятая национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект - 96". Сб. научн. тр. в 3-х томах. - М.: АИИ. 1996. Т.2. С.202-207.

19. **Rybina G.V., Kolobashkina M.V., Sergievskaya O.G., Smirnov V.V. A Combined Method of Knowledge Acquisition // Proceedings of ECAI'96. 12th European Conference on Artificial Intelligence. (W30). – Hungary, Budapest: John Wiley & Sons Ltd. 1996. P.43-46.**

20. **Rybina G.V., Kolobashkina M.V. Knowledge Acquisition in AT-TECHNOLOGY Complex // Proceedings of JCKBSE'96 Second Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering. – Bulgaria, Sofia: BAlA. 1996. P.168-173.**

21. Вагин А.И., Рыбина Г.В., Рыбин И.В., Рудина С.В. Стрыков А.И. Опыт создания интегрированных экспертных систем семейства ТЕРРА // КИИ-96. Пятая национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект-96". Сб. научн. тр. в 3-х томах.- М.: АИИ. 1996. Т.2. С.220-224.
22. Пышагин С.В., Рыбина Г.В., Смирнов В.В. Инструментальный комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ для поддержки проектирования интегрированных экспертных систем // КИИ-96. Пятая национальная конференция с международным участием "Искусственный интеллект-96". Сб. научн. тр. в 3-х томах.- М.: АИИ. 1996. Т.3. С 522-527.
23. Rybin V., Rybina G. The prototype of a Real Time Expert System for Control of Electrophysical Complex // Proceedings of 15-th IMACS World Congress on Scientific Computation, Modeling and Applied Mathematics. (Berlin, August 1997) Artificial Intelligence and Computer Science. – Berlin: Wissenschaft & Technik Verlag. 1997. V.4. P.97-100.
24. Rybina G.V., Kolobashkina M.V. Problem-oriented methodology of knowledge acquisition // Proceedings of 7-th International Conference АПСR'97 and 2-nd Workshop on Applied Semiotics. (September 15, 1997.Smolenice Castle, Slovakia). – Bratislava. 1997. P.105-110.
25. Рыбина Г.В. Вопросы построения интегрированных экспертных систем для диагностики сложных технических систем // KDS-97. Шестая Международная конференция "Знания-Диалог-Решение". Сб. научн. тр. в 2-х томах.- Ялта: АСПИС. 1997. Т.2. С.421-428.
26. Рыбина Г.В. Задачно-ориентированная методология автоматизированного построения интегрированных экспертных систем для статических проблемных областей // Известия РАН. Теория и системы управления. 1997. №5. С. 129-137.
27. Рыбина Г.В., Пышагин С.В., Смирнов В.В., Чабасов А.В. Программные средства и технология автоматизированного построения интегрированных экспертных систем // Программные продукты и системы. Software & Systems. 1997. № 4. С37-45.
28. Рыбина Г.В. Проектирование систем, основанных на знаниях // Международная школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Браслав-97). Сб. трудов. - Минск: БГУИР. 1998. С44-52.
29. Rybina G.V., Rybin I.V. Using integrated expert system for control of electrophysical complex // Proceedings of the Fourth International Conference" Applications of Computer Systems." (ACS'97) (Szczecin, Poland, November 13-14, 1997). – Szczecin: "Informa", Wydawnictwo i Drukarnia Instytutu Informatyki Politechniki Szczecińskiej. 1997. P.356-359.
30. Rybina G.V., Rybin V.M. G2 Real-Time Expert System for Control of Electrophysical Complex // In Proceedings 2nd IMACS International Multiconference CESA'98. Computational Engineering in Systems Applications.– Tunisia: Nabeul-Hammamet. 1998. V.1. P.659-663.
31. Рыбина Г.В. Автоматизированное построение баз знаний для интегрированных экспертных систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 1998. №5. С. 152-166.
32. Рыбина Г.В. Особенности и принципы построения интегрированных экспертных систем для диагностики сложных технических систем // Приборы и системы управления. 1998. №9. С.12-16.
33. Рыбина Г.В. Автоматизированное построение интегрированных экспертных систем для статических проблемных областей (проект АТ-ТЕХНОЛОГИЯ) // КИИ-98. Шестая национальная конференция с международным участием. Сб. научн. тр. в 3-х томах.- М.: РАИИ. 1998.Т.2.С412-419.
34. Рыбина Г.В., Пышагин С.В. Интеллектуальная поддержка разработки интегрированных экспертных систем // КИИ-98. Шестая национальная конференция с международным участием. Сб. научн. тр. в 3-х томах.-М.: РАИИ. 1998. Т.2. С419-426.
35. Рыбина Г.В., Курковский А.П., Миндлин Ю.Б. Прототип динамической интеллектуальной системы для экономониторинга г. Москвы // КИИ-98. Шестая национальная конференция с международным участием. Сб. научн. тр. в 3-х томах.-М.: РАИИ. 1998. Т.2. С.427-432.

36. Рыбина Г.В., Костерев В.В., Крамер-Агеев Е.А., Рыбин И.В., Шубинцева М.В. Прототип интегрированной экспертной системы реального времени для радиоэкологического мониторинга территорий, прилегающих к АЭС // КИИ-98. Шестая национальная конференция с международным участием. Сб. научн. тр. в 3-х томах.-М.: РАИИ. 1998. Т.2. С.433-439.
37. Rybina G.V. Automated supporting of knowledge acquisition processes for computer aided construction of integrated expert system. // *Proceedings of the 7-th International Conference "Knowledge – Dialogue – Solution" (KDS-99) (Poland, Szczecin, 21-25 September 1998). The Collection of Scientific Works.* – Poland: Maritime University Szczecin. 1998. P.67-74.
38. Rybina G., Rybin V. Using the Tools Complex G2 for Control of Electrophysic Complex. Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems // *Proceeding of the 1997 International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (Beijing, China, November 3–7, 1997). Editors J.Zhaanel A.Daneels.* – Switzerland, Cern: Science Press. 1998. P.107-109.
39. Rybina G. Modelling of Experts Problem Decisions in Computer-Aided Construction of Integrated Expert System // *Proceeding of the Fifth International Conference "Advanced Computer Systems" (ASC'98) (Szczecin, Poland, November 19-20, 1998).* – Szczecin: "Informa". 1998. P. 406-413.
40. Рыбина Г.В. Принципы построения систем, основанных на знаниях // Третья международная школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов и аспирантов (Браславская школа-1999). Сб. научн. тр. - Минск БГУИР.1999. С. 46-52.
41. Рыбина Г.В., Душкин Р.В. Некоторые аспекты автоматизированного извлечения и обработки знаний с НЕ-факторами // *SCM'99. Международная конференция по мягким, вычислениям и измерениям.* Сб. докладов в 2-х томах. — СПб.: АОЗТ "Кописервис". 12. С. 105-108.
42. Рыбина Г.В., Рыбин В.М. Динамические интегрированные экспертные системы реального времени: анализ опыта исследований и разработок // *Приборы и системы управления.* 1999. №8. С.4-8.
43. Рыбина Г.В., Душкин Р.В. Об одном подходе к автоматизированному извлечению, представлению и обработке знаний, содержащих НЕ-факторы // *Известия РАН. Теория и системы управления.* 1999. №5. С.34-44.
44. Рыбина Г.В., Рыбин В.М. Интегрированные экспертные системы реального времени для задач диагностики, управления и экологического мониторинга: некоторые итоги и перспективы // *Искусственный интеллект. Специальный выпуск. Материалы VIII Международной конференции KDS-99.* - Донецк: ИЛИИ. 1999. С.362-370.
45. Rybina G.V., Dushkin R.V. Some Aspects of Acquisition of Uncertain Knowledge in Automated Knowledge Bases Design for Integrated Expert Systems // *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems INES'99 (Stara Lesna, Slovakia, November 1-3, 1999).* – Slovakia, Stara Lesna. P.323-328.
46. Rybina G.V., Rybin V.M. The Integrated Real Time Expert Systems for Tasks of Diagnostics, Management and Ecological Monitoring: Some Results and Prospects // *Proceedings of 16th IMACS World Congress on Scientific Computation, Applied Mathematics and Simulation.* – Lausanne: Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. 2000. P.116-121.
47. Рыбина Г.В. Использование методов имитационного моделирования при создании интегрированных экспертных систем реального времени // *Известия РАН. Теория и системы управления.* 2000. № 5. С. 182-191.
48. Rybin V.M., Rybina G.V., Ochinsky V.V., Stepankov V.U. Real-Time Expert System for Control of Electrophysical Complex // *Proceedings of the 7th International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems (ICALEPS'99).* – Italy, Trieste: Comitato Conferenze ELETTRA in Area Science Park 1-34012. 1999. P.124-126.

49. Рыбина Г.В. Принципы построения имитационных моделей сложных технических систем для интегрированных экспертных систем реального времени // Сб. докладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. SCM'2000. В 2-х томах - СПб.: ЛЭТИ. 2000. Т.1. С.79-82.
50. Калинина Е.А., Рыбина Г.В. Применение технологии **Data Mining** для автоматизированного построения интегрированных экспертных систем // КИИ'2000. Седьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции.- М.: Физмалит. 2000. Т.1. С.119-127.
51. Рыбина Г.В. Методы построения имитационных моделей сложных технических систем для интегрированных экспертных систем реального времени // КИИ'2000. Седьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции.-М.: Физмалит. 2000. Т.2. С.672-681.
52. Рыбина Г.В. Особенности современных подходов к построению экспертных систем // **ISAI'2001**. Международный конгресс "Искусственный интеллект в XXI веке". Труды конгресса.- М.: Физматлит. 2001. Т.1. С.383-391.
53. Рыбина Г.В. Современные экспертные системы: тенденции к интеграции и гибридизации // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2001_№8 С.18-21.
54. Рыбина Г.В., Душкин Р.В. НЕ-факторы: лингвистические аспекты извлечения знаний // Труды Международного семинара Диалог'02 по компьютерной лингвистике и ее приложениям в 2-х томах. Под ред. А.С. Нариньяни. - М.: Наука. 2002. Т.2. С.484-488.
55. Рыбина Г.В., Смирнов В.В. Методы и средства верификации баз знаний в современных экспертных системах // КИИ-2002. Восьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции.- М.: Физматлит. 2002. Т.1. С.446-454.
56. Рыбина Г.В. Новые тенденции и перспективы развития интегрированных экспертных систем // КИИ-2002. Восьмая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием. Труды конференции.-М.: Физматлит. 2002. Т.2. С.738-764.
57. Рыбина Г.В. Интегрированные экспертные системы: современное состояние, проблемы и тенденции // Известия РАН. Теория и системы управления. 2002. №5 С. 111-126.
58. Рыбина Г.В. Архитектуры интегрированных экспертных систем: современное состояние и тенденции // Новости искусственного интеллекта. 2002. №4 (52). С.10-17.
59. **Rybina G., Rybin V. Using the simulation modeling methods for the designing real-time integrated expert system // Proceeding of the X-th International Conference "Knowledge – Dialogue – Solution" (June 16-26, 2003, Varna, Bulgaria). – Sofia: FOI-COMMERCE. 2003. P. 252-258.**
60. Рыбина Г.В., Душкин Р.В., Демидов ДВ. Модели и методы обработки не Достоверных знаний в инструментальном комплексе АТ-ТЕХНОЛОГИЯ // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сб. научн. тр. — М.: Физматлит. 2003. С.401-407.
61. Рыбина Г.В., Татарников А.В. Инструментальные средства для построения подсистем общения интегрированных экспертных систем // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии. Труды Международной конференции Диалог 2003. ~ М.: Наука. 2003. С.569-574.
62. **Rybina G., Rybin V. Using the simulation modeling methods for the design real-time integrated expert systems // International Journal "Information Theories & Applications". V.10/2003. №1. P. 66-71.**